

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 94
№ 4 (560), 2025

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени кандидата и доктора наук,
утвержденный Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки
и высшего образования Российской Федерации (ВАК)

Журнал представлен в следующих информационно-справочных изданиях
и библиографических базах данных: РИНЦ, eLibrary.ru, реферативный журнал ВИНТИ,
Russian Periodical Catalog, Crossref, Russian Science Citation Index (RSCI) в Web of Science (WOS),
PubMed, MEDLINE, The National Library of Medicine (NLM), Scopus, Biological Abstracts,
CAB Abstracts, The National Agricultural Library (NAL)



ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА
«ГЭОТАР-Медиа»

Тутельян Виктор Александрович, главный редактор, академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией энзимологии питания, научный руководитель ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

Никитюк Дмитрий Борисович, заместитель главного редактора, академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией антропонутициологии и спортивного питания, директор ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

Вржесинская Оксана Александровна, ответственный секретарь редакции, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

Пузырева Галина Анатольевна, ответственный секретарь редакции, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории антропонутициологии и спортивного питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

Арчаков Александр Иванович (Москва, Россия)

академик РАН, доктор биологических наук, профессор, научный руководитель ФГБУ «Научно-исследовательский институт биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича»

Багиров Вугар Алиевич (Москва, Россия)

член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, директор Департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Минобрнауки России

Батурин Александр Константинович (Москва, Россия)

доктор медицинских наук, профессор, руководитель направления «Оптимальное питание» ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Бойцов Сергей Анатольевич (Москва, Россия)

академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, генеральный директор ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России

Бреда Жоао (Копенгаген, Дания)

доктор медицинских наук, руководитель Европейского офиса по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними и Программы по вопросам питания, физической активности и ожирения Европейского регионального бюро ВОЗ в отделе неинфекционных заболеваний и укрепления здоровья на всех этапах жизни

Валента Рудольф (Вена, Австрия)

иностраный член РАН, профессор, руководитель Департамента иммунопатологии, кафедры патофизиологии и аллергии Медицинского университета г. Вены

Голухова Елена Зеликовна (Москва, Россия)

академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением неинвазивной аритмологии и хирургического лечения комбинированной патологии Института кардиохирургии им. В.И. Бураковского, директор ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России

Зайцева Нина Владимировна (Пермь, Россия)

академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»

Исаков Василий Андреевич (Москва, Россия)

доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением гастроэнтерологии, гепатологии и диетотерапии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Кочеткова Алла Алексеевна (Москва, Россия)

член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Нареш Маган (Лондон, Великобритания)

профессор факультета изучения окружающей среды и технологии Кренфильдского университета

Онищенко Геннадий Григорьевич (Москва, Россия)

академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой экологии человека и гигиены окружающей среды Института общественного здоровья им. Ф. Ф. Эрисмана ФГАУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), заместитель президента ФГБУ «Российская академия образования»

Попова Анна Юрьевна (Москва, Россия)

доктор медицинских наук, профессор, руководитель Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главный государственный санитарный врач РФ

Савенкова Татьяна Валентиновна (Москва, Россия)

доктор технических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института качества, безопасности и технологий специализированных пищевых продуктов Образовательно-научного центра «Торговля» ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»

Салагай Олег Олегович (Москва, Россия)

кандидат медицинских наук, заместитель министра здравоохранения РФ

Стародубова Антонина Владимировна (Москва, Россия)

доктор медицинских наук, заведующий отделением сердечно-сосудистой патологии и диетотерапии, заместитель директора по научной и лечебной работе ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Тсатсакис Аристидис Михаил (Крит, Греция)

академик РАН, профессор, руководитель Департамента токсикологии и судебной медицины при Университете Крита, председатель отдела морфологии Медицинской школы Университета Крита

Хотимченко Сергей Анатольевич (Москва, Россия)

член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией пищевой токсикологии и оценки безопасности нанотехнологий ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Акимов М.Ю. (Имчуринск, Россия)

Бакиров А.Б. (Уфа, Россия)

Бессонов В.В. (Москва, Россия)

Боровик Т.Э. (Москва, Россия)

Гильмиярова Ф.Н. (Самара, Россия)

Глухов А.И. (Москва, Россия)

Камбаров А.О. (Москва, Россия)

Коденцова В.М. (Москва, Россия)

Кузьмин С.В. (Москва, Россия)

Мазо В.К. (Москва, Россия)

Погожева А.В. (Москва, Россия)

Полунин В.С. (Москва, Россия)

Римарева Л.В. (Москва, Россия)

Сазонова О.В. (Самара, Россия)

Симоненко С.В. (Москва, Россия)

Сон И.М. (Москва, Россия)

Сорвачева Т.Н. (Москва, Россия)

Сычик С.И. (Минск, Беларусь)

Турчанинов Д.В. (Омск, Россия)

Хенсел А. (Берлин, Германия)

Шабров А.В. (Санкт-Петербург, Россия)

Шарафетдинов Х.Х. (Москва, Россия)

Шевелева С.А. (Москва, Россия)

Научно-практический журнал «Вопросы питания» № 4 (560), 2025

Выходит 6 раз в год.

Основан в 1932 г.

Свидетельство о регистрации
средства массовой информации
ПИ № ФС77-79884 от 25.12.2020.

ISSN 0042-8833 (print)

ISSN 2658-7440 (online)

Все права защищены.

Никакая часть издания
не может быть воспроизведена
без согласия редакции.

При перепечатке публикаций
с согласия редакции ссылка
на журнал «Вопросы питания»
обязательна.

Ответственность за содержание
рекламных материалов
несут рекламодатели.

Адрес редакции

109240, г. Москва,
Устьинский проезд, д. 2/14,
ФГБУН «ФИЦ питания
и биотехнологии», редакция
журнала «Вопросы питания»

Научный редактор

Вржесинская Оксана Александровна
(495) 698-53-60, red@ion.ru

Подписной индекс

каталог «Пресса России»: **88007**

Сайт журнала:

<http://www.voprosy-pitaniya.ru>

Издатель

ООО Издательская группа
«ГЭОТАР-Медиа»
115035, г. Москва, ул. Садовническая,
д. 11, стр. 12
Телефон: (495) 921-39-07
www.geotar.ru

Выпускающий редактор:

Красникова Ольга, krasnikova@geotar.ru

Корректор: Макеева Елена

Верстка: Килимник Арина

Подписано в печать: 22.08.2025

Дата выхода в свет: 29.08.2025

Тираж 3000 экземпляров.
Формат 60×90 1/8.
Печать офсетная. Печ. л. 15.
Отпечатано в ООО «Фотоэксперт»
109316, г. Москва,
Волгоградский проспект, д. 42.
Заказ №

Цена свободная.

© ООО Издательская группа
«ГЭОТАР-Медиа», 2025

Victor A. Tutelyan, Editor-in-Chief, Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Nutrition Enzymology, Scientific supervisor of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety (Moscow, Russia)

Dmitriy B. Nikityuk, Full Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Anthroponutrition and Sport Nutrition, Director of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety (Moscow, Russia)

Oksana A. Vrzhesinskaya, Executive Secretary of the Editorial Office, PhD, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Vitamins and Minerals of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety (Moscow, Russia)

Galina A. Puzyreva, Executive Secretary of the Editorial Office, PhD, Candidate of Biological Sciences, Researcher of the Laboratory of Anthroponutrition and Sport Nutrition of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety (Moscow, Russia)

Scientific and practical journal «Problems of Nutrition» N 4 (560), 2025

6 times a year.
Founded in 1932.

The mass media
registration certificate
PI No. FS77-79884 from 25.12.2020.

ISSN 0042-8833 (print)
ISSN 2658-7440 (online)

All rights reserved.

No part of the publication
can be reproduced without
the written consent of editorial office.

Any reprint of publications with consent
of editorial office should obligatory
contain the reference to the "Problems
of Nutrition" provided the work is
properly cited.

The content
of the advertisements is the
advertiser's responsibility.

Address of the editorial office

109240, Moscow,
Ust'inskiy driveway, 2/14,
Federal Research Centre of Nutrition,
Biotechnology and Food Safety, editorial
office of the "Problems of Nutrition"

Science editor

Oksana A. Vrzhesinskaya
(495) 698-53-60, red@ion.ru

Subscription index

in catalogue of "The Press of Russia": **88007**

The journal's website:

<http://www.voprosy-pitaniya.ru>

Publisher

GEOTAR-Media Publishing Group
Sadovnicheskaya st.,
11/12, Moscow,
115035, Russia
Phone: (495) 921-39-07
www.geotar.ru

Desk editor:

Krasnikova Olga, krasnikova@geotar.ru

Proofreader: Makeeva E.I.

Layout: Kilimnik A.I.

Signet in print: 22.08.2025

Publication date: 29.08.2025

Circulation of 3000 copies.

Format 60×90 1/8.

Offset printing. 15 sh.

LLC «Photoexpert»

109316, Moscow,
Volgogradsky Prospect, 42.
Order N

Uncontrolled price.

© GEOTAR-Media Publishing Group,
2025

Aleksander I. Archakov (Moscow, Russia)

Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Scientific Director of Institute of Biomedical Chemistry named after V.N. Orekhovich

Vugar A. Bagirov (Moscow, Russia)

Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Director of the Department for Coordination and Support of Organizations in the Field of Agricultural Sciences the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Aleksander K. Baturin (Moscow, Russia)

Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department "Optimal Nutrition" of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety

Sergey A. Boytsov (Moscow, Russia)

Full Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, General Director of National Medical Research Centre of Cardiology named after Academician E.I. Chazov of the Ministry of Health of the Russian Federation

Joao Breda (Copenhagen, Denmark)

PhD MPH MBA, Head of WHO European Office for Prevention and Control of Noncommunicable Diseases & a.i. Programme Manager Nutrition, Physical Activity and Obesity of the Division of Noncommunicable Diseases and Promoting Health through the Life-course

Rudolf Valenta (Vienna, Austria)

Foreign Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Head of the Laboratory for Allergy Research of Division of Immunopathology at the Department of Pathophysiology and Allergy Research at the Center for Pathophysiology, Infectology and Immunology of Medical University of Vienna

Elena Z. Golukhova (Moscow, Russia)

Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Non-Invasive Arrhythmology and Surgical Treatment of Combined Pathology at the V.I. Bourakovsky Institute for Cardiac Surgery, Director of A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery

Nina V. Zaitseva (Perm', Russia)

Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific Supervisor of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies

Vasily A. Isakov (Moscow, Russia)

Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Gastroenterology, Hepatology and Diet Therapy of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety

Alla A. Kochetkova (Moscow, Russia)

Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Food Biotechnology and Specialized Preventive Products of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety

Magan Naresh (London, United Kingdom)

Professor of Applied Mycology of Cranfield Soil and Agrifood Institute of Cranfield University

Gennady G. Onishchenko (Moscow, Russia)

Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, head of the Department of Human Ecology and Environmental Hygiene of I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of Ministry of Healthcare of the Russian Federation (Sechenov University), Deputy President of The Russian Academy of Education

Anna Yu. Popova (Moscow, Russia)

Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing

Tatiana V. Savenkova (Moscow, Russia)

Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Scientific Research Institute for the Quality, Safety and Technologies of Specialized Products of the Educational and Scientific Center "Trade" of Plekhanov Russian University of Economics

Oleg O. Salagay (Moscow, Russia)

PhD, Candidate of Medical Sciences, Deputy Minister of Health Care of the Russian Federation

Antonina V. Starodubova (Moscow, Russia)

Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Cardiovascular Pathology and Diet Therapy, Deputy Director for Scientific and Medical Work of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety

Aristides M. Tsatsakis (Crete, Greece)

Full Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, the Director of the Department of Toxicology and Forensic Sciences of the Medical School at the University of Crete and the University Hospital of Heraklion, the Chairman of the Division of Morphology of the Medical School of the University of Crete in Greece

Sergey A. Khotimchenko (Moscow, Russia)

Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Food Toxicology and Safety Assessments of Nanotechnology Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety

EDITORIAL COUNCIL

Akimov M.Yu. (Michurinsk, Russia)

Bakirov A.B. (Ufa, Russia)

Bessonov V.V. (Moscow, Russia)

Borovik T.E. (Moscow, Russia)

Gilmiyarova F.N. (Samara, Russia)

Glukhov A.I. (Moscow, Russia)

Hensel A. (Berlin, Germany)

Kambarov A.O. (Moscow, Russia)

Kodentsova V.M. (Moscow, Russia)

Kuzmin S.V. (Moscow, Russia)

Mazo V.K. (Moscow, Russia)

Pogozheva A.V. (Moscow, Russia)

Polunin V.S. (Moscow, Russia)

Rimareva L.V. (Moscow, Russia)

Sazonova Olga V. (Samara, Russia)

Simonenko S.V. (Moscow, Russia)

Son I.M. (Moscow, Russia)

Sorvacheva T.N. (Moscow, Russia)

Sychik S.I. (Minsk, Belarus')

Turchaninov D.V. (Omsk, Russia)

Shabrov A.V. (St. Petersburg, Russia)

Sharafetdinov Kh.Kh. (Moscow, Russia)

Sheveleva S.A. (Moscow, Russia)

ПЕРЕДОВАЯ

Тутельян В.А., Никитюк Д.Б.

Основные вехи развития науки о питании
(к 95-летию Института питания
и юбилею журнала «Вопросы питания»)

ОБЗОРЫ

Герасимов Г.А.

Источники и уровни потребления йода
в странах Европейского региона Всемирной
организации здравоохранения: адаптация
к изменениям в питании и образе жизни
(сокращенный адаптированный перевод
отдельных разделов доклада Европейского
регионального бюро Всемирной организации
здравоохранения)

Коденцова В.М., Жилинская Н.В.

Микроинкапсулированные (липосомальные)
формы микронутриентов: сохранность
и эффективность для коррекции дефицита

ГИГИЕНА ПИТАНИЯ

Махди С.С., Абдулгани Х.С., Шахид Х.С.

Взаимосвязь между утренним приемом пищи
(завтраком) и инсулинорезистентностью
у группы практически здоровых иракцев

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ПИТАНИЯ

**Фролова А.С., Веснина А.Д.,
Федорова А.М., Милентьева И.С.,
Просеков А.Ю., Заушинцева А.В.**

Гипогликемическая и гипохолестеринемическая
активность *in vivo* полифенолов – востребованных
компонентов биологически активных добавок
к пище

ЛЕЧЕБНОЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ПИТАНИЕ

**Ревякина В.А., Мухортых В.А.,
Короткова Т.Н., Ларькова И.А.,
Ворожко И.В., Кувшинова Е.Д.**

Оценка биомаркеров проницаемости кишечника
и воспаления при пищевой аллергии

**Сазонова О.В., Гаврюшин М.Ю.,
Хамцова Р.В., Манахова С.С.**

Анализ компонентного состава тела пациентов
с нарушениями углеводного обмена

**Штаборов В.А., Патракеева В.П.,
Самодова А.В.**

Уровни IgG к пищевым антигенам в зависимости
от характера питания и интенсивности
общего воспаления у практически здоровых
и лиц с метаболическим синдромом

LEAD ARTICLE

6 **Tutelyan V.A., Nikityuk D.B.**

Main milestones in the development of nutrition science
(on the 95th anniversary of the Federal Research Center
for Nutrition and Biotechnology and the anniversary
of the journal Voprosy Pitaniia)

REVIEW

27 **Gerasimov G.A.**

Sources and iodine intake levels in countries of the
WHO European Region: adaptation to changes in
diet and lifestyle (an abridged translation of selected
sections of the WHO European report)

39 **Kodentsova V.M., Zhilinskaya N.V.**

Microencapsulated (liposomal) forms of micronutrients:
stability and effectiveness for eliminating deficiency

HYGIENE OF NUTRITION

51 **Mahdi S.S., Abdulghani H.S., Shaheed H.S.**

The relationship between eating in the morning
(breakfast) and insulin resistance in a group of the Iraqi
population

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF NUTRITION

56 **Frolova A.S., Vesnina A.D.,
Fedorova A.M., Milentyeva I.S.,
Prosekov A.Yu., Zaushintseva A.V.**

Hypoglycemic and hypocholesterolemic activities
in vivo of polyphenols – popular components of dietary
supplements

THERAPEUTIC AND PREVENTIVE NUTRITION

68 **Revyakina V.A., Mukhortykh V.A.,
Korotkova T.N., Larkova I.A.,
Vorozhko I.V., Kuvshinova E.D.**

Evaluation of biomarkers of intestinal permeability
and inflammation in food allergies

76 **Sazonova O.V., Gavryushin M.Yu.,
Hamtsova R.V., Manakhova S.S.**

Analysis of the body composition of patients
with impaired carbohydrate metabolism

86 **Shtaborov V.A., Patrakeeva V.P.,
Samodova A.V.**

IgG levels to food antigens depend on nutrition
and levels of general inflammation in healthy persons
and individuals with metabolic syndrome

СПОРТИВНОЕ ПИТАНИЕ

**Выборная К.В., Раджабкадиев Р.М.,
Шурова З.М., Селедкова Ю.А.,
Мангушев Т.А., Никитюк Д.Б.**

Потребность в энергии и макронутриентах спортсменов, занимающихся синхронным катанием на коньках

**Туласи Раман Д.Р., Чандрасекара Пандиян Р.,
Шанмугам А., Нараянан Х., Сабапати Ш.П.,
Санил Ушакумари С., Шридхар М.К.,
Раджеш Кумар В.К., Джозеф Э., Мутхьяпвар В.**

Риск относительной недостаточности энергии в спорте из-за низкой доступности энергии: масштаб проблемы среди подростков, занимающихся командными видами спорта

ИНФОРМАЦИЯ

NUTRITION OF SPORTSMEN

97 **Vybornaya K.V., Radzhabkadiyev R.M.,
Shurova Z.M., Seledkova Yu.A.,
Mangushev T.A., Nikityuk D.B.**

Energy and macronutrient requirements of female athletes engaged in synchronous skating

109 **Thulasi Raman D.R., Chandrasekara Pandiyan R.,
Shanmugam A., Narayanan H., Sabapathy S.P.,
Sanil Ushakumari S., Sridhar M.K.,
Rajesh Kumar V.K., Joseph E., Muthyapwar V.**

Risk of relative energy deficiency in sport due to low energy availability: A nutritional concern among adolescent team sport athletes

119 INFORMATION

Для корреспонденции

Тутельян Виктор Александрович – академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», заведующий кафедрой гигиены питания и токсикологии ИПО ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет)
 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>

Тутельян В.А.^{1, 2}, Никитюк Д.Б.^{1, 2}

Основные вехи развития науки о питании (к 95-летию Института питания и юбилею журнала «Вопросы питания»)

Main milestones in the development of nutrition science (on the 95th anniversary of the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology and the anniversary of the journal Voprosy Pitaniia)

Tutelyan V.A.^{1, 2}, Nikityuk D.B.^{1, 2}

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, 109240, г. Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), 119991, г. Москва, Российская Федерация

¹ Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 109240, Moscow, Russian Federation

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), 119991, Moscow, Russian Federation

В этом году исполняется 95 лет ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (в прошлом – Институт питания) и 93 года со дня основания журнала «Вопросы питания». Основными направлениями деятельности Института были вопросы изучения химического состава рациона, эпидемиологии питания различных групп населения России (детей, беременных и кормящих женщин, лиц пожилого возраста, спортсменов), безопасности пищи и ее новых источников, а также разработка лечебных рационов при различных заболеваниях и специализированных видов пищевой продукции для разных групп населения. Все эти годы последние научные достижения сотрудников Института и других выдающихся специалистов в области оптимального и лечебного питания освещались на страницах журнала «Вопросы питания».

Ключевые слова: эпидемиология питания; пищевые вещества; диетология; безопасность пищи

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. Основные вехи развития науки о питании (к 95-летию Института питания и юбилею журнала «Вопросы питания») // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 4. С. 6–26. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-6-26>

Статья поступила в редакцию 03.07.2025. **Принята в печать** 11.08.2025.

Funding. The study was not sponsored.

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

For citation: Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. Main milestones in the development of nutrition science (on the 95th anniversary of the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology and the anniversary of the journal Voprosy Pitaniia). Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (4): 6–26. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-6-26> (in Russian)

Received 03.07.2025. **Accepted** 11.08.2025.

This year marks the 95th anniversary of the Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety (formerly the Institute of Nutrition) and the 93rd anniversary of the founding of the journal "Voprosy Pitaniia". The main areas of activity were the study of the chemical composition of the diet, the nutritional epidemiology in various groups of the Russian population (children, pregnant and lactating women, the elderly, athletes), food and novel food safety, as well as the development of therapeutic diets for various diseases and food for special dietary uses for different groups of the population. Throughout all these years, the latest scientific achievements of the Institute's staff and other outstanding specialists in the field of optimal and therapeutic nutrition have been published in the journal "Voprosy Pitaniia".

Keywords: nutritional epidemiology; nutrients; Nutrition Science; food safety

Советский и постсоветский этап развития науки о питании в России неразрывно связан с деятельностью Института питания (в настоящее время – ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», далее – Центр).

В современной России история нутрициологии берет свое начало в 1907 г., когда была организована кафедра физиологии питания Московского государственного университета, преобразованная в 1920 г. в НИИ физиологии питания под руководством одного из основоположников науки о питании, ученика И.М. Сеченова д-ра мед. наук, проф. М.Н. Шатерникова [1–4], где разрабатывали нормы питания для различных возрастных и профессиональных групп населения, создавали рационы для общественного питания, обосновывали возможность безвредной замены мяса в пайках красноармейцев и трудящихся на чечевицу и бобы, а муки для хлеба – на лишайники, а также разрабатывали рецепты блюд для нарпитовских столовых.

В 1930 г. НИИ физиологии питания вошел в состав Института питания Наркомздрава РСФСР, директором его был назначен д-р хим. наук, проф. (позднее – академик АМН СССР) Б.И. Збарский, заведующий кафедрой биохимии 2-го Московского мединститута (рис. 1). В этот период в Институте питания получили свое начало физиология и биохимия питания, витаминология. Ранее в 1924 г. Б.И. Збарский был привлечен к государственной задаче – сохранению тела вождя для потомков. В годы Великой Отечественной войны он находился в эвакуации в Тюмени, куда был вывезен саркофаг с телом В.И. Ленина.

В 1936 г. Институт, руководимый д-ром филос. наук, проф. В.М. Кагановым, получил статус Центрального государственного научно-исследовательского института питания Наркомздрава РСФСР, а в 1937 г. – Всесоюзного института питания Наркомздрава СССР. Выполнялись задачи по восстановлению здоровья красноармейцев и мирных граждан, разработке норм питания для госпиталей и действующего состава Красной Армии. В сентябре 1941 г. приказом Наркома обороны были введены в действие нормы питания войск в военное время. По этим нормам войска снабжались в течение 4 лет войны [5, 6].

В конце 1941 г. Институт питания был эвакуирован в Новосибирск, где продолжил свою работу на базе Санитарного института и витаминной станции. Клиника Института осталась в Москве. Ею руководил до 1943 г. заведующий диетологическим отделением канд. мед. наук Л.Ф.

Лимчер вместо д-ра мед. наук, проф. М.И. Певзнера, который, по настоянию руководства, был отправлен в эвакуацию. В Москве оставался и директор Института, проф. В.М. Каганов. Для воинских частей были созданы заменители пищевых продуктов, ассортимент которых достигал в 1944 г. 12 наименований (6 первых и 6 вторых блюд), обосновано применение и внедрено в практику использование дрожжей в лечебном питании, разработан красноармейский паек. Была внедрена рецептура и технология производства крекеров из различных видов муки, создана новая группа концентратов: мясо- и печеночно-жировых с крупами и др., разработана безотходная технология сушки картофеля, рецептура и технология приготовления повидла на свекольном сиропе и свекольных выжимках. Институт питания принял участие в разработке руководств по профилактике пищевых отравлений.

В мае 1943 г. Институт питания возвратился в Москву, особое внимание было уделено проблемам реабилитации при недостаточности питания, нормам питания подростков, многие из которых напряженно трудились на промышленных предприятиях. В 1944 г. Совнарком СССР учредил Академию медицинских наук СССР, в которую вошел и Институт питания (переименован в Институт питания АМН СССР).

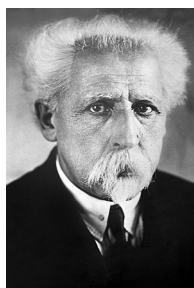
В военные годы для обеспечения населения витаминами Минздравом СССР были построены дрожжевые заводы на фронтах и в тылу. В войска поступала аскорбиновая кислота и витамины группы В, а начиная с 1943 г. – концентрат витамина А.

Директором Института питания в период 1944–1945 гг. был д-р биол. наук, проф. М.Ф. Мережинский, автор 250 научных работ.

С 1945 по 1947 г. Институт питания возглавлял академик АМН СССР С.Е. Северин. Он занимался биохимическими исследованиями крови, изучением биологической роли карнозина, необходимого для восстановления мышц («феномен Северина»).

В 1947–1961 гг. под руководством чл.-кор. АМН СССР О.П. Молчановой (рис. 2) Институт приступил к разработке норм питания мирного времени, был создан рацион питания космонавтов. О.П. Молчанова, автор более 150 работ, являлась главным редактором научно-медицинского журнала «Вопросы питания» с 1952 г., написала «Книгу о вкусной и здоровой пище» и др. [7].

В 1961 г. директором Института был назначен академик АМН СССР А.А. Покровский (1961–1976 гг.), автор 286 научных работ. За сравнительно короткий период



М.Н. Шатерников
1920–1930



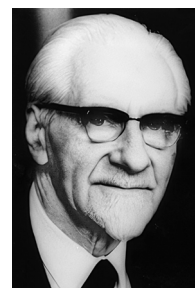
Б.И. Збарский
1930–1934



В.М. Каганов
1934–1944



М.Ф. Мережинский
1944–1945



С.Е. Северин
1945–1947

Рис. 1. Руководители Института питания в 1920–1947 гг.

Fig. 1. Heads of the Institute of Nutrition in the period 1920–1947

Институт занял лидирующее положение в области нутрициологии на международной арене. Широкое развитие получили исследования в области биохимии и особенно энзимологии питания. Академиком А.А. Покровским была разработана концепция сбалансированного питания, которая оказала решающее влияние на теоретические представления о путях ассимиляции пищи и на решение важнейших практических задач – создание новых видов продуктов, предназначенных как для здоровых людей, занимающихся разнообразной профессиональной деятельностью, так и для лиц, страдающих различными заболеваниями. В 1970 г. был разработан «Счетчик калорий А.А. Покровского», в 1971 г. – способ получения белковых веществ из микроорганизмов, выращенных на углеводородах нефти, в 1972 г. – белково-витаминные концентраты из очищенных жидких парафинов нефти и рационы для спортсменов, участвующих в Олимпийских играх в Мюнхене. В 1974–1975 гг. были разработаны методы определения афлатоксинов в пищевых продуктах, облучения для сохранения качества пищевых продуктов, проводились работы по биотехнологии создания белково-витаминных концентратов из альтернативных источников [8].

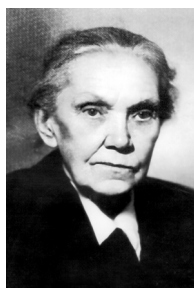
В 1976–1978 гг. под руководством д-ра мед. наук, проф. М.Ф. Нестерина были заложены основы физиологии пищеварения и гигиены питания, изучено влияние дефи-

цита витаминов группы В на состояние пищеварительной системы, разработан рацион при лучевой болезни, созданы продукты энтерального и парентерального питания («Инпитан»).

В 1978–1982 гг. под руководством директора Института чл.-кор. АМН СССР В.А. Шатерникова (внука известного физиолога проф. М.Н. Шатерникова) проводились оценка эффективности ферментов желез желудка и поджелудочной железы в лекарственных препаратах, изучение пищевой аллергии, новых источников пищевых веществ [1, 2].

С 1982 по 2000 г. под руководством директора Института академика РАМН М.Н. Волгарева коллектив занимался фундаментальными и прикладными вопросами питания здорового и больного человека, оценкой качества пищевых продуктов, иммунологией питания, проблемами канцерогенеза, вызываемого алиментарными факторами. Он руководил разработкой норм физиологических потребностей в пищевых веществах и энергии, состава наборов пищевых продуктов для минимальной потребительской корзины различных социально-демографических групп населения, которая утверждалась постановлениями Правительства РФ и использовалась для расчетов прожиточного минимума [9].

С 2000 по 2016 г. НИИ питания возглавлял академик Российской академии наук (РАН) В.А. Тутельян (рис. 3),



О.П. Молчанов
1947–1961



А.А. Покровский
1961–1976



М.Ф. Нестерин
1976–1978



В.А. Шатерников
1978–1982



М.Н. Волгарев
1982–2000

Рис. 2. Руководители Института питания с 1947 по 2000 г.

Fig. 2. Heads of the Institute of Nutrition in the period 1947–2000



В.А. Тутельян



Д.Б. Никитюк



С.В. Симоненко



И.М. Абрамова



А.О. Камбаров



М.В. Иринев

Рис. 3. Руководители Центра и филиалов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»**Fig. 3.** Heads of the Center and branches of the Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology

который сформулировал положения концепции оптимального питания, «Основ государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года», «Продовольственной независимости России». В нутрициологию им введено новое понятие – «нутриом» (совокупность алиментарных факторов для поддержания динамического равновесия между человеком и окружающей средой). Он представляет собой формулу оптимального питания, которая постоянно совершенствуется и дополняется [10–15].

Под его руководством создана законодательная, нормативная и методическая база обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов, разработаны и научно обоснованы Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года и комплексная система оценки безопасности нанотехнологий и наноматериалов, которая внедрена в практику работы Роспотребнадзора и ведомств, занимающихся разработкой, производством и оборотом нанотехнологической продукции. Проведены многочисленные исследования механизмов биологического действия микотоксинов, разработана система оценки безопасности продукции современной биотехнологии (генно-инженерно-модифицированных организмов – ГМО). Разработаны первые биологически активные добавки к пище (БАД), основополагающие документы, устанавливающие перечни необходимых для нормальной жизнедеятельности человека пищевых веществ и целевые уровни их потребления – «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых

веществах для различных групп населения Российской Федерации» (2008 и 2021 гг. – МР 2.3.1.0253-21), Методические рекомендации МР 2.3.1.1915-04 «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ», «Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания» и др. Впервые расшифрованы биохимические и иммунологические механизмы защитно-адаптационного действия ряда природных биологически активных веществ (БАВ) пищи, установлены их адекватные уровни поступления или физиологические потребности.

В 2015 г. ФГБНУ «НИИ питания» под руководством академика РАН В.А. Тутельяна был реорганизован в ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» в форме присоединения к нему организаций-филиалов: Всероссийского научно-исследовательского института пищевой биотехнологии (директор – д-р техн. наук И.М. Абрамова); Научно-исследовательского института детского питания (директор – д-р техн. наук С.В. Симоненко); Научно-исследовательского института пищевого концентрата промышленности и специальной пищевой технологии (директор – д-р экон. наук А.О. Камбаров). В 2018 г. в состав Центра вошел Бирюлевский экспериментальный завод (директор – М.В. Иринев).

В 2016 г. директором ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» был избран д-р мед. наук, проф., в будущем академик РАН Д.Б. Никитюк (см. рис. 3), а академик РАН В.А. Тутельян стал научным руководителем ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии». Под руководством Д.Б. Никитюка было создано новое научное направ-

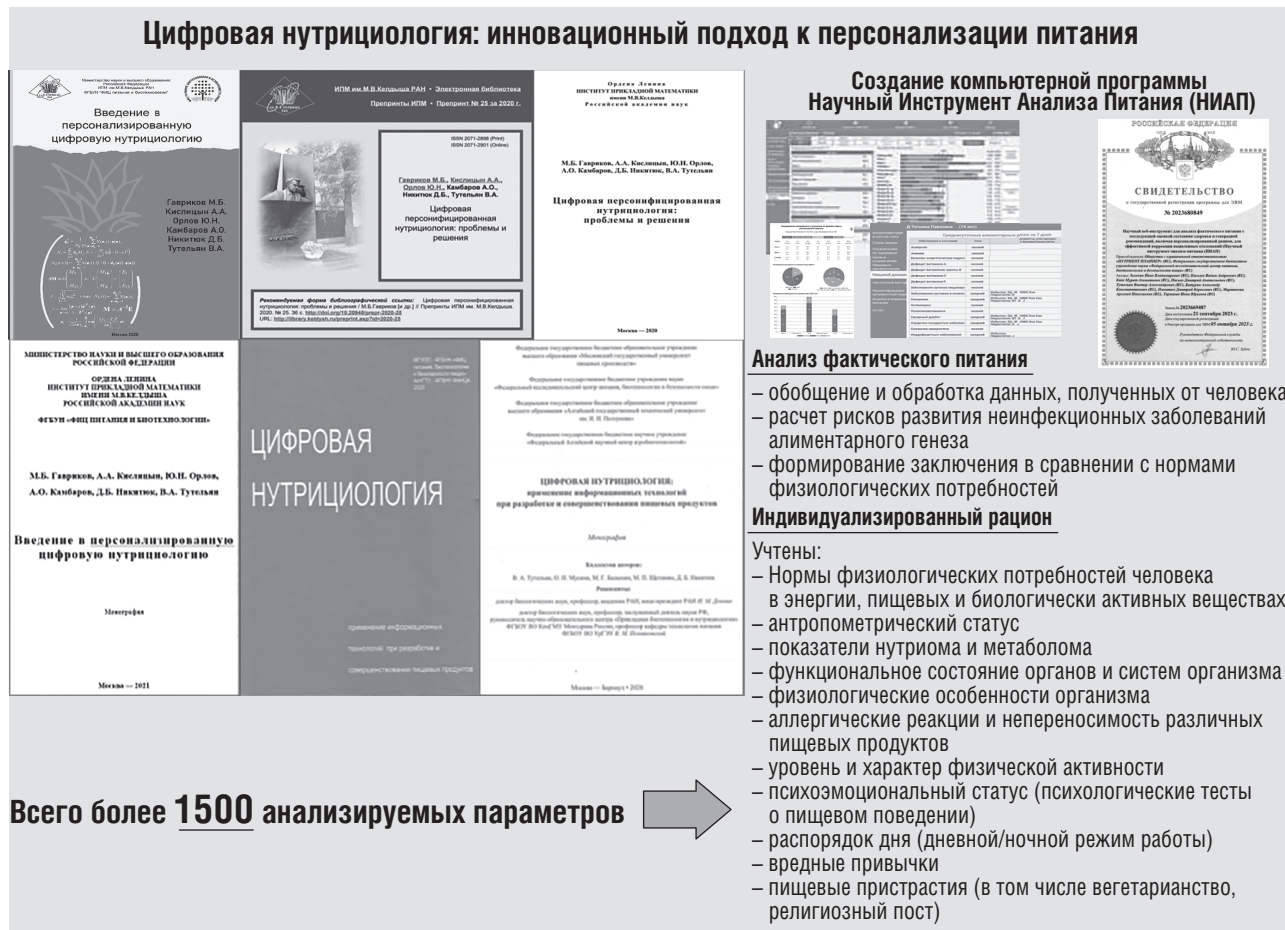


Рис. 4. Цифровая нутрициология

Fig. 4. Digital Nutrition Science

ление – антропонутициология, сформировавшееся на стыке антропологической анатомии и нутрициологии, которое изучает взаимосвязи и взаимовлияние этих наук для оптимизации физического и пищевого статусов населения и реализации современных высокоэффективных технологий здорового питания. Это направление включает разработку стандартов физического развития разных групп детского и взрослого населения с учетом многочисленных факторов (возрастных, гендерных, этнотерриториальных и др.), метод соматотипирования – маркер повышенной вероятности развития ряда нозологических форм, в том числе и формирования алиментарно-зависимых заболеваний (сахарного диабета 2 типа, остеопороза, ожирения, подагры и т.д.) [1–4].

Под руководством академиков РАН В.А. Тутельяна и Д.Б. Никитюка сформировано новое научное направление – цифровая нутрициология, которая в настоящее время активно разрабатывается ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» и ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Цифровая нутрициология – это цифровая трансформация показателей физического развития и конституциональных, морфологических особенностей организма, компонентного состава тела, физиологических потреб-

ностей в нутриентах и энергии различных социально-демографических групп населения РФ, цифровизация химического состава пищевых продуктов, а также создание ЭВМ-программ для разработки персонализированных рекомендаций по оптимальному питанию и др. (рис. 4) [16–18].

Основные направления развития науки о питании

Химический состав пищевых продуктов

В 1945 г. д-ром мед. наук, проф. А.И. Штенбергом были заложены основные принципы формирования таблиц химического состава. Значительный вклад в расшифровку химического состава пищевых продуктов внес В.И. Кузнецов, который в 1970–1974 гг. усовершенствовал методы выделения липидов и определения состава жирных кислот в пищевых продуктах. Под руководством д-ра техн. наук, проф. И.М. Скурихина с 1974 по 2002 г. 3 раза издавались «Таблицы химического состава пищевых продуктов», были отработаны методы анализа состава пищевых продуктов. Проводились исследования обмена отдельных макро- и микронутриентов [12, 19]. Его дело было продолжено изданиями

таблиц химического состава пищевых продуктов в 2012 и 2024 гг., куда вошли данные исследования состава пищевых продуктов, включая БАВ, в частности флавоноиды, а также специализированной пищевой продукции (СПП).

Белковый обмен

С 1974 г. под руководством д-ра мед. наук, проф. В.Г. Высоцкого в лаборатории оценки пищевых белков в течение 35 лет изучали качество и безопасность белков, полученных из нетрадиционных источников и/или по новым технологиям: белков при переработке растительного (соя, люпин, амарант, люцерна) и животного сырья (крыль, белок из коллагенсодержащего сырья животных и птицы); белков из биомасс, полученных биотехнологическими методами (грибной мицелий, биомассы пекарских дрожжей и микробиологического синтеза); новых белковых компонентов. Проводились работы по уточнению норм потребления белка разными группами населения России; были внедрены методы определения биологической ценности и усвояемости белков, их гидролизатов и аминокислот, разработаны и внедрены продукты для энтерального питания («Ово-лакт») [20, 21].

Липидный обмен

Руководителем направления по изучению липидного обмена долгое время был д-р биол. наук, проф. М.М. Левачев, а затем его ученица – канд. биол. наук С.Н. Кулакова. В лаборатории проводили оценку биологических эффектов жиров из различных источников животного и растительного происхождения. С 1989 по 2005 г. совместно с отделением сердечно-сосудистой патологии (заведующий – д-р мед. наук, проф. А.В. Погожева) изучали свойства моно- и полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) семейства ω -3, фитостеринов, фосфолипидов, сквалена и др. с целью включения их в состав рационов лечебного питания [22].

Начиная с 2002 г. под руководством д-ра биол. наук В.В. Бессонова были изучены профили душистых веществ, состав жирных и органических кислот различных пищевых продуктов, процессы переработки масел, оценены продукты перекисного окисления липидов и т.п. [3].

Комплексное исследование БАВ жировой природы, их сохранность в различных условиях технологической переработки проводятся молодыми специалистами – канд. биол. наук М.А. Макаренко, канд. фарм. наук М.А. Палеевой, канд. биол. наук В.А. Саркисяном.

Углеводный обмен

Под руководством чл.-кор. РАН М.М.Г. Гаппарова изучалось влияние питания на углеводный состав крови, органов и тканей, включая субклеточные мембраны; активность ферментов и их ингибиторов в биологических средах и тканях, а также в различных пищевых добавках и БАД, проводилось обоснование потребности различных групп населения России в энер-

гии и углеводах в зависимости от возраста, пола, физической активности и климатических условий проживания [2, 3].

Обмен витаминов и минеральных веществ

Д-р мед. наук, проф. Б.А. Лавров, в 1930–1950 гг. возглавлявший витаминное отделение Института питания, был инициатором создания Государственной контрольной витаминной станции в 1936 г., автором «Учебника по физиологии питания»; изучал влияние витаминной недостаточности на реактивность организма; доказал возможность токсического действия больших доз витамина D; положил начало изучению отечественных витаминносителей; получил противочинготные препараты из еловой хвои; показал роль витамина B₁ в регуляции азотистого обмена, разработал первые отечественные нормы потребности в витаминах в детских учреждениях, больницах и роддомах [2].

Вместе с коллегами д-р мед. наук, проф. В.В. Ефремов боролся с массовыми авитаминозами 1920–1930-х гг., устанавливал причины недостатка витаминов в пище, раскрыл этиологию пеллагры, влияние климатических условий и характера труда на потребность в витаминах. В годы Великой Отечественной войны была проведена профилактика авитаминозов в ряде районов страны, а ранее, в 1939 г., он организовал обогащение белой муки витаминами B₁, B₂ и PP [23]. В.В. Ефремов руководил отделом витаминологии в 1946–1972 гг., им создан витаминный комплекс «Ундевит», оценка эффективности которого нашла отражение в книге «Опыт массовой витаминизации промышленных рабочих» (1964 г.).

В 1980-х гг. под руководством д-ра биол. наук, проф. Н.Г. Богданова, канд. с.-х. наук Е.Н. Степановой и др. были разработаны методы экстракции и определения витаминов в пищевой продукции, создана база данных для «Таблиц химического состава блюд и кулинарных изделий».

В 1970–2008 гг. под руководством д-ра биол. наук, проф. В.Б. Спиричева была обновлена методическая база определения витаминов в биологических жидкостях, разработаны методы выявления дефицита витаминов, разработан и внедрен в практику принципиально новый биоспецифичный высокочувствительный метод определения витамина B₂, установлены критерии адекватной обеспеченности витаминами, в том числе неинвазивными методами – в моче и грудном молоке. Экспериментально исследовано влияние недостаточности отдельных витаминов на обмен витамина D и коррекцию его недостаточности. Полученные данные легли в основу разработки препаратов «Оксидевит» и «Диоксивит», обогащенных витаминами и минеральными веществами пищевых продуктов, организации промышленного производства отечественных пищевых продуктов массового потребления и СПП, обогащенных витаминами, каротиноидами, минеральными веществами, пищевыми волокнами, ПНЖК семейства ω -3 и полноценным белком [24].

С 2008 г. в лаборатории витаминов и минеральных веществ под руководством д-ра биол. наук, проф. В.М. Коденцовой были разработаны экспериментальные модели полигиповитаминоза в сочетании с недостатком минеральных веществ, имитирующие состояние множественной микронутриентной недостаточности у населения. Было обосновано использование многокомпонентных витаминно-минеральных комплексов и сформулированы основные принципы их эффективного применения для устранения множественной недостаточности микронутриентов у населения [25].

С 2018 г. в лаборатории, которую возглавила канд. биол. наук Н.В. Жилинская, проводятся экспериментальные исследования влияния полисахаридов (инулина, β-глюканов и др.) на усвоение витаминов и минеральных веществ, разработка и оценка эффективности содержащих микронутриенты специализированных продуктов и БАД к пище для лиц, находящихся в экстремальных условиях, и пациентов [26].

Минорные биологически активные вещества пищи

Под руководством академика АМН СССР А.А. Покровского, академика РАН В.А. Тутельяна, д-ра биол. наук, проф. А.В. Васильева, канд. мед. наук Л.В. Кравченко многие годы изучались БАВ, разработана методическая и законодательная база, и в 2000 г. в Федеральный закон от 02.01.2000 № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов» было внесено понятие «биологически активная добавка к пище».

В лаборатории энзимологии питания, возглавляемой академиком РАН В.А. Тутельяном, была изучена роль минорных компонентов пищи в поддержании здоровья человека, повышении физической работоспособности и профилактике алиментарно-зависимых заболеваний. Было исследовано влияние наиболее широко представленных в ежедневном рационе человека БАВ пищи (индол-3-карбинол, кверцетин, рутин, ресвератрол, антоцианины и др.), опубликован ряд монографий, а также установлены адекватные уровни их суточного потребления [10, 13, 14].

С 1984 г. под руководством д-ра хим. наук, проф. К.И. Эллера разрабатывались аналитические методы определения минорных БАВ, в том числе во фруктовых и ягодных соках, расширен их список и изучен их состав, описаны новые растительные источники. Под редакцией В.А. Тутельяна и К.И. Эллера изданы руководства Р 4.1.1672-03 «Руководство по методам контроля качества и безопасности БАД к пище» и «Методы анализа минорных биологически активных веществ пищи» [2, 3].

Разработки Центра легли в основу международных документов, базисных для проведения экспертных оценок СПП диетического профилактического и диетического лечебного питания, БАД к пище [«Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)» (утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 г. № 299)].

Структура питания населения и его отдельных групп

В 1930-х гг. под руководством канд. экон. наук Г.М. Геллера были разработаны методика составления пищевых рационов, отвечающих требованиям сбалансированного питания, основы организации питания в лечебных учреждениях страны (больницах, санаториях, домах-интернатах для престарелых). Сотрудниками Института питания РАМН подготовлено первое в стране «Руководство по изучению питания и здоровья населения» (под ред. А.А. Покровского, Москва: Медгиз, 1964).

Д-р мед. наук, проф. Г.И. Бондарев занимался оценкой фактического питания различных групп населения СССР, союзных республик и некоторых зарубежных стран, разработкой принципов лечебно-профилактического питания, рекомендуемых рациональных размеров потребления основных групп пищевых продуктов в среднем на душу населения СССР и союзных республик на перспективу (до 1990, 1995, 2005–2010 гг.).

Под руководством д-ра мед. наук, проф. Н.Г. Богданова была проведена оценка витаминной обеспеченности и профилактика гиповитаминозов рабочих, бойцов студенческих отрядов, строителей БАМа, космонавтов, контингентов в экстремальных условиях, недоношенных детей разного возраста, пациентов с различными заболеваниями [2, 3].

В 1989–2016 гг. это направление возглавил д-р мед. наук, проф. А.К. Батурин. Им была разработана система мониторинга состояния питания населения, современная методология оценки фактического питания человека, включая индексы здорового питания. Под его руководством проведены эпидемиологические исследования структуры питания и пищевого статуса различных групп населения, в том числе с наиболее низкими доходами; оценка эффективности программ профилактики нарушений питания, разработка рационов для организованных коллективов, населения, проживающего в районах, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Опубликовано ряд пособий: «Способ оценки индивидуального потребления пищи методом 24-часового (суточного) воспроизведения питания», «Альбом порций продуктов и блюд», «Выборочное наблюдение рациона питания населения», разработаны и внедрены компьютерные программы для анализа питания человека, «Цифровая персонифицированная нутрициология: проблемы и решения» [2, 3].

Лабораторией демографии и эпидемиологии питания, которой с 2020 г. руководит канд. техн. наук Е.А. Смирнова, получены объективные данные о рационах питания, состоянии здоровья, распространенности ожирения в общероссийской репрезентативной выборке населения (совместно с Росстатом); в рамках федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография» разработано методическое обеспечение для крупномасштабного эпидемиологического исследования питания детей школьного возраста в 85 субъектах РФ, выполненного Роспотребнадзором. В экспедиционных условиях выявлены наи-

более значимые нарушения питания населения новых субъектов, вошедших в состав РФ с 2022 г. Для их коррекции, а также для повышения адаптационного потенциала, работоспособности и выносливости лиц, находящихся в условиях СВО на территории Донбасса, разработаны методические рекомендации по оптимизации их питания, а также СПП с заданным химическим составом и свойствами.

В 2023 г. инициирован проект «Российский эпидемиологический мониторинг питания населения», организована и внедряется система региональных центров мониторинга и оптимизации питания, основной задачей которых является оценка состояния питания населения и разработка рекомендаций по питанию с учетом выявленных региональных особенностей. В рамках федерального проекта «Здоровье для каждого» национального проекта «Продолжительная и активная жизнь» в 2025 г. при научной и методической поддержке ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» Роспотребнадзор приступил к реализации нового выборочного углубленного исследования рационов питания детей и взрослых, обучающихся в образовательных организациях общего, среднего и высшего профессионального образования в 16 субъектах Федерации. С 2026 по 2030 г. запланировано поэтапное расширение территорий, охваченных обследованием, до 89 субъектов.

Питание спортсменов

Во второй половине XX в. в НИИ питания большое внимание уделялось влиянию питания на спортивные результаты и состояние здоровья спортсменов. Академик А.А. Покровский являлся членом группы Минздрава СССР по подготовке советских спортсменов к участию в Олимпийских играх в 1972 и 1976 гг. В 1975 г. под его редакцией были изданы «Рекомендации по питанию спортсменов».

В 1980-х гг. под руководством д-ра мед. наук К.А. Коровникова изучали питание высококвалифицированных спортсменов, были созданы новые специализированные продукты, повышающие физическую работоспособность, скоростно-силовые показатели и выносливость («Силоген», «Фортоген-50» и др.). В Институте находились под наблюдением двукратные олимпийские чемпионы и чемпионы мира по тяжелой атлетике Ю.П. Власов и Л.И. Жаботинский, по легкой атлетике – В.Ф. Борзов, чемпион мира по шахматам А.Е. Карпов и др.

В 2004 г. была организована лаборатория спортивного питания с группой алиментарной патологии, которую возглавил академик РАН Д.Б. Никитюк, в которой проводят исследования фактического питания высококвалифицированных спортсменов различных видов спорта, разрабатывают персонализированные рекомендации по питанию, специализированные продукты спортивного питания для восстановления после физических нагрузок, профилактики дегидратации, железодефицитной анемии, поддержания функций печени, микрофлоры желудочно-кишечного тракта, оптимизации обмена нутриентов и БАВ [27].

С 2021 г. лаборатория переименована в лабораторию антропонутициологии и спортивного питания, где под руководством академика РАН Д.Б. Никитюка продолжается фундаментальная работа в области спортивной нутрициологии: комплексное обследование спортсменов от детско-юношеского возраста до спортсменов высокой квалификации, включающее оценку морфофункционального, биохимического, витаминного, иммунного статуса, энергетических резервов организма, генетического профиля и рационов питания с их последующей индивидуальной коррекцией. Вышли в свет методические рекомендации «Использование метода комплексной антропометрии в спортивной и клинической практике» (ISBN: 978-5-9500179-9-5), «Методические рекомендации по питанию юных спортсменов», «Технология профилактики нарушения обмена веществ и разработка рационов питания для спортсменов различных групп спорта» (ISBN: 978-5-6042132-9-2), «Технология профилактики дегидратации у спортсменов различных групп спорта и разработка методик регидратации» (ISBN: 978-5-6042132-8-5), «Оценка пищевого статуса и функциональных резервов организма спортсменов с целью персонализации рационов питания и оптимизации спортивной деятельности на тренировочном этапе» (ISBN: 978-5-0017-553-5), «Анатомо-антропонутициологические методы оценки физического и пищевого статусов детского и взрослого населения с различным уровнем физической активности» (ISBN: 978-5-6048236-0-6) и др. Опубликованы монографии «Весовые категории в боксе как фактор морфологического разнообразия» (ISBN: 978-5-605-11487-1), «Биоимпедансометрия как элемент контроля за водным балансом спортсменов» (ISBN: 978-5-605-11488-8) и «Морфологические показатели как предиктор успешности в командных игровых видах спорта» (ISBN: 978-5-605-11489-5).

Питание детей, беременных и кормящих женщин

Направление питания детей и подростков было сформировано в 1932 г. путем создания отдела организации детского питания, где проводили научное обоснование норм физиологических потребностей в пищевых веществах и энергии детей и подростков [2, 3]. При участии руководителя отдела О.П. Ногиной были разработаны рекомендации по питанию школьников, инструкция Минздрава СССР «Об организации и улучшении детского питания, особенно школьников»; первое издание книги «О вкусной и здоровой еде». В 1951 г. были созданы и Минздравом СССР утверждены первые «Физиологические нормы питания» – нормы потребностей в энергии, белках, жирах, углеводах для детей, которые обновлялись в 1968, 1982, 1991, 2008 и 2021 гг. [10].

В 1960-х гг. образовались направления: питание здорового ребенка (рук. – д-р мед. наук, проф. Е.М. Фатеева), больного ребенка (рук. – д-р мед. наук, проф. К.С. Ладодо) и школьников (рук. – д-р мед. наук, проф. И.И. Кондратьева). Проводилось изучение оптимальной потребности детей в белке, минерального состава смесей для искусственного вскармливания, патогенеза

железодефицитной анемии у детей первого года жизни, установлена потребность в витамине D, состав микробиоты грудного молока, разработаны смеси для искусственного вскармливания с ацидофильной палочкой, пробиотиками (бифидобактерии) и лизоцимом.

Под руководством Г.С. Коробкиной созданы первые отечественные заменители женского молока, хлеб, обогащенный обратом, крупы «Пионерская», «Сильная», колбасные изделия с боенской кровью («Физиолого-биохимические основы разработки продуктов детского питания») [2, 3].

В 1990 г. под руководством д-ра мед. наук, проф. И.Я. Коня было доказано преимущество свободного грудного вскармливания, изучены основы искусственного вскармливания, оценены неадаптированные кисломолочные продукты, а также антиоксидантный статус здорового и больного ребенка и возможности его коррекции с использованием β -каротина, флавоноидов, ПНЖК ω -3, микроэлементов. Проведены фундаментальные исследования развития и питания детей в первые 1000 дней жизни – «критического окна» реализации эпигенетических механизмов, влияющих на риск формирования ожирения. Разработано и выпущено в промышленном масштабе более 30 продуктов детского питания – смеси для вскармливания детей первого года жизни, в том числе продукты прикорма, для профилактического и лечебного питания, питания детей дошкольного и школьного возраста, беременных и кормящих женщин. С 2000 г. изучалось влияние генетических полиморфизмов на формирование костной ткани, избыточной массы тела и ожирения, гомеостаз ПНЖК.

С 2016 г. под руководством канд. мед. наук Е.А. Пыревой вышли в свет «Программа оптимизации вскармливания детей первого года жизни в Российской Федерации» (ISBN: 978-5-6042256-5-3), «Программа оптимизации питания детей в возрасте от 1 года до 3 лет в Российской Федерации» (ISBN: 978-5-6043946-0-1), методические рекомендации: МР 2.4.5.0128-18 «Организация питания детей при проведении массовых мероприятий», МР 2.4.5.0180-20 «Родительский контроль за организацией питания детей в общеобразовательных организациях» и МР 2.4.0179-20 «Рекомендации по организации питания для обучающихся общеобразовательных организаций», МР 2.3.0340-24 «Подготовка и проведение мониторинга состояния питания обучающихся в общеобразовательных организациях», «Инновации в детском питании» (ISBN: 978-5-907098-43-5) [1–3].

В НИИ детского питания (НИИДП) с 2015 г. под руководством его директора, д-ра техн. наук С.В. Симоненко внедрены рационы питания для учащихся дошкольных и школьных учреждений, детей-сирот, кадетов, разработаны методические указания и программы производственного контроля для регионов; технологии стерилизованных, пастеризованных жидких, сухих, гипоаллергенных функциональных молочных продуктов; детская вода «Светлячок», «Святой источник»; первая в России линейка детской готовой еды для торговой сети «Азбука вкуса»; быстрозамороженные про-

дукты для питания детей и взрослых; 3 инновационные сухие адаптированные смеси на основе кобыльего молока для питания детей первого года жизни.

Пищевые концентраты для детского и диетического питания разрабатываются также в НИИ пищевых концентратной промышленности и специальной пищевой технологии (НИИПП и СПТ) с 2015 г. В отделе детского и диетического питания разработаны: каши зерновые, не требующие варки, для детей с 4-месячного возраста; супы, не требующие варки, для детей с 5-месячного возраста; пудинги для питания детей с 6-месячного возраста; каши многозерновые с витаминами и пребиотиками для детей 1–3 лет; каши-пудинги для беременных и кормящих женщин, сухие безглютеновые зерновые смеси для выпечки печенья, кексов, блинов для детей старше 3 лет с непереносимостью глютена [2].

Питание в экстремальных условиях

В настоящее время питанием в экстремальных условиях (военнослужащих, космонавтов и др.) занимается НИИПП и СПТ. Ведется разработка пищевых концентратов, сухих продуктов на зерновой основе, специальных продуктов, пайков и рационов для военнослужащих, космонавтов, спецпотребителей. С 1981 г. НИИПП и СПТ возглавляли полковник К.Д. Вершинин, генерал-майор А.И. Мальцев, полковник С.К. Яркин; с 1992 по 2020 г. директором (главным конструктором по обеспечению питанием экипажей космических объектов) являлся д-р техн. наук, проф. полковник В.Ф. Добровольский; с 2020 г. филиалом руководит д-р экон. наук А.О. Камбаров.

Питание космонавтов

Разработаны основы технологий для создания рационов питания космонавтов, произведено свыше 300 наименований продуктов длительного хранения и использования в условиях космического объекта, уникальный рацион питания для космонавтов орбитальной станции «Мир» [28]. Продукты для питания космонавтов выдерживают климатические и механические воздействия в условиях международных космических станций, имеют большой срок хранения (1–3 года), минимальный объем, легко применимы там, где нет условий для приготовления пищи. Изготовителем и поставщиком более 70% продуктов, комплектующих рацион питания космонавтов, является Бирюлевский экспериментальный завод – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».

Питание военнослужащих

Научно-исследовательский институт пищевых концентратной промышленности и специальной пищевой технологии является единственным исполнителем научных исследований по разработке технологий создания специальных продуктов армейского назначения, новых норм рационов питания для военнослужащих, а также функциональных продуктов. В его разработках – полевые медицинские рационы, способствующие повышению эффективности медицинской помощи, лечения

и реабилитации раненых и больных военнослужащих; системы организации питания плавсостава подводных и надводных кораблей Военно-морского флота РФ, личного состава Военно-воздушных сил РФ, экипажей бронетанковой техники, мотострелковых подразделений сухопутных войск, воздушно-десантных войск и частей спецназа; лечебные рационы и продукты для раненых и пораженных [29, 30].

Пищевые биотехнологии и специализированные продукты

В 1953 г. под руководством проф. Д.И. Лобанова, заведующего технологической лабораторией, были опубликованы работы по консервированию и витаминизации пищевых продуктов («Учебник по технологии приготовления пищи»). Затем под руководством Г.С. Коробкиной коллектив решал задачи повышения биологической ценности пищевых продуктов и рационального приготовления пищи для школьников, рабочих заводов, строителей БАМа, военнослужащих, контингента уголовно-исполнительной системы; создания новых продуктов для питания спортсменов («СП», «АСП»), детей, в том числе раннего возраста (смеси «Малютка», «Малыш», «Солнышко» и др.).

С 1978 г. под руководством чл.-кор. АМН СССР В.А. Шатерникова были созданы модели воспроизведения пищевой анафилаксии к пищевым белкам, а в 1983–1991 гг. – продукты энтерального и зондового питания для больных (энпиты, «Инпитан», диетические консервы), в том числе онкологических при химиотерапии [2, 3].

Д-ром мед. наук, проф. Г.К. Шлыгиным и д-ром мед. наук, проф. Л.С. Василевской с 1983 г. проводились исследования ассимиляции макро- и микронутриентов; новых источников микроэлементов из пищи и БАД.

С 1991 г. под руководством д-ра техн. наук, проф. Л.Н. Шатнюк были разработаны технологии обогащения пищевых продуктов микронутриентами (напитки, хлебобулочные и кондитерские изделия, пищевые концентраты). С 2010 г. под руководством академика РАН А.А. Кочетковой совместно с профильными отделениями клиники лечебного питания разработаны функциональные жировые ингредиенты для коррекции нарушений пищевого статуса, СПП для профилактики и лечения алиментарно-зависимых заболеваний (36 наименований), а с 2021 г. работы проводятся с участием Бирюлевского экспериментального завода. В настоящее время стратегическим направлением научных исследований лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов является создание универсального подхода к разработке, использованию и оценке эффективности БАВ и содержащих их СПП для коррекции метаболических нарушений. С этой целью разрабатываются новые методы экстракции БАВ, новые виды пищевых матриц, проводятся доклинические исследования эффективности в моделях *in silico*, *in vitro* и *in vivo*.

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии (ВНИИ ПБТ) ведет свою историю с 1931 г., с создания Научно-исследовательского института спиртовой промышленности. Первым директором института в ведении Союзспирта Наркомснаба СССР была А.Ф. Деева. В 1996–2018 гг. в возглавляемом академиком РАН В.А. Поляковым ВНИИ были изучены процессы биоконверсии растительного сырья в производстве спирта, ликероводочных изделий и пищевых органических кислот, разработаны ресурсосберегающие технологии спиртных напитков, пищевых и кормовых добавок.

С 2018 г. директором ВНИИ ПБТ является д-р техн. наук И.М. Абрамова. Под ее руководством совершенствуется методология контроля показателей качества спирта и алкогольной продукции; расширяется сырьевая база; созданы продуктивные штаммы микроорганизмов; сформирована база данных по ферментным препаратам на российском рынке, разработаны технологии получения пищевых ингредиентов и кормовых добавок с функциональными свойствами, СПП для различных групп населения [2].

Гигиена питания и оценка безопасности пищи

В 1930 г. в Институте питания был создан отдел пищевой гигиены, который возглавил д-р мед. наук, проф. Ф.С. Околов, где решались вопросы гигиены питания, разрабатывались новые методы исследований, классификация пищевых отравлений. Были изданы труды: «Питание и пищевая гигиена», «Гигиена питания», «Практические способы исследования пищевых продуктов».

С 1934 г. под руководством д-ра мед. наук, проф. Ф.Е. Будагына проводились профилактика, классификация пищевых отравлений, алиментарно-токсической алейкии и урвской болезни, изучение новых пестицидов, полимерных материалов, новых методов обработки пищевых продуктов, различных видов пищевых добавок [2].

В 1946 г. в Институте была создана токсикологическая лаборатория, которую возглавил д-р мед. наук, проф. А.И. Штенберг («Методика изучения отечественных пищевых продуктов», 1949 г., «Таблицы химического состава и питательной ценности пищевых продуктов», 1961 г. [19]). С 1960-х гг. проводилась токсикологическая оценка контаминантов пищевых продуктов (пестицидов, токсичных элементов, микотоксинов и др.). Изданы труды: «Пищевые отравления бактериального происхождения и их профилактика», «Значение фактора питания в развитии эндемического зоба», «Методы определения пестицидов в пищевых продуктах», «Добавки к пищевым продуктам», «Пищевые токсикозы, токсикоинфекции и их профилактика», «Профилактика пищевых отравлений», «Руководство к практическим занятиям по гигиене питания».

В 1961 г. вновь образованную лабораторию канцерогенов возглавил д-р мед. наук, проф. И.М. Нейман. Под его

руководством изучался канцерогенез веществ, используемых в сельском хозяйстве и пищевой промышленности, перегретых растительных жиров, предложена классификация канцерогенных химических веществ по механизму их действия. Опубликовано «Основы теоретической онкологии (этиология и патогенез злокачественных опухолей)», «Физиология и патофизиология желез внутренней секреции», «Канцерогены и пищевые продукты».

В 1965 г. создана лаборатория гигиенических исследований пищевых добавок, которую возглавил канд. мед. наук А.Н. Зайцев, а с 2000 г. – канд. биол. наук Г.Н. Шатров. В ней исследовали механизмы действия пищевых добавок, ароматических веществ и технологических вспомогательных средств, их токсиколого-гигиенические характеристики.

В 1969 г. была организована лаборатория санитарно-гигиенических исследований ферментных препаратов, которую возглавил д-р мед. наук А.М. Иваницкий, в которой проводилось изучение качества и безопасности ферментных препаратов, были установлены нормы содержания нитратов в пище, разработаны «Методические рекомендации по определению реальной нагрузки на человека химических веществ, поступающих с атмосферным воздухом, водой и пищевыми продуктами», «Расследование, диагностика и лечение пищевых отравлений нитратами и нитритами», «Принципы гигиенической регламентации допустимого содержания нитратов в пищевых продуктах», «Медико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов».

С 1990 г. под руководством чл.-кор. РАН С.А. Хотимченко проводится изучение приоритетных загрязнителей пищевой продукции, N-нитрозоаминов, токсинов морепродуктов (фикотоксинов) и высших грибов (аманитины и фаллоидины), обеспеченности населения железом, селеном. Расшифрованы некоторые механизмы токсического действия нитратов, нитритов и N-нитрозоаминов. На основании результатов изучения процессов экзогенного и эндогенного образования N-нитрозоаминов, а также биотрансформации нитритов как их предшественников обосновано изменение системы гигиенического регламентирования нитрозоаминов и нитратов в продовольственном сырье и пищевых продуктах. Проведена оценка рисков содержания остаточных количеств различных форм мышьяка в рыбе и морепродуктах, кадмия в ядрах подсолнечника и пищевых продуктах, изготавливаемых на основе этого пищевого сырья. Опубликовано: «Селен в организме человека. Метаболизм, антиоксидантные свойства, роль в канцерогенезе», «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» и др.

Сотрудниками лаборатории энзимологии питания под руководством академика РАН В.А. Тутельяна проведены фундаментальные исследования по изучению загрязнения различных пищевых продуктов (чай, кофе, какао, ягоды, вина, фруктовые соки, продукты пере-

работки томатов, специй, ферментные препараты) микотоксинами – вторичными метаболитами микроскопических грибов. Более 30 лет выполняются мониторинговые исследования загрязнения микотоксинами продовольственного зерна, поступающего из различных регионов РФ, с последующей оценкой риска для здоровья населения. Были разработаны методы обнаружения, идентификации и количественного определения микотоксинов патулина, охратоксина А, фумонизинов, токсинов Т-2 и НТ-2, зеараленона, включенных в российскую и межгосударственную методическую базу оценки соответствия пищевой продукции нормативным требованиям, а также аналитические методы обнаружения, идентификации и количественного определения токсинов в пищевой продукции и биологических средах организма человека, включая методы мультidetекции микотоксинов.

На моделях окислительного стресса, вызванного фумонизинами, токсином Т-2 и теназоновой кислотой, изучены механизмы их острого токсического действия на организм.

На основе исследований по оценке риска, связанного с загрязнением продовольственного сырья микотоксинами, были разработаны регламенты их содержания в пищевой продукции, установленные в Технических регламентах Таможенного союза «О безопасности зерна» (ТР ТС 015/2011), «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011), эффективные системы мониторинга, в том числе в рамках государственного надзора и контроля по всей цепи производства и оборота пищевой продукции.

С целью совершенствования системы обеспечения безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств Изменением № 2 в ТР ТС 029/2012 внесены изменения в перечень пищевых добавок, разрешенных для использования в пищевой промышленности в России и Евразийском экономическом союзе (ЕАЭС) [17 добавок исключены из этого списка, 7 включены; изменены области применения некоторых пищевых добавок, в частности, с целью снижения уровня потребления алюминия с пищевыми продуктами из перечня Приложения 2 ТР ТС 029/2012 исключены содержащие алюминий пищевые добавки: алюмосиликат калия (Е555), алюмосиликат кальция (Е556), бентонит (Е558), алюмосиликат (каолин) (Е559)]; полностью пересмотрен перечень из 2,5 тыс. вкусоароматических веществ, разрешенных для использования в составе пищевых ароматизаторов [в настоящее время этот перечень включает только вкусоароматические вещества, которые прошли токсикологическую оценку; для 36 веществ установлены области применения и максимально допустимые уровни (МДУ) в составе пищевых продуктов, что делает более безопасным использование ароматизаторов в составе пищевых продуктов].

Используемые при проведении этих исследований методологические подходы позволили разработать и утвердить ряд нормативных документов, устанавливающих порядок проведения оценок рисков для



Рис. 5. Современная нормативная база по вопросам безопасности питания

Fig. 5. Modern regulatory framework on food safety

потребителя загрязнителей пищевой продукции химического и биологического происхождения в Российской Федерации и ЕАЭС [«Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (Р 2.1.10.1920-04, дополненное и переработанное издание – Р 2.1.10.1920-21), МУ 2.3.7.2125-06 «Социально-гигиенический мониторинг. Контаминация продовольственного сырья и пищевых продуктов химическими веществами. Сбор, обработка и анализ показателей», МУ 2.3.7.2519-09 «Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население», МУ 1.2.2961-11 «Научное обоснование допустимых уровней содержания контаминантов химической природы и пищевых добавок в пищевых продуктах», МР 2.1.10.0062-12 «Количественная оценка неканцерогенного риска при воздействии химических веществ на основе построения эволюционных моделей», «Методология оценки рисков здоровью населения при воздействии химических, физических и биологических факторов для определения показателей безопасности продукции (товаров)» (ЕАЭК, 2014), Рекомендации Коллегии Евразийской экономической комиссии от 26.02.2020 «О методических указаниях по установлению и обоснованию гигиенических нормативов содержания химических примесей, биологических агентов в пищевой продукции по критериям риска для здоровья человека» <http://www.eurasiancommission.org/ru/>].

Большое внимание сотрудниками уделяется работе в комитетах Комиссии Кодекс Алиментариус, Евразийского экономического союза, межгосударственных и государственных технических комитетов, определяю-

щих регламенты безопасности и методы анализа пищевой продукции, в том числе СПП, пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств (рис. 5).

Микробиологическая безопасность и анализ нутримикробиома

С момента основания Института фундаментальные и прикладные аспекты микробиологической безопасности пищи и микробной экологии пищеварительного тракта человека являются основой деятельности лаборатории биобезопасности и анализа нутримикробиома. В разное время лабораторией руководили высококвалифицированные специалисты в области гигиены, микробиологии, физиологии Ф.Е. Будагян, В.Н. Азбелев, В.Г. Геймберг, Ю.И. Рубинштейн, Н.П. Нефедьева, И.Б. Куваева, С.А. Шевелева.

Главным приоритетом изысканий подразделения все 95 лет является научное обоснование мер профилактики алиментарно-зависимых заболеваний инфекционной природы у населения, причем в последние два десятилетия – с учетом форсированной эволюции возбудителей на фоне растущих техногенных и антропогенных воздействий на микробиоту человека, животных и растений, продовольственного сырья и пищевых продуктов. Здесь впервые в стране в начале 2000-х гг. в процесс обоснования нормативов и мер пищевой безопасности был внедрен международно признанный инновационный подход анализа и оценки микробиологического риска, предложены принципиально новые для российской гигиенической науки расчеты потенциального воздействия возбудителей токсикоинфек-

ций, поступающих с пищей, на людей разного возраста и реакции на них организма. Это позволило дать прогноз степени потенциального вреда для здоровья при поступлении новых патогенов, в частности Шига-токсин-продуцирующих *E. coli* (STEC), с отечественными молоко- и мясopодуктами, актуализировать на его основе многие критерии микробиологической безопасности пищевых продуктов, а также разработать единую методологию установления сроков их годности и условий хранения как превентивную меру защиты потребителей на этапе реализации.

За период 2009–2020 гг. д-р мед. наук С.А. Шевелева, д-р биол. наук Н.Р. Ефимочкина и другие сотрудники лаборатории внесли ключевой вклад в создание всех основополагающих документов РФ и ЕАЭС по методологии оценки микробиологического риска, установлению и обоснованию гигиенических нормативов содержания биологических агентов в пищевой продукции по критериям риска для здоровья человека.

В результате этой работы создана и постоянно совершенствуется нормативно-правовая база в сфере регламентации требований к микробиологической безопасности пищи, допустимых уровней остатков ветпрепаратов с антимикробным действием, предельного содержания пораженного микотоксигенными плеснями зерна в заготавливаемом зерне, которая образует основание всех технических регламентов ЕАЭС на пищевую продукцию, многих федеральных законов и санитарных правил и норм РФ. На сегодняшний день в нее включено более 3000 микробиологических показателей для продуктов массового потребления и 700 – для детского питания, МДУ для 75 ветпрепаратов в продуктах и сырье животного происхождения.

На постоянной основе развивается и актуализируется методическая база, проводятся разработка, валидация и стандартизация новых методов микробиологического анализа, в том числе высокоспецифичных и высокочувствительных экспресс-методов на основе иммуноферментного анализа, полимеразной цепной реакции в реальном времени и ДНК-секвенирования. За последние 10 лет в практику надзора и контроля безопасности пищевой продукции в РФ и ЕАЭС внедрено 50 методических указаний системы Роспотребнадзора и 11 национальных и межгосударственных стандартов.

Большинство полученных данных о критических точках накопления микроорганизмами с измененными свойствами и антибиотикоустойчивостью в пищевой цепи и по этапам технологий использовано в действующей методологии риск-ориентированного надзора и контроля пищи и объектов окружающей среды на предприятиях, санитарных правилах по профилактике у людей листериоза, сальмонеллеза, кампилобактериоза, методических рекомендациях по мерам профилактики передачи через пищевую продукцию высокопатогенного вируса гриппа птиц, возбудителя новой коронавирусной инфекции COVID-19. Созданы эффективные методы выявления и идентификации в пище-

вых продуктах *L. monocytogenes*, STEC, *Campylobacter* sp., *Cronobacter* sp., энтеротоксинов *S. aureus*, плесеней–продуцентов эмерджентных микотоксинов.

Изучение микробиома в лаборатории было начато в 1979 г. В совместных исследованиях с лабораторией питания больного ребенка установлены закономерности формирования кишечной флоры у детей, ее зависимость от характера вскармливания, состояния здоровья, в том числе наличия пищевой аллергии («Микроэкологические и иммунные нарушения у детей: диетическая коррекция»).

В 1990-х гг. состояние и функциональная активность кишечного микробиома как ассоциированной с макроорганизмом чувствительной системы изучались в целях нормирования МДУ чужеродных веществ в пище с антимикробной активностью.

В настоящее время усилия направлены на анализ взаимодействия кишечного микробиома с пищевыми веществами, его роли в усвоении энергии, формировании пищевого статуса. С использованием методов, основанных на полимеразной цепной реакции и метабеномике, изучается состав кишечной флоры в норме и при наиболее распространенных алиментарно-зависимых заболеваниях. Обоснованы критерии «эталонного» микробиома здорового человека и предложены пути его поддержания с помощью алиментарных факторов на разных этапах жизненного цикла, впервые включенные в МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации».

Безопасность пищевой продукции нового вида

В 1964 г. в Институте питания АМН было создано подразделение для исследования белка микробного синтеза, первым руководителем которого был назначен А.Н. Андриасов. В 2006–2007 гг. лабораторией по изучению новых и генетически модифицированных источников пищи руководила канд. биол. наук И.Н. Аксюк, затем чл.-кор. РАН М.М.Г. Гаппаров, а с 2014 г. руководство этого направления осуществляет д-р мед. наук Н.В. Тышко.

На первом этапе (1965–1985 гг.) сотрудниками Института питания АМН СССР под руководством академика А.А. Покровского были разработаны подходы к определению биологической ценности и безвредности белковых продуктов микробиологического синтеза (белка дрожжей, выращиваемых на основе парафинов нефти, этанола, метанола и других субстратов), предназначенных для кормления сельскохозяйственных животных. К середине 1980-х гг. в СССР была создана самая мощная в мире микробиологическая промышленность. В стране на 10 заводах производилось 1,5 млн тонн кормового белка, использовавшегося в птицеводстве и животноводстве.

Вторым этапом развития подходов к оценке безопасности пищевой продукции нового вида являлась начатая в середине 1990-х гг. под руководством академика РАН В.А. Тутельяна работа по созданию системы оценки безопасности ГМО растительного и животного

происхождения, включавшая формирование как законодательной и нормативной базы, так и адекватных методических подходов, гарантирующих безопасность новой пищевой продукции. Начиная с момента формирования подходов к изучению ГМО в 1995–1996 гг. разработаны 10 методических документов, регламентирующих методы оценки безопасности и организации контроля за ГМО (МУК 2.3.2.970-00, МУ 2.3.2.1917-04, МУ 2.3.2.2306-07, МУК 4.2.3105-13, МУК 4.2.3309-15, МУ 2.3.2.3388-16, МУК 4.2.3389-16, МУК 4.2.3390-16, МУК 4.2.3586-19, МУ 2.3.2.3687-21), а также 2 дополнения и изменения (№ 5 и № 6) к СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов». Опубликована монография «Генетически модифицированные источники пищи: оценка безопасности и контроль» (ISBN: 978-5-7901-0092-5). Запрещено использование ГМО в детском, лечебном и профилактическом питании, если их содержание более 0,9% (ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»).

Полностью сформированная к 2021 г. система оценки безопасности была использована в рамках государственной регистрации 30 ГМО: в период с 1999 по 2025 г. 13 линий сои, 15 линий кукурузы, 1 линия риса и 1 линия сахарной свеклы прошли полный цикл медико-биологических исследований и разрешены для использования в питании населения ЕАЭС.

Набирающий в последние годы силу тренд на использование нетрадиционных источников продовольственного сырья, в частности съедобных насекомых, белка микробного синтеза, предопределил третий этап развития подходов к оценке безопасности пищевой продукции нового вида (с 2020 г.). Основываясь на значительном опыте Центра в данной области, в лаборатории оценки безопасности биотехнологий и новых источников пищи под руководством д-ра мед. наук Н.В. Тышко был разработан дизайн и проведены комплексные токсикологические и аллергологические исследования, включающие изучение репродуктивной функции, пре- и постнатального развития потомства, для определения безопасности личинок черной львинки (*Hermetia illucens*), внесенной в перечень сельскохозяйственной продукции распоряжением Правительства РФ от 10.10.2023 № 2761-р, а также безопасности белкового концентрата, полученного из денуклеинизированной и очищенной от клеточных стенок биомассы метанооксилирующих бактерий *Methylococcus capsulatus*.

Обеспечение возможности использования нетрадиционных источников сырья в пищу, согласно законодательству ЕАЭС, предполагает целый комплекс мер, включающих создание надежной системы медико-биологической оценки безопасности продовольственного сырья нового вида; формирование требований безопасности к такому сырью (так как ни один из технических регламентов ЕАЭС не содержит требований ни к энтомопродукции, ни к продукции микробного синтеза); организацию эффективной системы контроля за оборотом этого сырья на территории РФ.

Работа по данному направлению проводится в опережающем режиме, до выхода пищевой продукции нового вида на продовольственный рынок. К настоящему времени уже сформирован значимый научный задел, подтверждающий возможность безопасного использования энтомопродукции и белка микробного синтеза для пищевых целей.

Безопасность нанотехнологий

Под руководством чл.-кор. РАН С.А. Хотимченко и д-ра биол. наук И.В. Гмошинского были установлены молекулярные и клеточные механизмы биологического и токсического действия ряда наноматериалов, определены биомаркеры при оценке их воздействия, обоснованы безопасные дозы при пероральном пути поступления и совместно с рядом других научных учреждений сформирована современная нормативно-методическая база в области оценки безопасности и контроля наноматериалов и продукции нанотехнологий в объектах окружающей среды и потребительской продукции, включающая определение приоритетов, правила отбора проб, порядок проведения токсиколого-гигиенической и медико-биологической оценки, порядок проведения контроля и надзора, оценки и управления рисками, которая внедрена в работу Роспотребнадзора (более 50 нормативно-методических документов, включая ГОСТы) [2, 3].

Установлено, что различные виды наноматериалов могут оказывать токсическое действие (наночастицы серебра способны проникать в головной мозг и накапливаться в нем, поступать через плацентарный барьер и молоко лактирующих самок). Обосновано использование в питании наночастиц оксида цинка, оксида железа (III) и элементарного селена в качестве источников эссенциальных микроэлементов (Zn, Fe, Se).

Проведены уникальные исследования в области оценки рисков здоровью наноматериалов и продукции нанотехнологий. Проведена оценка риска присутствия наночастиц в пищевом красителе диоксиде титана (E171) и показано, что при содержании в нем наночастиц в количестве более 1% по массе риск его поступления с пищевыми продуктами является неприемлемым. Опубликовано более 100 работ, монография «Пищевые нанотехнологии: перспективы и проблемы».

Питание и иммунитет

Основоположником иммунологического направления работы лаборатории алиментарной патологии являлся академик РАМН М.Н. Волгарев, который руководил лабораторией с 1969 по 2002 г. Инновационные научные исследования в области нутрициологии и иммунитета под его руководством получили широкое признание в нашей стране и за рубежом. Исследования по влиянию алиментарных факторов на формирование иммунной системы в различные периоды онтогенеза, раскрытие механизмов взаимосвязи иммунной реактивности организма и характера питания, зависимости активности гуморального и клеточного иммунитета от

содержания в рационе пищевых компонентов позволили разработать новые методические подходы к оценке действия алиментарных факторов на иммунный статус.

В 2002–2004 гг. лабораторию возглавлял д-р мед. наук А.Л. Поздняков, с 2004 по 2012 г. лабораторией руководил академик РАН Д.Б. Никитюк, а в 2013–2017 гг. (с 2016 г. – лаборатория иммунологии) – д-р мед. наук, проф. Р.А. Ханферьян. Под их руководством проводилось изучение влияния алиментарных факторов на состояние иммунной системы организма в клинике и эксперименте. С 2018 г. руководителем лаборатории является канд. мед. наук Э.Н. Трушина. Основными направлениями научной деятельности лаборатории являются оценка роли нутриентов в функционировании клеток иммунной системы, изыскание путей направленного влияния алиментарных факторов на иммунный статус. Идентифицированы иммунные маркеры метавоспаления у пациентов с алиментарно-зависимыми заболеваниями для использования их в качестве прогностических факторов тяжести заболевания и оценки эффективности диетотерапии. Важным направлением работы лаборатории является комплексная медико-биологическая оценка безопасности пищи, включающая широкий спектр иммунологических исследований ГМО, продуктов, полученных с использованием нетрадиционных источников, пищевых ингредиентов, производимых путем микробного синтеза и нанотехнологий.

Лечебное питание (диетология)

Клиника лечебного питания – единственный в стране многопрофильный лечебно-диагностический и научно-исследовательский медицинский центр, сочетающий новейшие научные достижения, современные медицинские технологии диагностики, лечения и реабилитации с уникальными методами лечебного питания.

История образования Клиники лечебного питания неразрывно связана с именем д-ра мед. наук, проф. М.И. Певзнера, пионера научной разработки вопросов питания больного человека и использования питания в качестве лечебного фактора. В 1921 г. под его руководством при курортной клинике Наркомздрава СССР было создано отделение болезней органов пищеварения и диететики на 75 коек. В 1930 г., при создании Центрального научного института питания Наркомздрава РСФСР, в его структуру был включен руководимый им отдел лечебного питания, где изучались вопросы классификации и дифференцированной терапии язвенной болезни, гастритов, гепатитов, энтеритов и колитов; впервые была обоснована целесообразность полноценного белково-витаминного питания при острых и хронических заболеваниях печени. М.И. Певзнер занимался внедрением лечебного питания в практическое здравоохранение, создав номерную систему диет по нозологическому принципу, которая использовалась до начала 2000-х гг. («столы № 1–15 по Певзнеру»). Опубликованы «Основы лечебного питания» [31].

Сотрудники Клиники лечебного питания, соратники и ученики М.И. Певзнера – О.Л. Гордон, М.С. Маршак, Л.Б. Берлин, Г.Л. Левин и др., разработали принципы лечебного питания и технологии приготовления блюд щадящих диет и при заболеваниях почек, гипертонической болезни, сахарном диабете, ожирении, инфекциях [32].

М.С. Маршак в 1930–1967 гг. разрабатывал рационы профилактического питания для работников промышленных предприятий и внедрял их на вредных производствах во всех регионах страны. Опубликовал монографию «Организация лечебного питания» [33].

В последующие годы под руководством Ф.К. Миньшикова и И.С. Савощенко в Клинике были разработаны и внедрены в практику диеты при инфаркте миокарда, гипертонической болезни, хроническом панкреатите, методика энтерального питания для хирургических больных, осуществлялась работа по подготовке медицинских кадров (диетврачей, диетсестер, диетповаров) для практического здравоохранения страны.

В 1972 г. Клинику лечебного питания возглавил чл.-кор. АМН СССР М.А. Самсонов. Получила дальнейшее развитие концепция сбалансированного лечебного питания при различных нозологиях, в зависимости от фазы и стадии болезни, степени метаболических нарушений и осложнений, разработано научное обоснование оптимального количества и качественного состава белка в диетах при ревматизме, нефротическом синдроме, хронической почечной недостаточности, гепатите, энтероколите; количества и качественного состава жиров и углеводов (в том числе пищевых волокон) в рационе при атеросклерозе, ишемической болезни сердца, гиперлипидемии; количества поваренной соли и соотношение натрия и калия в диетах при гипертонической болезни, сердечно-сосудистой недостаточности и ряде других заболеваний.

Исследования в области питания здорового и больного человека были опубликованы в виде «Справочника по диетологии» под редакцией М.А. Самсонова, А.А. Покровского, вышедшего в 3 изданиях, 4-томного руководства «Картотека блюд лечебного и рационального питания», монографии «Питание в патогенезе, лечении и профилактике гипертонической болезни» и др.

История развития отечественной диетологии связана с развитием направлений, традиционно сформировавшихся с момента открытия Клиники в 1930 г.

Сердечно-сосудистая патология

В 1930–1952 гг. под руководством канд. мед. наук Л.Ф. Лимчера проводилась разработка диетотерапии при заболеваниях сердечно-сосудистой системы: атеросклерозе, инфаркте миокарда, гипертонической болезни, сердечно-сосудистой недостаточности, а также ревматизме, заболеваниях почек и др. В период Великой Отечественной войны были обоснованы принципы восстановительного питания пациентов с алиментарной дистрофией.

В 1952–1953 гг. канд. мед. наук Г.Е. Сорокин руководил изучением влияния алиментарных факторов на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы. В 1953–1965 гг. под руководством д-ра мед. наук, проф. В.П. Соколовского изучали изменение кислотно-щелочного баланса у пациентов с кардиопатологией под воздействием лечебных рационов.

С 1965 г. под руководством чл.-кор. РАМН М.А. Самсонова, д-ра мед. наук, проф. А.В. Древалю, д-ра мед. наук, проф. Г.Р. Покровской, д-ра мед. наук, проф. А.В. Погожевой, канд. мед. наук А.Р. Богданова проводилась разработка и оценка эффективности новых диет, специализированных диетических пищевых продуктов (смесей для энтерального питания, белковых композиций и др.), БАД, содержащих белок и изофлавоны сои, витамины, минеральные вещества, флавоноиды, фитостерины, сквален, моновенасыщенные жирные кислоты и ПНЖК, пищевые волокна, пробиотики и др. Была разработана и внедрена в клиническую практику трехуровневая система диагностики нарушений пищевого статуса и оценки риска развития заболеваний «Нутритест-ИП», а с целью коррекции нарушений пищевого статуса – трехуровневая система «Нутрикор-ИП». По этим данным было опубликовано 4 монографии, 3 пособия для врачей, около 20 методических рекомендаций, 5 научно-популярных книг, защищены 16 кандидатских и 3 докторские диссертации [2, 3, 20–22].

Начиная с 2019 г. под руководством заместителя директора Центра по научной и лечебной работе, д-ра мед. наук А.В. Стародубовой создано и развивается новое направление в отечественной медицине – кардионутрициология, сформированное на стыке кардиологии, профилактики сердечно-сосудистых заболеваний и персонализированной диетотерапии, биохимии и гигиены питания. Проводится разработка диет для предоперационной подготовки пациентов при оперативных вмешательствах на сердце и сосудах; после трансплантации сердца на фоне иммуносупрессивной терапии; при синдроме обструктивного апноэ сна и др.

Заболевания системы пищеварения

Отделение гастроэнтерологии было основано одновременно с организацией Института питания в 1930 г. Первым руководителем отдела болезней желудочно-кишечного тракта стал д-р мед. наук, проф. О.С. Гордон (1930–1958 гг.). Им впервые был введен термин «раздраженный желудок», показан комплексный характер патогенеза, с участием центральной регуляции. В 1959 г., уже после его смерти, была издана монография «Хронический гастрит и так называемые функциональные заболевания желудка».

В этом направлении работали многие сотрудники Клиники. Д-р мед. наук, проф. Л.Б. Берлин был автором свыше 40 научных работ по вопросам лечебного питания при колитах, болезнях печени, гипертонической болезни, в том числе монографии «Хронические колиты» (1951 г.). Канд. мед. наук Г.Л. Левин написал монографию «Язвенная болезнь» (1970 г.). Д-р мед.

наук, проф. А.М. Ногаллер работал в Клинике лечебного питания над вопросами гастроэнтерологии, пищевой аллергии, иммунологических нарушений при болезнях пищеварения. Д-р мед. наук, проф. О.С. Радбиль опубликовал свыше 350 работ по гастроэнтерологии, в том числе 20 монографий [30, 31].

С 1960 г. д-р мед. наук, проф. А.П. Нестерова и д-р мед. наук, проф. Т.И. Лоранская основное внимание уделяли разработке и внедрению диетотерапии наиболее распространенных заболеваний органов пищеварения. Выпущенная в 1984 г. по результатам этих исследований монография надолго оставалась настольным руководством для врачей.

В настоящее время под руководством д-ра мед. наук, проф. В.А. Исакова расширился спектр проводимых исследований при заболеваниях печени, гастроэзофагеальной рефлюксной болезни, синдроме раздраженного кишечника, широко используется энтеральное питание, внедрен метод эластографии печени [2, 3].

Патология обмена веществ

В 1957 г. руководителем направления исследования обмена веществ был д-р мед. наук, проф. М.Н. Егоров. Труды его сотрудников включали монографию «Ожирение» (1957 г.), в развитии которого лежало представление о нарушении жирового обмена. Дальнейшее исследование проблемы ожирения проходило под руководством д-ра мед. наук, проф. Е.А. Беюл, изучавшей вопросы этиологии, патогенеза и терапии болезней метаболизма, разработки обоснования лечебного и профилактического питания с включением источников белка и пищевых волокон. Были разработаны программы для снижения массы тела, изучены проблемы нарушения функции сердечно-сосудистой системы, подагры и мочекишечного диатеза у пациентов с ожирением. Изданы 4 монографии и 2 справочника по диетологии, посвященных проблеме ожирения («Ожирение», 1986 г.). Работы д-ра мед. наук, проф. В.А. Оленевой были посвящены вопросам оценки эффективности комплексной терапии алиментарного ожирения, изучению пищевого статуса пациентов после хирургического лечения ожирения, рекомендациям по питанию в послеоперационный период, которые использовались долгое время в бариатрической практике.

В 1988 г. под руководством канд. мед. наук Ю.П. Поповой проводилось изучение метаболического и пищевого статуса пациентов с ожирением, особенностей регуляции термогенеза, метаболизма, нарушений водно-солевого обмена, содержания и баланса внеклеточной и внутриклеточной жидкости, композиционного состава тела и его динамики в процессе редукции массы тела. Применялись комплексные подходы к лечению ожирения с использованием СПП, БАД и фармпрепаратов с анорексигенным эффектом [2–4].

В 1985 г. д-р мед. наук, проф. В.А. Мещерякова, ученица М.А. Самсонова, руководила разработкой технологии приготовления и клиническими испытаниями новых диетических продуктов и специальных диет. Разрабо-

тан ассортимент продуктов и блюд с различными источниками пищевых волокон, изделий и блюд на основе текстурированных соевых продуктов, экструдированных и микронизированных зерновых продуктов; проведена оценка их эффективности у пациентов с сахарным диабетом 2 типа, нарушенным желчеотделением, анемией, заболеваниями опорно-двигательного аппарата. Изучались механизмы разгрузочно-диетической терапии (лечебного голодания) у пациентов с бронхиальной астмой, ревматоидным артритом, болезнью Бехтерева («Методические рекомендации по дифференцированному применению разгрузочно-диетической терапии при некоторых внутренних и нервно-психических заболеваниях»). Разработаны новые диеты для пациентов, проживающих в радиационно неблагоприятных регионах.

С 2006 г. под руководством д-ра мед. наук Х.Х. Шарфетдинова внедрена и апробирована методика оценки гликемических индексов углеводсодержащих продуктов, разработаны диеты с низким гликемическим индексом для пациентов с сахарным диабетом 2 типа, проведена оценка эффективности диетотерапии с включением ПНЖК ω -3, селена и т.д. С помощью молекулярно-генетических исследований оценено распределение частот аллелей и генотипов полиморфных маркеров генов, ассоциированных с риском сахарного диабета 2 типа, метаболического синдрома, ожирения [2–4, 34].

Приказом Минздрава России от 05.08.2003 № 330 «О мерах по совершенствованию лечебного питания в лечебно-профилактических учреждениях Российской Федерации» была введена новая номенклатура диет (система стандартных диет), которая объединяет ранее применявшиеся диеты номерной системы Певзнера (диеты № 1–15).

В 2006–2009 гг. в Клинике созданы отделение педиатрической гастроэнтерологии, гепатологии и диетологии, отделение аллергологии и лаборатория клинической биохимии, иммунологии и аллергологии, энтерального питания с группой интенсивной терапии и др., а также консультативно-диагностический центр «Здоровое и спортивное питание». Мощность коечного фонда Клиники увеличилась к настоящему времени до 257 коек.

Главным врачом Клиники с 2010 г. является д-р мед. наук З.М. Зайнудинов, в этот период разработаны инновационные подходы к оценке пищевого статуса и персонализированной диетотерапии, внедрены комплексные программы лечения и реабилитации, включающие диетотерапию и нутритивную поддержку, при наиболее распространенных алиментарно-зависимых заболеваниях: болезнях органов кровообращения, ожирении, саркопении, недостаточности питания; для пациентов после бариатрических операций и т.д.

Журнал «Вопросы питания»

На базе ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» в течение длительного времени осуществляет свою

деятельность редакция научно-практического журнала «Вопросы питания», выпускаемого с 1932 г. и зарегистрированного в Роскомнадзоре (свидетельство ПИ № ФС 77-79884 от 25.12.2020).

За 93 года со дня образования журнала его главными редакторами были такие видные ученые, как Б.И. Збарский (1940–1941 гг.), О.П. Молчанова (с 1952 по 1962 г.), А.А. Покровский (с 1963 по 1978 г.), В.А. Шатерников (1979–1986 гг.), Т.Ш. Шарманов (1987–1988 гг.), В.Б. Спиричев (1989–1994 гг.), а с 1994 г. по настоящее время бессменным главным редактором является академик РАН, научный руководитель ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» В.А. Тутельян. Большую работу по обработке и редактированию поступающих в редакцию научных статей выполняли ответственные секретари редакции: А.И. Штенберг, Н.П. Нефедьева, Н.В. Орлова, В.П. Калашникова, с 1999 по 2013 г. – ответственный секретарь редакции и научный редактор д-р мед. наук А.Л. Поздняков, а с 2013 г. по настоящее время эту работу возглавляет канд. биол. наук О.А. Вржесинская.

Журнал «Вопросы питания» (ISSN печатной версии 0042-8833, ISSN электронной версии 2658-7440) входит в «белый список» научных журналов, Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук, рекомендованный Высшей аттестационной комиссией (ВАК) при Министерстве образования и науки РФ, в ряд международных реферативных баз данных и систем цитирования. Его целевой аудиторией являются диетологи, гастроэнтерологи, терапевты, семейные врачи, педиатры, фармакологи, исследователи в области биохимии, гигиены, токсикологии питания, технологи пищевых производств, организаторы здравоохранения.

Образовательный кластер «Здоровое питание»

В 2023 г. в ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» был сформирован образовательный кластер «Здоровое питание» как механизм здоровьесбережения детского и взрослого населения Российской Федерации [11].

Образовательный кластер «Здоровое питание», которым руководит ученый секретарь Центра, д-р мед. наук, проф. И.Ю. Тармаева, объединяет 5 профильных кафедр ведущих вузов страны: кафедру гигиены питания и токсикологии ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (1994 г.); кафедру диетологии и нутрициологии ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России (1973 г.); кафедру гастроэнтерологии и диетологии факультета дополнительного профессионального образования ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет) (2012 г.); кафедру факультетской терапии лечебного факультета ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет)

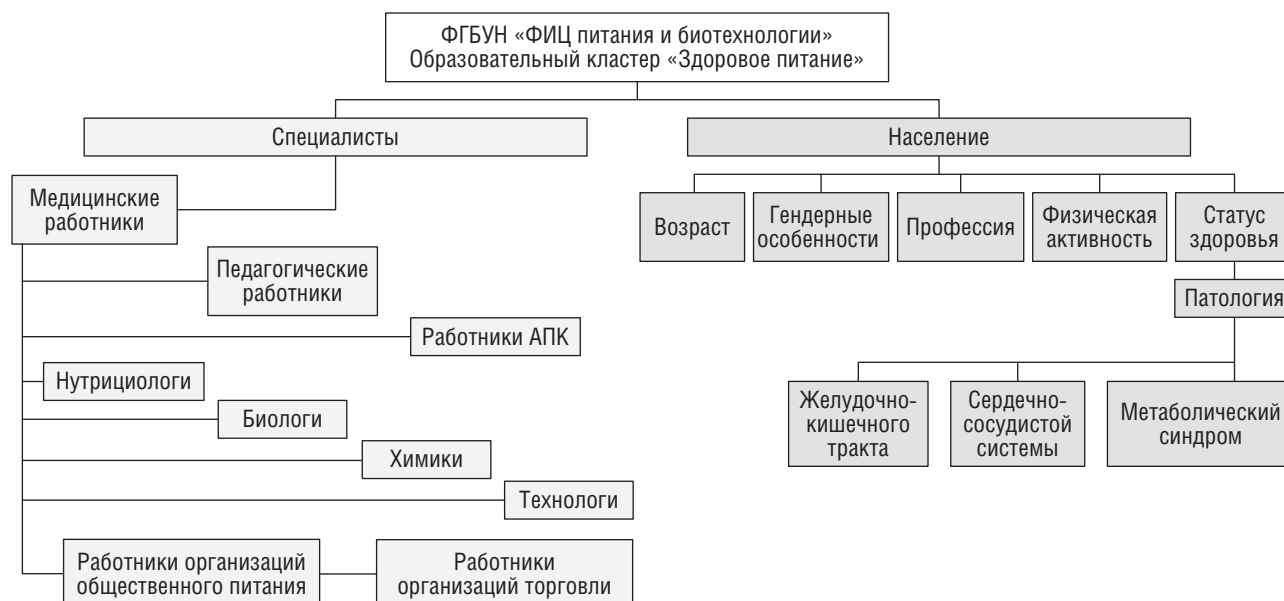


Рис. 6. Образовательные программы в области нутрициологии и диетологии для специалистов и населения

АПК – агропромышленный комплекс.

Fig. 6. Educational programs in the field of nutrition and dietetics for specialists and the population

(2016 г.); кафедру экологии и безопасности пищи Института экологии ФГАОУ ВО РУДН имени П. Лумумбы (2023 г.). Сюда же входят и научные ресурсы филиалов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».

Все системы обучения в области здорового питания подразделяются в зависимости от целевых аудиторий на общие (для населения) и специальные – для специалистов в области питания: медицинских работников, педагогов, работников АПК, пищевых производств и общественного питания (рис. 6).

В рамках деятельности кластера с целью повышения эффективности образовательного процесса создана компьютерная программа Научный Инструмент Анализа Питания (НИАП) [Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (НИАП) № 2023680849, дата регистрации 5 октября 2023 г.], которая предназначена для автоматической оценки фактического питания пациентов, разработки индивидуальных сбалансированных рационов в ручном и автоматическом режиме с использованием алгоритмов машинного обучения и генерации персонализированных рекомендаций [18].

Основные направления работ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» в ближайшие годы

Планируемые фундаментальные и поисковые научные исследования, прикладные разработки лежат в области приоритетных направлений медицины, нутрициологии, диетологии, инновационных технологий пищевых продуктов, а также обоснования принципов оптимального питания человека с целью научного обеспечения

основ государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения в соответствии с направлениями Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период, приоритетными направлениями научно-технологического развития Российской Федерации – «Превентивная и персонализированная медицина, обеспечение здорового долголетия», в рамках Национального проекта «Здоровая и продолжительная жизнь», важнейших наукоемких технологий – технологий персонализированного, лечебного и функционального питания для здоровьесбережения.

В настоящее время основными задачами, стоящими перед Центром, являются:

- расшифровка молекулярных механизмов ассимиляции пищевых и минорных БАВ и изучение сигнальных путей для выявления механизмов их действия на организм;
- обоснование норм физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп детского и взрослого населения РФ;
- совершенствование системы оценки состояния фактического питания населения РФ, развитие сети региональных центров мониторинга и оптимизации различных групп населения, разработка рекомендаций для субъектов РФ по оптимизации питания различных групп населения с учетом выявленных региональных особенностей; оптимизация структуры питания детского и взрослого населения; внедрение инновационных диагностических технологий, включая визуализационные, метаболомические, иммунологические, для расширенной оценки пищевого статуса у пациен-

тов разного возраста с избыточной массой тела, ожирением и ассоциированными с ними заболеваниями и патологическими состояниями;

- создание новых классов пищевых продуктов, удовлетворяющих потребности индивидуума в пищевых веществах и энергии, максимально сбалансированных по пищевой и биологической ценности, с использованием современных пищевых ингредиентов различного назначения – макро- и микронутриентов (изоляты и концентраты белков, пептиды, аминокислоты, витамины, минеральные вещества, ПНЖК, пребиотики, пробиотические микроорганизмы, закваски и др.) и минорных БАВ (фитостерины, полимерные фенольные соединения, флавононы и др.), обеспечивающих повышение пищевой плотности или направленную физиологическую эффективность продукта;
- исследование свойств и синергизма макромолекул в пищевых матриксах, сформированных с использованием новых видов продовольственного сырья микробного, растительного, животного происхождения; разработка новых биологических моделей для оценки эффективности БАВ, формирующих отличительные признаки новых видов СПП;
- создание научно обоснованной системы поддержки грудного вскармливания как одного из приоритетных направлений в борьбе с детским ожирением; разработка программ по оптимизации питания женщин репродуктивного возраста, в период беременности в качестве основы ранней профилактики алиментарно-зависимых состояний детского возраста, снижения риска недоношенности; создание технологической базы производства ингредиентов для детского питания: смесей для искусственного вскармливания, лечебного питания, в том числе для детей с орфанной патологией, энтерального питания;
- изучение взаимосвязи питания, различных диетологических вмешательств (сенолитиков) и биомаркеров старения, процессов старения клеток и его предотвращения, особенностей эпигенетических механизмов, генетических и метаболических профилей, инновационных стратегий лечения, которые позволят обеспечить внедрение и реализацию инновационных стратегий персонализированной диетотерапии в рамках технологий здоровьесбережения и медицины здорового долголетия;
- формирование эффективного взаимодействия между медицинским научным сообществом и пище-

вой индустрией, а также единого подхода к созданию пищевых продуктов с заданным химическим составом, направленных на восполнение дефицитов, снижение калорийности и увеличение пищевой плотности рациона как при индивидуальном потреблении, так и в организованных коллективах; оценка клинической эффективности СПП целевого назначения с использованием новых видов продовольственного сырья микробного, растительного, животного происхождения;

- научное и экспертное сопровождение мероприятий по возрождению отечественного производства пищевых ингредиентов, в том числе методами современной биотехнологии, в особенности витаминов, минеральных веществ, полноценного белка, и БАВ;
- поиск новых источников полноценного белка для использования в питании человека; разработка новых подходов к оценке пищевой ценности и безопасности нетрадиционных источников пищи; научное обоснование требований к новым поколениям ГМО-микроорганизмов для пищевой промышленности, разработанных по технологии CRISPR и синтеза ДНК и белка, разработка методов контроля, адекватных современным технологиям конструирования ГМО-микроорганизмов на основе безамплификационных технологий и репортерной РНК;
- совершенствование системы обеспечения безопасности пищевой продукции: выявление новых видов природных и антропогенных загрязнителей пищевой продукции, нормируемых пищевых добавок, обоснования регламентов их содержания в пищевой продукции; прогнозирование появления новых видов возбудителей заболеваний, передающихся с пищей, оценка риска реальной контаминации пищевых продуктов этими микроорганизмами; обеспечение безопасности нанотехнологий, используемых в пищевой индустрии; разработка высокочувствительных и селективных аналитических методов обнаружения, идентификации и количественного определения новых и потенциально опасных загрязнителей пищевой продукции природного и антропогенного происхождения;
- повышение уровня образования населения в вопросах здоровья, культуры питания, приверженности здоровому образу жизни, формирование осознанного понимания связи между питанием и состоянием здоровья сегодня и в будущем.

Сведения об авторах

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

E-mail: tutelyan@ion.ru

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

Никитюк Дмитрий Борисович (Dmitriy B. Nikityuk) – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», профессор кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (Москва, Российская Федерация)

E-mail: nikityuk@ion.ru

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

Литература

1. Тутельян В.А. К 90-летию Института питания: взгляд сквозь годы // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 8–23. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10038>
2. К 90-летию Института питания/ФИЦ питания и биотехнологии. Нутрициология, диетология, биотехнология, гигиена: единение и инновации / под ред. В.А. Тутельяна. Москва : ДеЛи, 2022. 370 с. ISSN 978-5-6045642-9-5.
3. Нутрициология и клиническая диетология : национальные руководства / под ред. В.А. Тутельяна, Д.Б. Никитюка. 3-е изд. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2023. 1008 с. ISBN: 978-5-9704-7769-4.
4. Нутрициология : полное руководство для практикующих специалистов / В.А. Тутельян, Д.Б. Никитюк, А.В. Погожева. Москва : Эксмо, 2025. 432 с. (Настольный медицинский справочник). ISBN: 978-5-04-200968-6.
5. Петровский К.С. О некоторых вопросах организации питания в период Великой Отечественной войны // Вопросы питания. 1970. № 3. С. 3–7.
6. Опыт Советской медицины в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. Москва : Медгиз, 1955. Т. 33. С. 130–191.
7. Молчанова О.П. Основы рационального питания. 2-е изд. Москва : Медгиз, 1951. 44 с.
8. Покровский А.А. Роль биохимии в развитии науки о питании. Москва : Наука, 1974. 128 с.
9. Волгарев М.Н., Тутельян В.А., Самсонов М.А. Питание в патогенезе, терапии и профилактике заболеваний системы пищеварения // Вестник Российской академии наук. 1997. Т. 67, № 11. С. 18–21.
10. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. МР 2.3.1.0253-21. Москва : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 2021. 72 с.
11. Эпидемиология питания: Россия 2018–2023 / под ред. В.А. Тутельяна, Д.Б. Никитюка. Москва : ДеЛи, 2024. 270 с. ISBN: 978-5-6051148-4-0.
12. Химический состав российских пищевых продуктов : справочник / коллектив авторов ; под ред. В.А. Тутельяна, Н.К. Долгушкина, Д.Б. Никитюка. Москва : ДеЛи, 2024. 193 с. ISBN: 978-5-605-11485-7.
13. Тутельян В.А., Онищенко Г.Г., Гуревич К.Г., Погожева А.В. Здоровое питание. Роль БАД. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2020. 480 с. ISBN: 978-5-9704-5543-2.
14. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Батуринов 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 веществ пищи // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 24–34. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10039>
15. Инновации в питании для взрослых : ежегодное издание с каталогом. Вып. 1 / под ред. В.А. Тутельяна, Д.Б. Никитюка, А.В. Погожевой и др. Москва : Медицинское информационное агентство, 2021. 166 с. : ил. ISBN: 978-5-907098-56-5.
16. Тутельян В.А., Мусина О.Н., Балыхин М.Г., Щетинин М.П., Никитюк Д.Б. Цифровая нутрициология: применение информационных технологий при разработке и совершенствовании пищевых продуктов: учебное пособие. Москва : МГУПП, 2020. 378 с. ISBN: 978-5-93957-969-8.
17. Орлов Ю.Н., Кислицын А.А., Камбаров А.О., Батуринов А.К., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А. Цифровая нутрициология: спектральные портреты меню оптимального питания // Научная визуализация. 2020. Т. 12, № 2. С. 139–150. DOI: <https://doi.org/10.26583/sv.12.2.11>
18. Тутельян В.А., Тармаева И.Ю., Каде М.А., Никитюк Д.Б. Медицина будущего: роль искусственного интеллекта в оптимизации питания для здоровьесбережения населения России // Вопросы питания. 2024. Т. 93, № 4. С. 6–13. DOI: <https://doi.org/10.3029/0042-8833-2024-93-4-6-13>
19. Ефремов В.В., Штенберг А.И. 50-летний путь Института питания АМН СССР: его создание, становление, развитие // Вопросы питания. 1980. № 5. С. 4–9.
20. Тутельян В.А., Погожева А.В., Высоцкий В.Г. Клинико-гигиенические аспекты применения сои. Москва : Новое тысячелетие, 2005. 257 с. ISBN: 5-86947-054-4.
21. Тутельян В.А., Погожева А.В., Высоцкий В.Г. Роль пищевых волокон в питании человека. Москва : Новое тысячелетие, 2008. 325 с. ISBN: 5-86947-013-7.
22. Погожева А.В. Сердечно-сосудистые заболевания, диета и ПНЖК омега-3. Москва, 2000. 320 с. ISBN: 5-85638-040-1.
23. Ефремов В.В. Важнейшие авитаминозы человека. Москва; Ленинград : Медгиз, 1939. 192 с.
24. Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Спиричев В.Б. Изменение обеспеченности витаминами взрослого населения Российской Федерации за период 1987–2009 гг. (к 40-летию лаборатории витаминов и минеральных веществ НИИ питания РАМН) // Вопросы питания. 2010. Т. 79, № 3. С. 68–72.
25. Коденцова В.М., Бекетова Н.А., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А. Характеристика обеспеченности витаминами взрослого населения Российской Федерации // Профилактическая медицина. 2018. Т. 21, № 4. С. 32–37. DOI: <https://doi.org/10.17116/profmed201821432>
26. Коденцова В.М., Жилинская Н.В., Шпигель Б.И. Витаминология: от молекулярных аспектов к технологиям витаминизации детского и взрослого населения // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 89–99. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10045>
27. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Погожева А.В. Теория и практика спортивного питания. М.: ДеЛи, 2025. 338 с. ISBN: 978-5-6052870-1-8.
28. Космическая нутрициология / под ред. В.А. Тутельяна, О.Ю. Атькова, В.М. Баранова, Д.Б. Никитюка. Москва : ДеЛи, 2025. 434 с. ISBN: 978-5-6052870-7-0.
29. Система алиментарной поддержки раненых для повышения эффективности медицинской помощи на госпитальном и последующих этапах реабилитации: методические рекомендации. Москва, 2023.
30. Система алиментарной поддержки населения зоны СВО для обеспечения здоровьесбережения : методические рекомендации. Москва, 2023.
31. Певзнер М.И. Основы лечебного питания. Москва : Медгиз, 1949. 572 с.
32. Гордон О.Л. Современные научные основы лечебного питания. Москва : Знание, 1953. 30 с.
33. Маршак М.С. Краткий справочник по лечебному питанию. Санкт-Петербург : Тимошка, 2000. 240 с.
34. Шарафетдинов Х.Х., Плотников О.А. Лечебное питание при сахарном диабете 2 типа: реалии и перспективы / под ред. В.А. Тутельяна, Д.Б. Никитюка. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2025. 168 с. DOI: <https://doi.org/10.33029/9704-9285-7-LPS-2025-1-168>

References

1. Tutelyan V.A. On the 90th anniversary of the Institute of Nutrition: a look through the years // Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2020; 89 (4): 8–23. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10038> (in Russian)
2. On the 90th anniversary of the Institute of Nutrition/Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology. Nutrition, dietetics, biotechnol-
- ogy, hygiene: unity and innovation. Edited by V.A. Tutelyan. Moscow: DeLi, 2022: 370 p. ISSN: 978-5-6045642-9-5. (in Russian)
3. Nutrition and clinical dietetics: national guidelines. Edited by V.A. Tutelyan, D.B. Nikityuk. 3rd ed. Moscow: GEOTAR-Media, 2023: 1008 p. ISBN: 978-5-9704-7769-4. (in Russian)

4. Nutrition science: a complete guide for practitioners. Edited by V.A. Tutelyan, D.B. Nikityuk, A.V. Pogozheva. Moscow: Eksmo, 2025: 432 p. (Medical desk reference). ISBN: 978-5-04-200968-6. (in Russian)
5. Petrovsky K.S. About some issues of catering during the Great Patriotic War. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 1970; (3): 3–7. (in Russian)
6. The experience of Soviet medicine in the Great Patriotic War of 1941–1945. Moscow: Medgiz, 1955; (33): 130–91. (in Russian)
7. Molchanova O.P. Fundamentals of rational nutrition. 2nd ed. Moscow: Medgiz, 1951: 44 p. (in Russian)
8. Pokrovsky A.A. The role of biochemistry in the development of nutrition science. Moscow: Nauka, 1974: 128 p. (in Russian)
9. Volgarev M.N., Tutelyan V.A., Samsonov M.A. Nutrition in the pathogenesis, therapy and prevention of diseases of the digestive system. *Vestnik Rossiiskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences]. 1997; 67 (11): 18–21. (in Russian)
10. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Methodological recommendations. Moscow: Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 2021: 72 p. (in Russian)
11. Epidemiology of nutrition: Russia 2018–2023. Edited by V.A. Tutelyan, D.B. Nikityuk. Moscow: DeLi, 2024: 270 p. ISBN: 978-5-6051148-4-0. (in Russian)
12. Chemical composition of Russian food products: reference book. Edited by V.A. Tutelyan, N.K. Dolgushkin, D.B. Nikityuk. Moscow: DeLi, 2024: 193 p. (in Russian) ISBN: 978-5-605-11485-7.
13. Tutelyan V.A., Onishchenko G.G., Gurevich K.G., Pogozheva A.V. Healthy nutrition. The role of dietary supplements. Moscow: GEOTAR-Media, 2020: 480 p. ISBN: 978-5-9704-5543-2. (in Russian)
14. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B., Baturin A.K., Vasil'ev A.V., Gapparov 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)
15. Innovations in Nutrition for Adults: Annual Publication with Catalog. Issue 1. Edited by: V.A. Tutelyan, D.B. Nikityuk, A.V. Pogozheva, A.E. Shestopalov, T.S. Popova. Moscow: Medical Information Agency, 2021: 166 p. ISBN: 978-5-907098-56-5. (in Russian)
16. Tutelyan V.A., Musina O.N., Balykhin M.G., Shchetinin M.P., Nikityuk D.B. Digital nutritionology: application of information technologies in the development and improvement of food products: textbook. Moscow: Moscow State University of Food Production, 2020: 378 p. ISBN: 978-5-93957-969-8. (in Russian)
17. Orlov Yu.N., Kislitsyn A.A., Kambarov A.O., Baturin A.K., Nikityuk D.B., Tutelyan V.A. Digital nutriciology: spectral portraits of optimal nutrition menus. *Nauchnaya vizualizatsiya* [Scientific Visualization]. 2020; 12 (2): 139–50. DOI: <https://doi.org/10.26583/sv.12.2.11> (in Russian)
18. Tutelyan V.A., Tarmaeva I.Yu., Kade M.A., Nikityuk D.B. Medicine of the future: the role of artificial intelligence in optimizing nutrition for the health of the Russian Population. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2024; 93 (4): 6–13. DOI: <https://doi.org/10.3029/0042-8833-2024-93-4-6-13> (in Russian)
19. Efremov V.V., Shtenberg A.I. 50-year history of the Institute of Nutrition of the USSR Academy of Medical Sciences: its creation, formation, development. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 1980; (5): 4–9. (in Russian)
20. Tutelyan V.A., Pogozheva A.V., Vysotsky V.G. Clinical and hygienic aspects of soy use. Moscow: Novoe tssyacheletie, 2005: 257 p. ISBN: 5-86947-054-4. (in Russian)
21. Tutelyan V.A., Pogozheva A.V., Vysotsky V.G. The role of dietary fibers in human nutrition. Moscow: Novoe tssyacheletie, 2008: 325 p. ISBN: 5-86947-013-7. (in Russian)
22. Pogozheva A.V. Cardiovascular diseases, diet, and omega-3 PUFAs. Moscow, 2000: 320 p. ISBN: 5-85638-040-1. (in Russian)
23. Efremov V.V. The most important human avitaminosis. Moscow; Leningrad: Medgiz, 1939: 192 p. (in Russian)
24. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Spirichev V.B. Changes in the vitamin supply of the adult population of the Russian Federation over the period 1987–2009 (on the 40th anniversary of the Laboratory of Vitamins and Minerals at the Research Institute of Nutrition of the Russian Academy of Medical Sciences). *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2010; 79 (3): 68–72. (in Russian)
25. Kodentsova V.M., Beketova N.A., Nikityuk D.B., Tutelyan V.A. Characteristics of vitamin supply for the adult population of the Russian Federation. *Profilakticheskaya meditsina* [Preventive Medicine]. 2018; 21 (4): 32–7. DOI: <https://doi.org/10.17116/profmed201821432> (in Russian)
26. Kodentsova V.M., Zhilinskaya N.V., Shpigel' B.I. Vitaminology: from molecular aspects to improving technology of vitamin status children and adults. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2020; 89 (4): 89–99. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10045> (in Russian)
27. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B., Pogozheva A.V. Theory and practice of sports nutrition. Moscow: DeLi, 2025: 338 p. ISBN: 978-5-6052870-1-8. (in Russian)
28. Space nutritionology. Edited by V.A. Tutelan, O.Yu. At'kov, V.M. Baranov, D.B. Nikityuk. Moscow: DeLi, 2025: 434 p. ISBN: 978-5-6052870-7-0. (in Russian)
29. The system of alimentary support for the wounded to improve the effectiveness of medical care at the hospital and subsequent stages of rehabilitation: methodological recommendations. Moscow, 2023. (in Russian)
30. The system of alimentary support for the population of the SVO zone to ensure health preservation: methodological recommendations. Moscow, 2023. (in Russian)
31. Pevsner M. Basics of therapeutic nutrition. Moscow: Medgiz, 1949: 572 p. (in Russian)
32. Gordon O.L. Modern scientific foundations of therapeutic nutrition. Moscow: Znanie, 1953: 30 p. (in Russian)
33. Marshak M.S. A short guide to therapeutic nutrition. Saint Petersburg: Timoshka, 2000: 240 p. (in Russian)
34. Sharafetdinov H.H., Plotnikov O.A. Therapeutic nutrition for type 2 diabetes: realities and prospects. Edited by V.A. Tutelyan, D.B. Nikityuk. Moscow: GEOTAR-Media, 2025: 168 p. DOI: <https://doi.org/10.33029/9704-9285-7-LPS-2025-1-168>

Для корреспонденции

Герасимов Григорий Анатольевич – доктор медицинских наук, профессор, Региональный координатор Глобальной сети по йоду по странам Восточной Европы и Центральной Азии
 Адрес: 4392, Innes Road, Ottawa, Ontario, K4A 3W3, Canada
 Телефон: 1-301-896-0820
 E-mail: gerasimovg@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6299-7219>

Герасимов Г.А.

Источники и уровни потребления йода в странах Европейского региона Всемирной организации здравоохранения: адаптация к изменениям в питании и образе жизни (сокращенный адаптированный перевод отдельных разделов доклада Европейского регионального бюро Всемирной организации здравоохранения¹)

Sources and iodine intake levels in countries of the WHO European Region: adaptation to changes in diet and lifestyle (an abridged translation of selected sections of the WHO European report)

Gerasimov G.A.

Международная неправительственная организация «Глобальная сеть по йоду», Оттава, Онтарио, K4A 3W3, Канада

International NGO "Iodine Global Network", Ottawa, Ontario, K4A 3W3, Canada

Настоящий обзор является сокращенным переводом отдельных глав доклада «Профилактика и контроль дефицита йода в Европейском регионе Всемирной организации здравоохранения: адаптация к изменениям в питании и образе жизни», опубликованного Европейским региональным бюро Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и Глобальной сетью по йоду в 2024 г.

Финансирование. Подготовка отчета была проведена при финансировании Kiwanis International и Iodine Global Network.

Конфликт интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Герасимов Г.А. Источники и уровни потребления йода в странах Европейского региона Всемирной организации здравоохранения: адаптация к изменениям в питании и образе жизни (сокращенный адаптированный перевод отдельных разделов доклада Европейского регионального бюро Всемирной организации здравоохранения) // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 4. С. 27–38. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-27-38>

Статья поступила в редакцию 02.06.2025. **Принята в печать** 27.06.2025

Funding. Kiwanis International and Iodine Global Network.

Conflict of interest. There is no conflict of interest.

For citation: Gerasimov G.A. Sources and iodine intake levels in countries of the WHO European Region: adaptation to changes in diet and lifestyle (an abridged translation of selected sections of the WHO European report). Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (4): 27–38. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-27-38> (in Russian)

Received 02.06.2025. **Accepted** 27.06.2025.

¹ Этот перевод не был создан Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ). ВОЗ не несет ответственности за содержание или точность этого перевода. Оригинальное английское издание является обязательным и аутентичным: "Prevention and control of iodine deficiency in the WHO European Region: adapting to changes in diet and lifestyle. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2024".

В обзоре представлены данные об основных источниках и уровне потребления йода, а также сведения о производстве и использовании йодированной соли в 54 странах Европейского региона ВОЗ. Наряду с йодированной солью молоко и молочные продукты также являются важными источниками йода во многих странах Западной и Центральной Европы, особенно для детей, однако йодирование соли остается основной стратегией для обеспечения адекватного потребления йода населением в Европейском регионе ВОЗ. Помимо использования йодированной соли в домохозяйствах, важную роль играет применение йодированной соли в пищевых продуктах промышленного производства (ППП), являющихся основными источниками пищевой соли в рационе питания населения региона. Изменения в рационе питания, включая более частое использование ППП, и переход на преимущественно растительные диеты способствуют сохранению, а в некоторых странах даже увеличению дефицита йода. Обязательное йодирование соли в государствах Европейского региона ВОЗ обеспечивает адекватное потребление йода во всех группах населения, за исключением нескольких стран, где эти программы плохо реализуются.

Ключевые слова: йод; потребление йода; йод в питании; дефицит йода; содержание йода в пищевых продуктах; йодирование соли; концентрация йода в молоке; Европейский регион ВОЗ

This review is an abridged translation of selected chapters of the report “Prevention and control of iodine deficiency in the WHO European Region: adapting to changing diets and lifestyles”, published by the WHO Regional Office for Europe and the Iodine Global Network (IGN) in 2024. It presents data on the main sources and iodine intake levels, as well as the production and use of iodized salt in 54 European WHO countries. Along with iodized salt, milk and dairy products are also important sources of iodine in many countries of western and central Europe, especially for children, but salt iodization remains the main strategy to ensure adequate iodine intake in the WHO European Region. In addition to the use of iodized salt in households, the use of iodized salt in industrially produced foods (IPF) plays an important role, as they are the main sources of salt in the Region. Lifestyle choices and dietary trends, including increased use of IPF and a shift to plant-based diets, contribute to the persistence and, in some countries, to the increase of iodine deficiency. Mandatory salt iodization in WHO European countries ensures adequate iodine intake in all population groups, with the exception of a few countries where these programs are poorly implemented.

Keywords: iodine; iodine intake; iodine in diet; iodine deficiency; iodine content in foods; salt iodization; iodine concentration in milk; WHO European Region

1. Введение

В 2024 г. Европейское региональное бюро Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и Глобальная сеть по йоду опубликовали отчет «Профилактика и контроль дефицита йода в Европейском регионе ВОЗ: адаптация к изменениям в питании и образе жизни» [1]. В отчете рассматривается потребление и статус йода в 53 государствах – членах Европейского региона ВОЗ и Косово² (всего – 54 страны), а также современные научные данные о последствиях легкого дефицита йода, источниках йода в рационе питания и эффективности мер профилактики дефицита йода. С января 2022 г. по январь 2024 г. был проведен всесторонний систематический поиск литературы в MedLine, EMBASE, Web of Science и Scopus. Также был осуществлен ручной поиск информации в списках ссылок оригинальных статей и обзоров литературы, в том числе на национальных языках некоторых стран. Запросы на данные по отдельным странам были отправлены в Региональное бюро

ВОЗ и национальным координаторам Глобальной сети по йоду в странах региона. Все собранные данные относятся к 2008–2023 гг., если не указано иное.

Поскольку оригинальный доклад Европейского регионального бюро ВОЗ был опубликован только на английском языке, настоящий обзор литературы представляет собой адаптированный перевод на русский язык главы 2 “Methods” (разделы 2.1. и 2.2), главы 4 “Iodine in the diet” и главы 6 “Strategies to prevent and control iodine deficiency” доклада и содержит актуальную информацию об основных источниках и потреблении йода в странах Европейского региона ВОЗ и стратегиях профилактики дефицита йода, в первую очередь йодирования соли.

2. Йод в питании

Йод (в виде йодида, I⁻) – это важный микронутриент, являющийся компонентом гормонов щитовидной железы: тироксина (T₄) и трийодтиронина (T₃). Дефицит

² Все ссылки на Косово в настоящем обзоре следует понимать в контексте резолюции 1244 (1999) Совета Безопасности ООН.

йода обусловлен его недостатком в почве и в грунтовых водах, что приводит к низкому содержанию йода в местных пищевых продуктах и питьевой воде. В странах Европы низкое содержание йода в почве было причиной его тяжелого дефицита в течение столетий. За счет прогресса в йодировании соли за последние два десятилетия число стран с дефицитом йода в целом у населения сократилось с 23 в 2003 г. до 2 в 2023 г. [1], что является крупным успехом общественного здравоохранения.

2.1. Референсные показатели потребления йода

Существуют определенные различия между референсными показателями потребления йода по группам населения (табл. 1), принятыми ВОЗ и Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов (EFSA) [2, 3]. ВОЗ оперирует понятием «нормы физиологической потребности» (НФП) (Recommended nutrient intake, RNI). EFSA считает, что критерии физиологического оптимума, применяемые для расчета физиологической потребности, отсутствуют или недостаточно достоверны для ряда микронутриентов, включая йод, и использует понятие «адекватный уровень» (Adequate intake, AI), определяемое как усредненное суточное потребление йода с пищей в референсной популяции, обеспеченной йодом. Другим используемым ВОЗ показателем является «средняя физиологическая потребность» (Estimated average requirement, EAR), соответствующая удовлетворению физиологической потребности в йоде у 50% референсной популяции. У EFSA подобный показатель отсутствует. Обе международные организации используют показатель «верхний допустимый уровень потребления» (ВДУ) (Upper limit, UL), под которым ВОЗ понимает максимальное количество йода, не вызывающее побочного токсического действия не менее чем у 97,5% членов референсной популяции. EFSA определяет ВДУ как максимальное ежедневное потребление йода, которое маловероятно будет представлять риск. Недавно на основе рекомендации EFSA был предложен гармонизированный ВДУ для йода у взрослых 600 мкг/сут [4].

2.2. Маркировка пищевых продуктов как источников йода

По правилам Европейского союза (ЕС) для маркировки в качестве «источника йода» (“source of iodine”) 100 г продукта должны обеспечивать не менее 15% от НФП йода для взрослых, т.е. от 150 мкг/сут, или содержать не менее 22,5 мкг йода в 100 г продукта. Чтобы считаться «значительным источником йода» (“high in iodine”), его содержание в пищевом продукте должно быть вдвое больше, чем просто в «источнике йода» (т.е. 30% от НФП, или 45 мкг в 100 г) [5]. Если пищевой продукт относится как минимум к «источникам йода», то на его этикетку можно нанести 1 из 6 разрешенных утверждений о пользе для здоровья: «йод способствует нормальной когнитивной функции»; «йод способствует нормальному обмену веществ»; «йод способствует нормальному функционированию нервной системы»; «йод способст-

вует здоровью кожи»; «йод способствует нормальной выработке гормонов щитовидной железы и нормальной функции щитовидной железы»; «йод способствует нормальному росту детей» [6].

2.3. Потребление йода в Европейском регионе Всемирной организации здравоохранения

В настоящем обзоре представлены данные о потреблении йода, преимущественно полученные методами оценки рациона питания (например, суточное воспроизведение рациона питания, частотный анализ потребления основных продуктов и др.), но в отдельных случаях также приводятся показатели йодного статуса, основанные на медианной концентрации йода, выделяемого с мочой (КИМ). Как и в случае со многими микронутриентами, оценка потребления йода с рационом питания является сложной задачей по 3 причинам. Во-первых, существует высокая суточная вариабельность потребления йода, так как ряд продуктов, богатых йодом (например, рыба и морепродукты), потребляются эпизодически, что может недооценивать их потребление. Во-вторых, довольно сложно оценить дискреционное потребление соли, включая йодированную соль (т.е. количество добавленной столовой соли во время приготовления пищи и/или за столом). В-третьих, базы данных химического состава пищевых продуктов могут содержать неточные или устаревшие данные о содержании йода [7].

Из 54 стран Европейского региона ВОЗ только для 26 (48%) стран имеются данные национальных исследований фактического питания, при этом сведения о потреблении йода были доступны только для 15 (28%) стран. Потребление йода было адекватным (>150 мкг/сут) как у мужчин, так и у женщин только в 3 странах (Финляндия, Нидерланды, Дания). В 5 странах (Исландия, Норвегия, Бельгия, Франция и Великобритания) потребление йода было адекватным только у мужчин, а у женщин оно составляло менее 150 мкг/сут. В 3 странах (Ирландия, Эстония, Австрия) потребление йода было неадекватным у лиц обоего пола, а в Германии, Испании и Турции оно было ниже 100 мкг/сут. В Литве потребление йода было самым низким и составляло 32 мкг/сут у лиц обоего пола. Во всех обследованных странах потребление йода было выше у мужчин, чем у женщин, что указывает на то, что женщины в большей степени подвержены риску низкого потребления йода [8]. Следует отметить, что в большинстве стран исследование питания не включало оценку вклада йодированной соли в потребление йода, из-за чего полученные данные о потреблении йода могут быть занижены. Однако в Нидерландах и Бельгии, где принято использовать йодированную соль в пекарнях, хлеб был источником, который обеспечивал более 50% суточного потребления йода. Другим важным источником йода в рационе питания населения (особенно детей) во многих странах являются продукты животного происхождения, обеспечивающие 82% от общего потребления йода у детей в Норвегии и 73% в Великобритании, и соответственно 65 и 61% его потребности у взрослых [8].

Таблица 1. Рекомендации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [2] и Европейского агентства по безопасности пищевых продуктов (EFSA) [3] по потреблению йода (мкг/сут) по возрастам или группам населения

Table 1. WHO [2] and EFSA [3] recommendations for iodine intake ($\mu\text{g/day}$) by age or population group

ВОЗ / WHO				EFSA		
Возраст/группа населения	НФП	СФП	ВДУ	Возраст/группа населения	АУ	ВДУ
Младенцы 0–12 мес	90	–	–	Младенцы 7–12 мес	70	–
Дети 1–5 лет 6–12 лет	90 120	64 87	200 300	Дети 1–3 года 4–6 лет 7–10 лет	90 90 90	200 250 300
Подростки 13–17 лет	150	107	600	Подростки 11–14 лет 15–17 лет	120 130	450 500
Взрослые, дети ≥12 лет	150	107	1100	Взрослые 18–70 лет	150	600
Беременные	250	143	500	Беременные	200	600
Кормящие	250	143	500	Кормящие	200	600

Примечание. АУ – адекватный уровень; СФП – средняя физиологическая потребность.

2.3.1. Молоко и молочные продукты

Из продуктов животного происхождения молоко и молочные продукты имеют наибольшее значение, обеспечивая 53% потребления йода взрослыми в Ирландии и более трети потребления в Дании, Финляндии, Норвегии и Великобритании [8]. Молоко и молочные продукты являются источниками йода вследствие того, что в молочном животноводстве предусмотрено добавление йода в корма коров, что изначально было мотивировано профилактикой негативного влияния дефицита йода на здоровье крупного рогатого скота и надоев молока, а не желанием улучшить йодный статус населения. Однако потребление молока и молочных продуктов на душу населения снижается во многих странах [9] при одновременном сдвиге в сторону использования растительных аналогов молока, особенно среди женщин. В Великобритании потребление молока тесно связано с йодным статусом детей школьного возраста, подростков, женщин репродуктивного возраста и беременных. Например, у девочек-подростков 14–15 лет самая низкая медианная КИМ (62 мкг/л) была в группе, которая не употребляла молоко [8].

Растительные аналоги молока. Данные из нескольких стран Европейского региона, включая Норвегию и Великобританию, показали, что, в отличие от коровьего молока, альтернативные растительные аналоги (например, овсяные или соевые) содержат очень мало йода, если они не обогащены этим микроэлементом [10]. Это важно, поскольку большинство растительных аналогов молока на рынке в настоящее время не обогащены йодом, хотя они могут быть обогащены другими микронутриентами, такими как кальций. Маркетинговое исследование в Великобритании в 2020 г. показало, что только 28% растительных аналогов молока были обогащены йодом по сравнению с 88% обогащенных кальцием. Кроме того, рынок альтернатив растительного происхождения расширяется на другие молочные продукты, такие как йогурт и сыр. В настоящее время доля таких продуктов, обогащенных йодом, ниже, чем растительного молока [11]. Низкое содержание йода в необо-

гащенных растительных аналогах молока означает, что у потребителей такой продукции повышается риск неадекватного потребления йода.

Вариабельность уровней йода в молоке в Европейском регионе. Данные о концентрации йода в молоке доступны для 25 стран. Концентрация йода в молоке варьировала от 33 мкг/кг (в Словении) до 499 мкг/кг (в Латвии). В 18 странах концентрация йода в молоке была ниже порогового значения, требуемого ЕС для маркировки молока как «источника» йода (т.е. менее 22,5 мкг/100 г). Однако этот порог основан на содержании йода, обеспечивающем 15% НФП для взрослых, и поэтому для детей такое молоко все равно будет служить источником йода. В 7 странах (Австрия, Хорватия, Чехия, Ирландия, Италия, Латвия и Великобритания) в молоке содержание йода достаточно, чтобы маркировать его как источник этого микронутриента [12].

Факторы, влияющие на концентрацию йода в молоке. Концентрация йода в молоке зависит от уровня обогащения йодом кормов для крупного рогатого скота, использования в молочном животноводстве йодосодержащих дезинфицирующих средств (йодофоров) и содержания зобогенных веществ в корме. Действующие правила ЕС устанавливают максимальное содержание 5 мг йода на 1 кг сухого вещества корма для молочных жвачных животных. EFSA рассматривало возможность снижения максимального содержания до 2 мг йода/кг, но ряд государств – членов ЕС, включая Бельгию, Финляндию и Великобританию, выразили обеспокоенность тем, что более низкое обогащение корма может уменьшить концентрацию йода в молоке и усилить дефицит йода в этих странах [13]. В целом существует линейная зависимость между концентрацией йода в корме и его уровнем в молоке [11]. Перенос йода из корма в молоко снижается в присутствии в кормах зобогенных компонентов, таких как рапс, содержащий глюкозинолаты, которые метаболизируются в тиоцианат, конкурентный ингибитор йода, воздействующий на симпортер натрия и йода в клетках молочной железы.

Экспериментальные данные показали, что включение рапса (33%) в корм для крупного рогатого скота снижает

концентрацию йода в молоке до 50% [14]. Эти факторы могут привести к значительным колебаниям уровня йода в молоке в зависимости от сезона и системы производства молочной продукции (т.е. органическое или обычное молоко).

Сезонные колебания. Концентрация йода в молоке выше зимой, чем летом, что отчасти объясняется более широким использованием обогащенных минеральными веществами кормов в зимние месяцы, а также более низким содержанием зобогенных веществ в зимних кормах [14]. Сезонные колебания концентрации йода в молоке могут влиять на потребление йода, особенно в странах, где обеспеченность населения йодом в высокой степени зависит от молока и молочных продуктов. Исследования в Великобритании показали более высокую медианную КИМ зимой, чем летом, у беременных и детей в возрасте 8–10 лет [15].

Различия между органическим и обычным молоком. Недавний систематический обзор литературы показал, что в 5 из 6 исследованных европейских стран органическое молоко содержало меньше йода, чем обычное. Правила ЕС требуют, чтобы не менее 60% кормов на органических молочных фермах были свежими или консервированными [16], тем самым ограничивая количество обогащенных минеральными веществами концентратов, которые можно давать крупному рогатому скоту. Исследования показали, что существует обратная зависимость между сроками выпаса скота на пастбищах и концентрацией йода в молоке [17].

2.3.2. Морская рыба и водоросли

Рыба и другие морепродукты от природы богаты йодом, но их вклад в общее потребление йода, как правило, ограничен из-за нечастого потребления в большинстве стран. Морская рыба вносит относительно большой вклад в потребление йода взрослыми в Исландии и Испании (47 и 32% соответственно), но в других европейских странах рыба вносит значительно меньший вклад (менее 15%). Определенные типы морских водорослей содержат большое количество йода, поскольку они концентрируют йод из морской воды и даже могут быть потенциальной причиной избыточного потребления этого микроэлемента [18].

2.3.3. Хлеб и зерновые продукты

Хлеб и зерновые продукты с естественным низким содержанием йода (т.е. произведенные без использования йодированной соли) обеспечивают менее 10% НФП йода для взрослых в Ирландии и Норвегии. Напротив, хлеб и злаки могут обеспечивать 30–50% общего потребления йода у взрослых, если для их производства используется йодированная соль, как, например, в Бельгии, Нидерландах, Армении, Грузии и Молдавии и в других странах (раздел 3.1.3) [1, 18].

2.3.4. Питьевая вода

Питьевая вода в большинстве стран Европейского региона обычно имеет низкое содержание йода (менее 10 мкг/л). В некоторых районах Дании грунтовые воды могут содержать больше йода из-за влияния морской воды [19]. В Уральском регионе РФ попадание минеральных вод, богатых йодом, в источник водоснабжения привело к избыточному потреблению йода жителями г. Туринска [20].

3. Стратегии профилактики дефицита йода

3.1. Йодирование соли

Обогащение соли йодом является предпочтительной стратегией профилактики его дефицита. Многочисленные исследования демонстрируют эффективность йодированной соли для поддержания оптимального йодного статуса во всех группах населения при высоком охвате домохозяйств и адекватном качестве. Йодирование соли было впервые введено в Швейцарии (в 1922 г.) и доказало свою успешность на протяжении более 100 лет [1].

3.1.1. Законодательство и нормативные акты по йодированию соли

В настоящее время йодирование соли осуществляется в большинстве государств Европейского региона ВОЗ и регулируется законодательством (национальным законом) или подзаконными нормативными актами, при этом в 30 из 54 стран региона обогащение соли йодом является обязательным. Из числа этих 30 государств в 21 стране требования по йодированию распространяются на всю соль для потребления человеком, т.е. используемую как в домохозяйствах (столовая соль), так и в пищевой промышленности (табл. 2) [1].

В остальных 9 странах требования по обязательному йодированию распространяются на соль для производства определенных пищевых продуктов и/или каналов сбыта пищевой продукции. Так, в Австрии, Дании и Молдавии использование йодированной соли обязательно при выпечке хлеба; в Беларуси – для выпуска всех пищевых продуктов промышленного производства (ПППП), кроме морепродуктов; в Венгрии, Молдавии, Португалии и Российской Федерации – в общественном питании (образовательные, медицинские и социальные учреждения); в Италии магазины обязаны выставлять на полки только йодированную соль, но по запросу обязаны предоставлять и обычную соль; в Дании и Польше требование по йодированию распространяется только на соль в розничной торговле.

Йодирование соли является добровольным в 13 странах: в них может быть доступна как йодированная, так и обычная соль. В странах с добровольным йодированием соли операторы продовольственного бизнеса³

³ Оператор продовольственного бизнеса – физическое или юридическое лицо, ответственное за соблюдение законов и стандартов безопасности в рамках своего предприятия, связанного с оборотом пищевых продуктов, включая производство, переработку, упаковку, хранение, транспортировку, дистрибуцию, импорт/экспорт и продажу. – Примеч. переводчика.

Таблица 2. Требования к йодированию соли в странах Европейского региона Всемирной организации здравоохранения [1]

Table 2. Salt iodization requirements in countries of the European WHO Region

Обязательное йодирование соли (n=30)		Добровольное йодирование соли (n=13)	Требования к йодированию соли отсутствуют (n=11)
вся пищевая соль (n=21)	для определенных пищевых продуктов и/или каналов их сбыта (n=9)		
Албания Армения Азербайджан Босния и Герцеговина Болгария Грузия Казахстан Косово Кыргызстан Литва Северная Македония Румыния Сербия Словакия Словения Таджикистан Турция Туркменистан Узбекистан Хорватия Черногория	Австрия Беларусь Венгрия Дания Италия Молдавия Польша Португалия Российская Федерация	Бельгия Германия Греция Испания Латвия Нидерланды Норвегия Украина Финляндия Франция Чехия Швеция Швейцария	Андорра Великобритания Израиль Ирландия Исландия Кипр Люксембург Мальта Монако Сан-Марино Эстония

(ОПБ) имеют право выбора между йодированной и обычной солью при производстве пищевых продуктов. Требования по йодированию соли отсутствуют в 11 странах (см. табл. 2) [1, 21].

За последние 10 лет ряд стран усилили требования к йодированию соли. В Боснии и Герцеговине (в 2012 г.) и в Черногории (в 2020 г.) более стабильный йодат калия (KIO_3) стал обязательным для йодирования соли, а содержание йода было увеличено с 12–18 до 20–30 мг/кг. В Молдавии (в 2022 г.) уровень йода в соли был увеличен до 25–40 мг/кг, а использование йодированной соли стало обязательным в хлебопекарной промышленности и в общественном питании. В Российской Федерации санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.3/2.4.3590-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения», принятые в 2020 г., требуют обязательного использования йодированной соли при приготовлении блюд и кулинарных изделий в организациях общественного питания детей в организованных детских коллективах. Дания увеличила уровень йода в соли с 13 до 20 мг/кг в 2019 г., Норвегия в 2024 г. также пересмотрела максимально допустимый уровень йода в соли с 5 до 20 мг/кг [1, 21].

В странах Европейского региона ВОЗ для обогащения соли используются калия йодид (KI) или йодат (KIO_3) и реже – натрия йодид (NaI) или йодат ($NaIO_3$). Эти вещества не вызывают органолептических изменений соли и пищевых продуктов и имеют высокую биодоступность. В странах Восточной Европы и Центральной Азии для обогащения соли используется только KIO_3 , а норматив содержания йода составляет

40±15 мг/кг, за исключением Молдавии (25–40 мг/кг). В странах Западной и Центральной Европы существует большая вариативность нормативов содержания йода в соли – от 15 до 65 мг/кг.

В то время как номенклатура веществ, разрешенных для обогащения соли йодом, гармонизирована Регламентом ЕС 1459/2005, регулирование нормативного уровня йода в соли и использование того или иного соединения йода относится к компетенции стран-членов, что фактически приводит к различиям в требованиях между странами ЕС. В зависимости от типа соединения (йодид или йодат калия) и уровня йода в соли некоторые пищевые продукты, производимые в одной стране, могут быть запрещены к ввозу в другие страны. В связи с этим гармонизация этих требований путем применения принципа взаимного признания нормативов является актуальной задачей [21].

3.1.2. Производство, импорт и продажа йодированной соли

Только около 7% от общего объема производства соли в Европе используется в пищевых целях, тогда как основными потребителями являются химическая промышленность и противогололедная обработка дорог зимой. В целом йодированная соль в большинстве стран Европейского региона ВОЗ производится на крупных современных заводах с системами управления производством, ориентированными на качество и безопасность пищевых продуктов, такими как международные стандарты серии ISO 9000 и ISO 22000, анализ рисков и критических контрольных точек или надлежащая производственная практика. Соблюдение этих стандартов йодирования соли в регионе в целом высокое, за исклю-

чением Таджикистана и Узбекистана, где йодированная соль производится большим количеством малых и средних предприятий [21].

Большая часть соли, потребляемой населением в странах Западной и Центральной Европы ($\geq 75\%$), поступает из ПППП [23], а низкое использование йодированной соли при их производстве считается основной причиной недостаточного и/или сниженного потребления йода во многих странах. По данным ассоциации европейских производителей соли EUSalt, доля йодированной соли при производстве ПППП варьирует от 0 до 49% и является низкой (менее 20%) в большинстве стран. Доля йодированной соли в розничной торговле варьирует от 0 до 100% и в целом выше, чем использование йодированной соли в пищевой промышленности. Например, в Швейцарии пищевая промышленность использовала 73% обогащенной йодом пищевой соли, а 27% продавалось в розничной торговле. В этой стране почти вся (96%) соль в розничной торговле была йодированной, тогда как в пищевой промышленности доля йодированной соли составляла 49% [1].

В странах Восточной Европы и Центральной Азии использование йодированной соли было в целом выше, чем на западе континента. В Армении и Туркменистане почти вся соль, произведенная в стране и импортированная, была йодированной. Годовое производство йодированной соли в Казахстане достигло 253,6 тыс. тонн в 2018 г., полностью покрыв потенциальный внутренний спрос, и более 100 тыс. тонн было экспортировано в соседние страны. В то же время производство и/или импорт йодированной соли не соответствовали потенциальной потребности в ней в таких странах, как Узбекистан (28%), Таджикистан (34%) и Молдавия (45%). Вместе с тем в Грузии, где нет собственного производства соли, импорт йодированной соли оказался выше потенциальной потребности [1].

Охват населения йодированной солью традиционно отслеживается на уровне домохозяйств. В предыдущих руководствах рекомендовалось, чтобы йодированная соль для домохозяйств содержала не менее 15 мг йода на 1 кг соли, чтобы считаться «адекватно» йодированной, а целью программ йодирования соли был охват адекватно йодированной солью 90% или более домохозяйств [2, 22]. Однако дискреционная (столовая) соль является лишь частью общего объема потребления йодированной соли, и многие страны региона достигли оптимального йодного статуса, несмотря на охват менее чем 90% домохозяйств.

Данные об использовании йодированной соли в домашних хозяйствах за последние 15 лет (2008–2023 гг.) имеются лишь для 21 страны Европейского региона ВОЗ. Охват более 90% домохозяйств йодированной солью был достигнут в 9 странах (Армения, Азербайджан, Грузия, Казахстан, Косово, Кыргызстан, Черногория, Северная Македония и Туркменистан), в которых проводится обязательное йодирование соли [21]. Обследования домохозяйств в Албании (82%), Таджикистане (37%) и в Узбекистане (65%) выявили более низкий охват

домохозяйств йодированной солью, особенно в сельской и отдаленной местности и среди более бедных и менее образованных групп населения [23]. В странах с более чем 90% охватом домохозяйств (Армения, Грузия, Северная Македония) такие различия отсутствовали [24, 25].

Среди стран с требованиями по обязательному йодированию соли для определенных пищевых продуктов и/или каналов их сбыта охват домохозяйств йодированной солью был достаточно высоким в Беларуси (81%), Молдавии (77%) и Италии (72%) [1]. В Российской Федерации средний охват домохозяйств йодированной солью был в целом низким (около 20%), за исключением ранее дефицитной по йоду Республики Тыва, где охват ею достиг 95% благодаря успеху региональной профилактической программы [26]. В Португалии только 11% соли в розничной торговой сети было йодированной [27]. Среди стран с добровольным йодированием соли самый высокий охват домохозяйств был в Швейцарии (87%), но ниже в Бельгии (37%) и на Украине (21%) [1].

3.1.3. Использование йодированной соли в пищевых продуктах промышленного производства

Продукты, произведенные или приготовленные вне домашнего хозяйства, такие как хлеб или мясные продукты, являются основными источниками соли в питании современного человека (70–80% от общего количества потребляемой соли). Для обеспечения адекватного потребления йода эта «скрытая» соль также должна быть йодирована [28]. Использование йодированной соли в ПППП различается в разных странах. В 21 стране с обязательным йодированием соли все содержащие соль продукты (за некоторыми исключениями) должны производиться с йодированной солью. В 3 странах (Австрия, Дания и Молдавия) использование йодированной соли обязательно при производстве хлеба, а в Беларуси – всех ПППП, кроме морепродуктов [1].

Моделирование потребления йода из ПППП показало, что хлеб и хлебобулочные изделия, выпеченные с йодированной солью, являются основными источниками йода в странах Восточной Европы и Центральной Азии, в которых проводится обязательное йодирование соли (Армения, Беларусь, Грузия, Молдавия), обеспечивая примерно 32–50% НФП йода для взрослых лиц [29]. Потребление хлеба относительно высоко также в Российской Федерации и на Украине. Если бы весь хлеб в этих странах выпекался с йодированной солью с содержанием йода 25 мг/кг, то он обеспечивал бы примерно 37% НФП для йода в Российской Федерации и 32% на Украине [30]. В Нидерландах, где в хлебопечении используется йодированная соль, ломтик хлеба (40 г) содержит 20 мкг йода в отличие от 3 мкг йода в Великобритании [31]. Относительный вклад других содержащих соль ПППП (мясные продукты, сыры, соленья и т.д.) в потребление йода в европейских странах намного ниже [29].

В странах с добровольным йодированием соли ОПБ имеют свободу выбора между йодированной и обычной

солью при производстве пищевых продуктов. Недавние исследования рынка в Германии и Швейцарии выявили в целом низкий уровень использования йодированной соли в ПППП – 9% в Германии и 34% в Швейцарии. При этом в Швейцарии доля йодированной соли в мясе и мясных продуктах высока (78%), тогда как веганские продукты редко (8%) содержат йодированную соль [32].

Хотя использование йодированной соли в пищевой промышленности может быть увеличено по всему Европейскому региону, существует ряд барьеров, связанных с нормативным регулированием, особенно в странах ЕС с добровольным йодированием соли. Некоторые страны требуют обязательного использования йодированной соли только для определенных групп пищевых продуктов и обязательной регистрации или одобрения продуктов, изготовленных с использованием йодированной соли, перед их размещением на рынке. Это нормативное бремя увеличивает сложность цепочки поставок и, следовательно, приводит к предпочтительному использованию обычной соли. Концепция взаимного признания различных национальных законодательств может обеспечить большую правовую определенность для ОПБ и устранить барьеры для использования йодированной соли [1].

3.1.4. Использование йодированной соли в школьном питании

В 4 странах Европейского региона ВОЗ (Венгрия, Португалия, Молдавия и Российская Федерация) йодированная соль является обязательной для приготовления блюд в школьных столовых, а также для питания в других образовательных, медицинских и социальных учреждениях. Эта стратегия вносит значительный вклад в улучшение обеспеченности питания йодом. Недавнее исследование в Португалии показало, что, по крайней мере, одного основного блюда в школьном питании, приготовленного с использованием йодированной соли, достаточно для достижения НФП йода у детей (90 мкг/сут) [33]. Использование йодированной соли для приготовления солесодержащих блюд в дошкольных образовательных учреждениях в Тюменской области РФ может полностью покрыть потребность в йоде детей в возрасте 3–7 лет. Использование йодированной соли в школьных завтраках обеспечивает 23–37% от НФП в йоде в сельской местности и 15–26% НФП у детей в возрасте 7–11 лет, проживающих в городе [34]. В Италии 78% школьных столовых использовали йодированную соль, тогда как в регионах Южный Тироль, Сицилия и Тоскана этот показатель составлял 90–97% [1].

3.1.5. Эффекты корректировки содержания йода в соли

Многие европейские страны ввели йодирование соли в 1950-х гг. с изначально низким содержанием йода в соли (10 мг/кг), которое оказалось недостаточным для удовлетворения рекомендуемого потребления йода. Впоследствии норматив содержания йода в соли был повышен в большинстве стран. Так, в Хорватии в 1996 г.

содержание йода в соли было увеличено с 10 мг/кг (норматив, который был установлен в 1953 г.) до 25 мг/кг. При этом медианная КИМ у школьников, которая изначально была ниже 100 мкг/л, увеличилась до 140 мкг/л в 2002 г. и стабилизировалась на уровне 250 мкг/л в 2014–2019 гг. В 1998 г. Беларусь, Российская Федерация и Украина увеличили уровень содержания йода в соли с 10–30 до 25–55 мг/кг. Впоследствии государства – члены Содружества Независимых Государств гармонизировали уровень йода в соли на уровне 25–55 мг/кг. Аналогичным образом все страны бывшей Югославии (кроме Сербии) увеличили уровень йодирования соли с 12–18 до 20–30 мг/кг в первые два десятилетия XXI в. для поддержания адекватного йодного статуса всех групп населения, включая беременных [21]. Постепенное увеличение содержания йода в соли провели Дания и Швейцария. В 1984 г. в Нидерландах было отменено действовавшее ранее обязательное йодирование соли, используемой в хлебопечении, а добровольное использование йодированной соли было урегулировано соглашением между Министерством здравоохранения и промышленными пекарнями. В 2008 г. уровень обогащения был увеличен с 39 мг/кг (норматив, действовавший с 1960 г.) до 65 мг/кг соли из-за снижения потребления населением хлебобулочных изделий. Для производства всех других ПППП может использоваться йодированная соль с содержанием йода 25 мг/кг [35].

Уровни йода в соли также могут быть скорректированы в сторону понижения в случаях избыточного потребления. В Армении содержание йода в соли было снижено с 50 ± 15 до 40 ± 15 мг/кг в 2005 г., после того как национальное обследование выявило избыточное потребление йода детьми школьного возраста (медианная КИМ была 313 мкг/л). Это снизило потребление йода, и медианная КИМ у детей школьного возраста к 2016 г. снизилась до 242 мкг/л [24].

3.1.6. Совместимость стратегии йодирования соли и сокращения ее потребления

Потребление соли в Европейском регионе значительно превышает рекомендованный ВОЗ уровень (не более 5 г соли или 2 г натрия в день): почти во всех странах региона мужчины потребляют больше соли (от 5,4 до 18,5 г/сут), чем женщины (от 4,3 до 16,1 г/сут). Как правило, в странах Западной и Северной Европы наблюдается самое низкое среднее потребление соли, в то время как в странах Восточной Европы и Центральной Азии – самое высокое [36]. В 2013 г. Всемирная ассамблея здравоохранения согласовала глобальную цель по сокращению потребления соли населением на 30% к 2025 г. В то время как национальные стратегии по сокращению потребления соли набирают обороты, на основе анализа тенденций за период 2010–2019 гг. можно ожидать лишь минимального сокращения потребления соли в странах Европейского региона ВОЗ в ближайшие годы [36].

ВОЗ подтверждает, что стратегии йодирования соли и сокращения ее потребления до уровня менее 5 г/сут

полностью совместимы и их внедрение необходимо тщательно координировать. Обе стратегии имеют общие элементы, включая мониторинг программ с помощью исследования экскреции йода или натрия с мочой и тесное взаимодействие с пищевой промышленностью. По мере снижения потребления соли уровни йода в ней можно скорректировать в сторону повышения. Интеграция стратегий коммуникации и пропаганды может помочь повысить понимание важности поддержания оптимального уровня йода при сокращении потребления соли и обеспечить скоординированное ведение информационных кампаний [37].

Однако несмотря на заверения ВОЗ в том, что программы сокращения потребления соли и ее йодирования могут быть гармонизированы, в ряде стран существует сопротивление интеграции этих стратегий со стороны некоторых специалистов в области питания и здравоохранения. Высказывались опасения, что программы по сокращению потребления соли могут негативно повлиять на программы по профилактике дефицита йода, и наоборот, что использование соли в качестве носителя йода может способствовать более высокому потреблению соли, что никак не подтверждается текущей практикой [37].

3.2. Использование йодсодержащих добавок

Всемирная организация здравоохранения рекомендует прием йодсодержащих добавок (ЙД) во время беременности и кормления при отсутствии или низком охвате домохозяйств йодированной солью, когда потребление йода недостаточно или существуют группы населения с риском очень низкого его потребления [38]. В свою очередь Европейская тиреоидологическая ассоциация (ЕТА) рекомендует прием ЙД в дозе 150 мкг/сут всем беременным или кормящим женщинам [39]. В странах Европейского региона существуют официальные рекомендации по использованию ЙД в период до зачатия, при беременности и лактации, однако они различаются между странами региона, а по ряду стран информация об их наличии отсутствует. Например, в некоторых странах профессиональные общества (эндокринологов, акушеров или диетологов) рекомендуют принимать ЙД во время беременности, а про их использование в период до зачатия вообще не упоминается. В ряде стран, таких как Норвегия и Испания, рекомендации по приему ЙД распространяются только на определенные группы беременных (например, тех, у которых имеется низкий уровень потребления продуктов, богатых йодом); в других рекомендациях говорится о необходимости проконсультироваться с акушерами или диетологами по этому вопросу. Помимо беременных, в некоторые рекомендации включены показания по назначению ЙД кормящим женщинам.

В странах, где действуют официальные национальные рекомендации, использование ЙД беременными варьирует от 3,5% в Исландии до 74% в Испании. Напротив, в некоторых странах, не имеющих национальных рекомендаций, таких как Дания, до 84% беременных прини-

мают ЙД во время беременности, что свидетельствует о том, что реальная практика и официальная политика не всегда связаны. Данные из Португалии показывают, что после принятия рекомендаций по использованию ЙД (в дозе до 200 мкг/сут) во время беременности медианная КИМ увеличилась с 68 до 107 мкг/л, а в Швейцарии – с 81 до 129 мкг/л [40]. В идеале запасы йода в щитовидной железе следует оптимизировать до беременности, а не полагаться впоследствии на ЙД, особенно с учетом того, что есть некоторые свидетельства того, что резкое увеличение потребления йода в начале беременности оказывает отрицательное воздействие на функцию щитовидной железы и развитие нервной системы ребенка, особенно у женщин с хронически низким потреблением этого микронутриента [41]. Однако поскольку большая часть (до 50%) беременностей является незапланированной, может оказаться затруднительным обеспечить адекватное потребление йода в период до зачатия, особенно в странах, где йодированной соли нет или ее используют недостаточно. Таким образом, ЙД (в дозе около 150 мкг/сут) могут помочь удовлетворить потребности в йоде во время беременности при низком потреблении йода с пищевыми продуктами.

4. Заключение

Йодирование соли остается основной стратегией для обеспечения адекватного потребления йода населением в Европейском регионе ВОЗ, во многих странах Западной и Центральной Европы, особенно для детей; важными источниками йода также являются молоко и молочные продукты. Тем не менее потребление молока и молочных продуктов снижается среди подростков и взрослых, что повышает риск дефицита йода. Переход к растительным аналогам молока также вызывает беспокойство с точки зрения потенциального дефицита йода, особенно в странах, где молоко является основным источником йода, поскольку большинство молочных аналогов не содержат этот микроэлемент. Продукты, произведенные или приготовленные вне дома, такие как хлеб, мясoproductы или готовые к употреблению блюда, в настоящее время являются основными источниками соли в рационе питания населения региона; тем не менее недавние исследования рынка показали, что только 9% соли, используемой в ПППП, в Германии и 34% в Швейцарии были йодированы. В странах с добровольным йодированием соли обычно потребляемые ПППП чаще всего производятся с использованием обычной, а не йодированной соли. В целом выбор образа жизни и современные тенденции в питании, включая более частое использование ПППП и переход на растительные диеты, способствуют сохранению, а в некоторых странах и увеличению дефицита йода у населения. Хотя использование йодированной соли в пищевой промышленности и домохозяйствах может быть увеличено по всему Европейскому региону, существует ряд барьеров, связанных с нормативным

регулированием, особенно в странах с добровольным йодированием соли, которые увеличивают сложность цепочки поставок и, следовательно, приводят к предпочтительному использованию обычной соли. Концепция

взаимного признания различных национальных законодательств может обеспечить большую правовую определенность для ОПБ и устранить барьеры для использования йодированной соли.

Литература

1. Prevention and Control of Iodine Deficiency in the WHO European Region: Adapting to Changes in Diet and Lifestyle. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 2024. DOI: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289061193>
2. Iodine Deficiency in Europe: a Continuing Public Health Problem. Geneva : World Health Organization, 2007. URL: <https://iris.who.int/handle/10665/43398>
3. Agostoni C., Canani R.B., Fairweather-Tait S., Heinonen M., Korhonen H., La Vieille S. Scientific opinion on dietary reference values for iodine // EFSA J. 2014. Vol. 12, N 5. P. 3660–3672. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3660>
4. Allen L.H., Carriquiry A.L., Murphy S.P. Perspective: proposed harmonized nutrient reference values for populations // Adv. Nutr. 2020. Vol. 11, N 3. P. 469–483. DOI: <https://doi.org/10.1093/advances/nmz096>
5. Regulation (EC) No. 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods (1924/2006) // Off. J. Eur. Union. 2006. L404/9. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32006R1924>
6. Commission Regulation (EU) No 432/2012 of 16 May 2012 establishing a list of permitted health claims made on foods, other than those referring to the reduction of disease risk and to children's development and health. Text with EEA relevance (432/2012) // Off. J. Eur. Union. 2012. L136/1. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32012R0432>
7. Ershow A.G., Skeaff S.A., Merkel J.M., Pehrsson P.R. Development of databases on iodine in foods and dietary supplements // Nutrients. 2018. Vol. 10, N 1. P. 100–109. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10010100>
8. Bath S.C., Verkaik-Kloosterman J., Sabatier M., Ter Borg S., Eilander A., Hora K. A systematic review of iodine intake in children, adults, and pregnant women in Europe – comparison against dietary recommendations and evaluation of dietary iodine sources // Nutr. Rev. 2022. Vol. 80, N 11. P. 2154–2177. DOI: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuac032>
9. van der Reijden O.L., Zimmermann M.B., Galetti V. Iodine in dairy milk: sources, concentrations and importance to human health // Best Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab. 2017. Vol. 31, N 4. P. 385–395. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.beem.2017.10.004>
10. Bath S.C., Hill S., Infante H.G., Elghul S., Neziyana C.J., Rayman M.P. Iodine concentration of milk-alternative drinks available in the UK in comparison with cows' milk // Br. J. Nutr. 2017. Vol. 118, N 7. P. 525–532. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114517002136>
11. Nicol K., Thomas E.L., Nugent A.P., Woodside J.V., Hart K.H., Bath S.C. Iodine fortification of plant-based dairy and fish alternatives: the effect of substitution on iodine intake based on a market survey in the UK // Br. J. Nutr. 2023. Vol. 129, N 5. P. 832–842. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0007114522001052>
12. Niero G., Visentin G., Censi S., Righi F., Manuelian C.L., Formigoni A. Invited review: iodine level in dairy products – a feed-to-fork overview // J. Dairy Sci. 2023. Vol. 106, N 4. P. 2213–2229. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22599>
13. Scientific opinion on the safety and efficacy of iodine compounds (E2) as feed additives for all species: calcium iodate anhydrous and potassium iodide, based on a dossier submitted by HELM AG // EFSA J. 2013. Vol. 11, N 2. P. 3101–3107. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3101>
14. Franke K., Meyer U., Wagner H., Flachowsky G. Influence of various iodine supplementation levels and two different iodine species on the iodine content of the milk of cows fed rapeseed meal or distillers dried grains with solubles as the protein source // J. Dairy Sci. 2009. Vol. 92, N 9. P. 4514–4523. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2027>
15. Bath S.C., Combet E., Scully P., Zimmermann M.B., Hampshire-Jones K.H.C., Rayman M.P. A multi-centre pilot study of iodine status in UK schoolchildren, aged 8–10 years // Eur. J. Nutr. 2016. Vol. 55, N 6. P. 2001–2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00394-015-1014-y>
16. Commission Regulation (EC) No 889/2008 of 5 September 2008 laying down detailed rules for the implementation of Council Regulation (EC) No 834/2007 on organic production and labelling of organic products with regard to organic production, labelling and control // Off. J. Eur. Union. 2008. L250/1. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2008/889/oj>
17. Qin N., Faludi G., Beauclercq S., Pitt J., Desnica N., Pétursdóttir A. Macromineral and trace element concentrations and their seasonal variation in milk from organic and conventional dairy herds // Food Chem. 2021. Vol. 359. Article ID 129865. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129865>
18. Smyth P.P.A. Iodine, seaweed, and the thyroid // Eur. Thyroid J. 2021. Vol. 10, N 2. P. 101–108. DOI: <https://doi.org/10.1159/000512971>
19. Voutchkova D.D., Ernsten V., Kristiansen S.M., Hansen B. Iodine in major Danish aquifers // Environ. Earth Sci. 2017. Vol. 76, N 13. P. 447–450. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6775-6>
20. Кияев А.В., Платонова Н.М., Абдулхабилова Ф.Ф., Трошина Е.А., Герасимов Г.А. Влияние избыточного потребления йода на функциональное состояние щитовидной железы и спектр ее патологии у жителей г. Туринска Свердловской области // Клиническая и экспериментальная тиреодология. 2015. Т. 11, № 1. С. 43–49. DOI: <https://doi.org/10.14341/ket2015143-49>
21. Цуркан Л., Герасимов Г., Парванта И., Тиммер А. Прогресс в профилактике и устранении йододефицитных заболеваний (ЙДЗ) в регионе Европы и Центральной Азии (ЕЦАР) в 2010–2020 годах // Клиническая и экспериментальная тиреодология. 2021. Т. 17, № 4. С. 4–16. DOI: <https://doi.org/10.14341/ket12713>
22. ЮНИСЕФ, Глобальная сеть по йоду. Руководство по мониторингу программ йодирования соли и оценке статуса йодной обеспеченности населения (русскоязычная версия). // Клиническая и экспериментальная тиреодология. 2018. Т. 14, № 2. С. 3–20. DOI: <https://doi.org/10.14341/ket9734>
23. Rohner F., Nizamov F., Petry N., Yuldasheva F., Ismailov S., Wegmuller R. Household coverage with adequately iodized salt and iodine status of nonpregnant and pregnant women in Uzbekistan // Thyroid. 2020. Vol. 30, N 6. P. 898–907. DOI: <https://doi.org/10.1089/thy.2019.0788>
24. Hutchings N., Aghajanova E., Baghdasaryan S., Qefoyan M., Sullivan C., He X. A stratified cross-sectional cluster model survey of iodine nutrition in Armenia after a decade of universal salt iodization // Endocr. Pract. 2019. Vol. 25, N 10. P. 987–993. DOI: <https://doi.org/10.4158/EP-2018-0634>
25. Kostova N.M., Karanfilski B., Miladinova D., Kuzmanovska S., Chuleva B., Majstorov V. et al. Universal salt iodization potentially contributes to health equity: socio-economic status of children does not affect iodine status // J. Pediatr. Endocrinol. Metab. 2022. Vol. 35, N 9. P. 1154–1160. DOI: <https://doi.org/10.1515/jpem-2022-0166>
26. Трошина Е.А., Мазурина Н.В., Сеньюшкина Е.С., Маколина Н.П., Галиева М.О., Никанкина Л.В. и др. Мониторинг эффективности программы профилактики заболеваний, связанных с дефицитом йода, в Республике Тыва // Проблемы эндокринологии. 2021. Т. 67, № 1. С. 60–68. DOI: <https://doi.org/10.14341/probl12715>
27. Machado S.I., Pereira M.L., Roque S., Costeira M.J., Bordalo A.A., Miranda A. Iodine availability through iodized salt in Portugal: 2010–2021 sales evolution and distribution // Nutrients. 2023. Vol. 15, N 6. P. 1324–1330. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15061324>
28. Bhat S., Marklund M., Henry M.E., Appel L.J., Croft K.D., Neal B. A systematic review of the sources of dietary salt around the world // Adv. Nutr. 2020. Vol. 11, N 3. P. 677–686. DOI: <https://doi.org/10.1093/advances/nmz134>
29. Герасимов Г.А., Цуркан Л., Асланян Г., Шалару И., Демишкан Д. Моделирование потребления йода с пищевыми продуктами промышленного производства, изготовленными с йодированной солью, у взрослого населения и беременных в Армении и Молдове // Вопросы питания. 2021. Т. 90, № 1. С. 49–56. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-1-49-56>
30. Knowles J., van der Haar F., Shehata M., Gerasimov G., Bimo B., Cavenagh B. Iodine intake through processed food: case studies from Egypt, Indonesia, the Philippines, the Russian Federation and Ukraine, 2010–2015 // Nutrients. 2017. Vol. 9, N 8. P. 797–810. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu9080797>
31. Composition of Foods Integrated Dataset (CoFID). London : Public Health England, 2021. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/composition-of-foods-integrated-dataset-cofid>
32. Verwendung von jodiertem Salz in industriell verarbeiteten Lebensmitteln: Markterhebung. Liebfeld : Federal Food Safety and

- Veterinary Office, 2022. URL: <https://www.blv.admin.ch/dam/blv/de/dokumente/lebensmittel-und-ernaehrung/ernaehrung/hundert-jahre-jodiertes-salz-bericht.pdf.download.pdf/Verwendung%20von%20jodiertem%20Salz%20in%20industriell%20verarbeiteten%20Lebensmitteln%20%20Markterhebung.pdf>
33. Delgado I., Ventura M., Gueifão S., Assunção R., Coelho I., Bento A. et al. Studying iodine intake of Portuguese children school meals // *J. Food Compos. Anal.* 2023. Vol. 116. Article ID 105061. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.105061>
 34. Суплотова Л.А., Герасимов Г.А., Трошина Е.А., Макарова О.Б., Денисов П.М., Зайдулина А.С. и др. Оценка потребления йода с йодированной солью в организованном питании детей дошкольного и школьного возраста в Тюменской области // *Вопросы питания.* 2023. Т. 92, № 4. С. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-4-29-37>
 35. Verkaik-Kloosterman J., Buurma-Rethans E.J.M., Dekkers A.L.M., van Rossum C.T.M. Decreased, but still sufficient, iodine intake of children and adults in the Netherlands // *Br. J. Nutr.* 2017. Vol. 117, N 7. P. 1020–1031. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0007114517000733>
 36. Kwong E., Whiting S., Bunge A., Leven Y., Breda J., Rakovac I. et al. Population level salt intake in the WHO European Region in 2022: a systematic review // *Public Health Nutr.* 2022. Vol. 26, N S1. DOI: <https://doi.org/10.1017/S136898002200218X>
 37. Salt Reduction and Iodine Fortification Strategies in Public Health: Report of a Joint Technical Meeting. Geneva: World Health Organization, 2014. URL: <https://iris.who.int/handle/10665/101509>
 38. WHO Secretariat on behalf of the participants to the consultation; Andersson M., de Benoist B., Delange F., Zupan J. Prevention and control of iodine deficiency in pregnant and lactating women and in children less than 2-years-old: conclusions and recommendations of the Technical Consultation // *Public Health Nutr.* 2007. Vol. 10, N 12A. P. 1606–1611. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1368980007361004>
 39. Lazarus J., Brown R.S., Daumerie C., Hubalewska-Dydejczyk A., Negro R., Vaidya B. 2014 European thyroid association guidelines for the management of subclinical hypothyroidism in pregnancy and in children // *Eur. Thyroid J.* 2014. Vol. 3, N 2. P. 76–94. DOI: <https://doi.org/10.1159/000362597>
 40. Zimmermann M.B., Gizak M., Abbott K., Andersson M., Lazarus J.H. Iodine deficiency in pregnant women in Europe // *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2015. Vol. 3, N 9. P. 672–674. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(15\)00263-6](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(15)00263-6)
 41. Abel M.H., Caspersen I.H., Meltzer H.M., Haugen M., Brandlistuen R.E., Aase H. Suboptimal maternal iodine intake is associated with impaired child neurodevelopment at 3 years of age in the Norwegian Mother and Child Cohort Study // *J. Nutr.* 2017. Vol. 147, N 7. P. 1314–1324. DOI: <https://doi.org/10.3945/jn.117.250456>

References

1. Prevention and Control of Iodine Deficiency in the WHO European Region: Adapting to Changes in Diet and Lifestyle. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2024. DOI: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289061193>
2. Iodine Deficiency in Europe: a Continuing Public Health Problem. Geneva: World Health Organization, 2007. URL: <https://iris.who.int/handle/10665/43398>
3. Agostoni C., Canani R.B., Fairweather-Tait S., Heinonen M., Korhonen H., La Vieille S. Scientific opinion on dietary reference values for iodine. EFSA J. 2014; 12 (5): 3660–72. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3660>
4. Allen L.H., Carriquiry A.L., Murphy S.P. Perspective: proposed harmonized nutrient reference values for populations. *Adv Nutr.* 2020; 11 (3): 469–83. DOI: <https://doi.org/10.1093/advances/nmz096>
5. Regulation (EC) No. 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods (1924/2006). Off J Eur Union. 2006; L404/9. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32006R1924>
6. Commission Regulation (EU) No 432/2012 of 16 May 2012 establishing a list of permitted health claims made on foods, other than those referring to the reduction of disease risk and to children's development and health. Text with EEA relevance (432/2012). Off J Eur Union. 2012; L136/1. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32012R0432>
7. Ershow A.G., Skeaff S.A., Merkel J.M., Pehrsson P.R. Development of databases on iodine in foods and dietary supplements. *Nutrients.* 2018; 10 (1): 100–9. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10010100>
8. Bath S.C., Verkaik-Kloosterman J., Sabatier M., Ter Borg S., Eilander A., Hora K. A systematic review of iodine intake in children, adults, and pregnant women in Europe – comparison against dietary recommendations and evaluation of dietary iodine sources. *Nutr Rev.* 2022; 80 (11): 2154–77. DOI: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuac032>
9. van der Reijden O.L., Zimmermann M.B., Galetti V. Iodine in dairy milk: sources, concentrations and importance to human health. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab.* 2017; 31 (4): 385–95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.beem.2017.10.004>
10. Bath S.C., Hill S., Infante H.G., Elghul S., Neziyana C.J., Rayman M.P. Iodine concentration of milk-alternative drinks available in the UK in comparison with cows' milk. *Br J Nutr.* 2017; 118 (7): 525–32. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114517002136>
11. Nicol K., Thomas E.L., Nugent A.P., Woodside J.V., Hart K.H., Bath S.C. Iodine fortification of plant-based dairy and fish alternatives: the effect of substitution on iodine intake based on a market survey in the UK. *Br J Nutr.* 2023; 129 (5): 832–42. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0007114522001052>
12. Niero G., Visentin G., Censi S., Righi F., Manuelian C.L., Formigoni A. Invited review: iodine level in dairy products – a feed-to-fork overview. *J Dairy Sci.* 2023; 106 (4): 2213–29. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22599>
13. Scientific opinion on the safety and efficacy of iodine compounds (E2) as feed additives for all species: calcium iodate anhydrous and potassium iodide, based on a dossier submitted by HELM AG. EFSA J. 2013; 11 (2): 3101–7. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3101>
14. Franke K., Meyer U., Wagner H., Flachowsky G. Influence of various iodine supplementation levels and two different iodine species on the iodine content of the milk of cows fed rapeseed meal or distillers dried grains with solubles as the protein source. *J Dairy Sci.* 2009; 92 (9): 4514–23. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2027>
15. Bath S.C., Combet E., Scully P., Zimmermann M.B., Hampshire-Jones K.H.C., Rayman M.P. A multi-centre pilot study of iodine status in UK schoolchildren, aged 8–10 years. *Eur J Nutr.* 2016; 55 (6): 2001–9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00394-015-1014-y>
16. Commission Regulation (EC) No 889/2008 of 5 September 2008 laying down detailed rules for the implementation of Council Regulation (EC) No 834/2007 on organic production and labelling of organic products with regard to organic production, labelling and control. Off J Eur Union. 2008. L250/1. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2008/889/oj>
17. Qin N., Faludi G., Beauclercq S., Pitt J., Desnica N., Pétersdóttir A. Macromineral and trace element concentrations and their seasonal variation in milk from organic and conventional dairy herds. *Food Chem.* 2021; 359: 129865. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129865>
18. Smyth P.P.A. Iodine, seaweed, and the thyroid. *Eur Thyroid J.* 2021; 10 (2): 101–8. DOI: <https://doi.org/10.1159/000512971>
19. Voutchkova D.D., Ernsten V., Kristiansen S.M., Hansen B. Iodine in major Danish aquifers. *Environ Earth Sci.* 2017; 76 (13): 447–50. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6775-6>
20. Kiyayev A.V., Platonova N.M., Abdulkhabirova F.F., Troshina E.A., Gerasimov G.A. Influence of excessive iodine intake on the thyroid function and spectrum of thyroid abnormalities in population of Turinsk, Sverdlovsk Region, of Russia. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireodologiya [Clinical and Experimental Thyroidology]*. 2015; 11 (1): 43–9. DOI: <https://doi.org/10.14341/ket2015143-49> (in Russian)
21. Tsurkan L., Gerasimov G., Parvanta I., Timmer A. Progress in iodine deficiency disorders (IDD) control and elimination in Europe and Central Asia Region (ECAR) in 2010–2020. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireodologiya [Clinical and Experimental Thyroidology]*. 2021; 17 (4): 4–16. DOI: <https://doi.org/10.14341/ket12713> (in Russian)
22. United Nations Children's Fund, Iodine Global Network. Guidance on the monitoring of salt iodization programmes and determination of population iodine status. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireodologiya [Clinical and Experimental Thyroidology]*. 2018; 14 (2): 3–20. DOI: <https://doi.org/10.14341/ket9734> (in Russian)
23. Rohner F., Nizamov F., Petry N., Yuldasheva F., Ismailov S., Wegmuller R. Household coverage with adequately iodized salt and iodine status of nonpregnant and pregnant women in Uzbekistan. *Thyroid.* 2020; 30 (6): 898–907. DOI: <https://doi.org/10.1089/thy.2019.0788>
24. Hutchings N., Aghajanova E., Baghdasaryan S., Qefoyan M., Sullivan C., He X. A stratified cross-sectional cluster model survey of iodine nutrition in Armenia after a decade of universal salt iodization. *Endocr Pract.* 2019; 25 (10): 987–93. DOI: <https://doi.org/10.4158/EP-2018-0634>
25. Kostova N.M., Karanfili B., Miladinova D., Kuzmanovska S., Chuleva B., Majstorov V., et al. Universal salt iodization potentially contributes to health equity: socio-economic status of children does not affect iodine status. *J Pediatr Endocrinol Metab.* 2022; 35 (9): 1154–60. DOI: <https://doi.org/10.1515/jpem-2022-0166>
26. Troshina E.A., Mazurina N.V., Senyushkina E.S., Makolina N.P., Galieva M.O., Nikankina L.V. Monitoring of iodine deficiency dis-

- orders in the Republic of Tyva. Problemy endokrinologii [Problems of Endocrinology]. 2021; 67 (1): 60–8. DOI: <https://doi.org/10.14341/probl12715> (in Russian)
27. Machado S.I., Pereira M.L., Roque S., Costeira M.J., Bordalo A.A., Miranda A. Iodine availability through iodized salt in Portugal: 2010–2021 sales evolution and distribution. *Nutrients*. 2023; 15 (6): 1324–30. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15061324>
 28. Bhat S., Marklund M., Henry M.E., Appel L.J., Croft K.D., Neal B. A systematic review of the sources of dietary salt around the world. *Adv Nutr*. 2020; 11 (3): 677–86. DOI: <https://doi.org/10.1093/advances/nmz134>
 29. Gerasimov G.A., Tsurcan L., Aslanyan H., Salaru I., Demiscan D. Modeling of iodine consumption with industrial processed foods made with iodized salt in the adults and pregnant in Armenia and Moldova. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2021; 90 (1): 49–56. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-1-49-56> (in Russian)
 30. Knowles J., van der Haar F., Shehata M., Gerasimov G., Bimo B., Cavenagh B. Iodine intake through processed food: case studies from Egypt, Indonesia, the Philippines, the Russian Federation and Ukraine, 2010–2015. *Nutrients*. 2017; 9 (8): 797–810. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu9080797>
 31. Composition of Foods Integrated Dataset (CoFID). London: Public Health England, 2021. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/composition-of-foods-integrated-dataset-cofid>
 32. Verwendung von jodiertem Salz in industriell verarbeiteten Lebensmitteln: Markterhebung. Liebefeld: Federal Food Safety and Veterinary Office, 2022. URL: <https://www.blv.admin.ch/dam/blv/de/dokumente/lebensmittel-und-ernaehrung/ernaehrung/hundert-jahre-jodiertes-salz-bericht.pdf.download.pdf/Verwendung%20von%20jodiertem%20Salz%20in%20industriell%20verarbeiteten%20Lebensmitteln%20Markterhebung.pdf>
 33. Delgado I., Ventura M., Gueifão S., Assunção R., Coelho I., Bento A., et al. Studying iodine intake of Portuguese children school meals. *J Food Compos Anal*. 2023; 116: 105061. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.105061>
 34. Suplotova L.A., Gerasimov G.A., Troshina E.A., Makarova O.B., Denisov P.M., Zaydulina A.S., et al. Modeling of iodine consumption with iodized salt in organized nutrition of children of preschool and school age in the Tyumen Region. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2023; 92 (4): 29–37. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-4-29-37> (in Russian)
 35. Verkaik-Kloosterman J., Buurma-Rethans E.J.M., Dekkers A.L.M., van Rossum C.T.M. Decreased, but still sufficient, iodine intake of children and adults in the Netherlands. *Br J Nutr*. 2017; 117 (7): 1020–31. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0007114517000733>
 36. Kwong E., Whiting S., Bunge A., Leven Y., Breda J., Rakovac I., et al. Population level salt intake in the WHO European Region in 2022: a systematic review. *Public Health Nutr*. 2022; 26 (S1). DOI: <https://doi.org/10.1017/S136898002200218X>
 37. Salt Reduction and Iodine Fortification Strategies in Public Health: Report of a Joint Technical Meeting. Geneva: World Health Organization, 2014. URL: <https://iris.who.int/handle/10665/101509>
 38. WHO Secretariat on behalf of the participants to the consultation; Andersson M., de Benoist B., Delange F., Zupan J. Prevention and control of iodine deficiency in pregnant and lactating women and in children less than 2-years-old: conclusions and recommendations of the Technical Consultation. *Public Health Nutr*. 2007; 10 (12A): 1606–11. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1368980007361004>
 39. Lazarus J., Brown R.S., Daumerie C., Hubalewska-Dydejczyk A., Negro R., Vaidya B. 2014 European thyroid association guidelines for the management of subclinical hypothyroidism in pregnancy and in children. *Eur Thyroid J*. 2014; 3 (2): 76–94. DOI: <https://doi.org/10.1159/000362597>
 40. Zimmermann M.B., Gizak M., Abbott K., Andersson M., Lazarus J.H. Iodine deficiency in pregnant women in Europe. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2015; 3 (9): 672–4. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(15\)00263-6](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(15)00263-6)
 41. Abel M.H., Caspersen I.H., Meltzer H.M., Haugen M., Brandlistuen R.E., Aase H. Suboptimal maternal iodine intake is associated with impaired child neurodevelopment at 3 years of age in the Norwegian Mother and Child Cohort Study. *J Nutr*. 2017; 147 (7): 1314–24. DOI: <https://doi.org/10.3945/jn.117.250456>

Для корреспонденции

Коденцова Вера Митрофановна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
 Адрес: 109240, Российская Федерация, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14
 Телефон: (495) 698-53-30
 E-mail: kodentsova@ion.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5288-1132>

Коденцова В.М., Жилинская Н.В.

Микроинкапсулированные (липосомальные) формы микронутриентов: сохранность и эффективность для коррекции дефицита

Microencapsulated (liposomal) forms of micronutrients: stability and effectiveness for eliminating deficiency

Kodentsova V.M., Zhilinskaya N.V.

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

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

Эффективность обогащенных микронутриентами пищевых продуктов зависит от сохранности в течение всего срока вводимых в продукт микронутриентов и пищевой матрицы, в которую их вводят. Микроинкапсулирование микронутриентов, т.е. заключение их в слой полимерного покрытия (оболочки), защищает чувствительные к окислению и фоторазложению молекулы при воздействии на них высокой температуры, света или кислорода, повышает стабильность, маскирует вкус и обеспечивает их контролируемое высвобождение, особенно из матриц, в которые эти вещества другим способом не могли бы быть включены.

Цель исследования – оценить эффективность использования микроинкапсулированных (липосомальных) форм витаминов и минеральных веществ для повышения их сохранности при обогащении пищевых продуктов и коррекции микронутриентной недостаточности.

Материал и методы. Обзор литературы, преимущественно за последние годы, осуществляли по базам данных PubMed и РИНЦ, а также в системе Google Scholar.

Финансирование. Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания (FGMF-2025-0006).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Вклад авторов. Оба автора участвовали в разработке концепции, анализе и интерпретации данных и окончательно утвердили рукопись для публикации.

Для цитирования: Коденцова В.М., Жилинская Н.В. Микроинкапсулированные (липосомальные) формы микронутриентов: сохранность и эффективность для коррекции дефицита // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 4. С. 39–50. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-39-50>
Статья поступила в редакцию 10.03.2025. **Принята в печать** 27.06.2025

Funding. The research was carried out using subsidies for the implementation of a state task (FGMF-2025-0006).

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

Contribution. Both authors contributed to the conception, analysis and interpretation of data and gave final approval to the manuscript for publication.

For citation: Kodentsova V.M., Zhilinskaya N.V. Microencapsulated (liposomal) forms of micronutrients: stability and effectiveness for eliminating deficiency. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (4): 39–50. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-39-50> (in Russian)

Received 10.03.2025. **Accepted** 27.06.2025.

Результаты. Создание липосомальных форм микронутриентов – сложные многостадийные технологии, требующие специального оборудования, контроля размеров и свойств, что удорожает и затрудняет масштабирование производства. Микроинкапсулирование повышает сохранность витаминов в обогащенных пищевых продуктах. Большинство исследований посвящены оценке влияния липосомирования на эффективность применения витамина D и железа для коррекции дефицита. Сравнение параметров фармакокинетики показало, что витамин D, аскорбат кальция и натрия в липосомальной форме абсорбируются быстрее по сравнению с обычными формами. Помещение витаминно-минеральных комплексов в липосомы влияет на индивидуальные фармакокинетические профили микронутриентов. Прием натошак здоровыми добровольцами отдельных витаминов (C, D) в липосомальной форме приводил к достижению более высоких максимальных концентраций в плазме крови и суммарной площади под кривой зависимости «концентрация–время». Однако трактовка этих результатов неоднозначна. Более высокие уровни в плазме крови могут означать, что микронутриент не так быстро всасывается в ткани, в то время как более низкие уровни могут свидетельствовать о том, что перераспределение в ткани происходит быстрее. В клинических исследованиях эффективность коррекции статуса железа в течение 4–12 нед по уровню гемоглобина липосомальными формами железа оказалась сопоставимой с эффективностью других форм этого микроэлемента.

Заключение. Технология микроинкапсулирования микронутриентов востребована в пищевой промышленности для повышения сохранности витаминов и минеральных веществ в процессе производства и реализации пищевой продукции. Для подтверждения преимуществ липосомальных форм микронутриентов для устранения недостаточности витаминов и минеральных веществ в организме требуются дополнительные исследования.

Ключевые слова: витамины; железо; липосомы; коррекция недостаточности; эффективность коррекции дефицита; сохранность в обогащенных пищевых продуктах

The effectiveness of micronutrient-enriched foods depends on the preservation of the micronutrients introduced into the product and the food matrix into which the micronutrient is introduced over the entire shelf life. Microencapsulation of micronutrients, i.e. enclosing them in a polymer coating layer (shell), protects sensitive to oxidation and photodegradation molecules when exposed to high temperatures, light or oxygen, increases stability, masks taste and ensures micronutrient controlled release, especially from matrices in which these substances could not otherwise be included.

The purpose of the study was to evaluate the effectiveness of using encapsulated (liposomal) forms of vitamins and minerals to improve its preservation during food fortification and correct micronutrient deficiencies.

Material and methods. The literature review in recent years was carried out using the RSCI, PubMed databases, as well as Google Scholar systems.

Results. The development of liposomal micronutrient forms is a complex multi-stage technology that requires special equipment, control over the size and properties, which increases the cost and complicates scaling up production. Microencapsulation improves the preservation of vitamins in fortified foods. Most studies are devoted to assessing the effect of liposomal application on the effectiveness of vitamin D and iron to correct deficiency. Comparison of pharmacokinetic parameters showed that liposomal forms of vitamin D, calcium and sodium ascorbates are absorbed faster than in conventional forms. Intake of liposomal vitamin-mineral formulations affects individual pharmacokinetic profiles of micronutrients. Intake of individual liposomal vitamins (C, D) by healthy volunteers on an empty stomach resulted in higher maximum blood plasma level and total area under the concentration-time curve. However, the interpretation of these results is ambiguous. Higher plasma levels may indicate that the micronutrient is not absorbed into tissues as quickly, while lower levels may indicate that redistribution into tissues occurs more quickly. In clinical studies, the effectiveness of iron status correction over 4–12 weeks in terms of hemoglobin levels with liposomal iron forms was comparable to the effectiveness of other forms of this trace element.

Conclusion. Micronutrient microencapsulation technology is in demand in the food industry to improve the safety of fortifying additives. Additional research is needed to confirm the benefits of liposomal forms of micronutrients in eliminating vitamin and mineral deficiencies.

Keywords: vitamins; iron; liposomes; deficiency correction; effectiveness; preservation in fortified foods

Отличительной особенностью структуры питания россиян по-прежнему остается избыточная энергетическая ценность рациона вследствие высокого потребления насыщенных животных жиров, добавленных (свободных) сахаров, а также пищевой соли на фоне дефицита микронутриентов [витаминов D, группы B, минеральных веществ (йода кальция, магния, калия и др.)], полиненасыщенных жирных кислот, пищевых волокон вследствие недостаточного потребления овощей, фруктов, рыбы и молочных продуктов [1]. Нарушение пищевого статуса оказывает негативное влияние на состояние здоровья, является алиментарным фактором риска избыточной массы тела и ожирения, возникновения и развития сопутствующих им заболеваний (сердечно-сосудистых, сахарного диабета, некоторых видов онкологических заболеваний).

Недостаток микронутриентов наблюдается круглый год, варьируя у различных групп населения по степени выраженности и набору дефицитных витаминов [2–4]. Восполнение недостатка и оптимизация содержания микронутриентов в рационе возможны через включение в питание обогащенных продуктов массового потребления, специализированных пищевых продуктов, являющихся источником микронутриентов, в том числе витаминно-минеральных комплексов (ВМК) [4].

Эффективность обогащенных микронутриентами пищевых продуктов зависит от пищевой матрицы, в которую вводится микронутриент, обеспечения сохранности вводимых в продукт микронутриентов без потери его качества в течение всего срока годности. Технологические процессы должны быть адаптированы для сохранности чувствительных к окислению и фоторазложению молекул липотропных витаминов (A, D, E, K) и каротиноидов, чтобы ограничить воздействие на них высокой температуры, света или кислорода.

Для решения этой проблемы используют микрокапсулирование микронутриентов, при котором биологически активные ингредиенты заключаются в слой полимерного покрытия (оболочки) для защиты от внешней среды, что повышает их стабильность, маскирует вкус, улучшая органолептические показатели, и обеспечивает их контролируемое высвобождение, особенно в матрицах, в которые эти вещества другим способом невозможно включить [5–7]. Микроинкапсуляция – это, по сути, изоляция биоактивного вещества покрытием, которое защищает витамин от внешней среды [8]. В качестве носителя используют полисахариды (альгинат натрия, каррагинан, гуммиарабик, мальтодекстрин, модифицированный крахмал, ксантан и пектин), лецитины (соевый и подсолнечный), белки (белок молочной сыворотки, яичный белок) [9, 10]. Чаще всего микроинкапсулирование осуществляют с помощью экономически эффективного метода распылительной сушки.

Использование альгината натрия и гуммиарабика для инкапсуляции аскорбиновой кислоты обеспечило выход продукта от 35,1 до 83,2%, а эффективность инкапсуляции (доля включенного в микрокапсулы витамина) превысила 90%. Были получены сферические микрока-

псулы с гладкой поверхностью со средним диаметром около 6 и 9 мкм для частиц, полученных с использованием альгината и гуммиарабика соответственно. Стабильность аскорбиновой кислоты при этом сохранялась при нагревании до 188 °C [11].

Наряду с этим используют липосомы – липидные «пузырьки» размером от нанометров до микрон с включенными в них витаминами или минеральными веществами, для которых характерна более высокая эффективность загрузки и биосовместимость с содержимым [12].

Цель исследования – оценить эффективность использования инкапсулированных (липосомальных) форм витаминов и минеральных веществ для повышения их сохранности при обогащении пищевых продуктов и коррекции микронутриентной недостаточности.

Материал и методы

Обзор существующей по проблеме литературы, преимущественно за последние годы, осуществляли по базам данных PubMed и РИНЦ, а также в системе Google Scholar по ключевым словам и их синонимам: «витамин», «микроэлемент» в сочетании с «микрокапсулирование» и «инкапсуляция».

Поиск источников был ограничен периодом с 2020 по 2024 г., за исключением статей, имеющих принципиальное значение. Во всех найденных полнотекстовых статьях была изучена библиография с целью выявления дополнительных, не обнаруженных публикаций. Анализировали доступные оригинальные исследовательские и обзорные статьи, опубликованные в научных журналах на русском и английском языках.

Критерии включения и исключения источников: анализировали данные по сохранности микросомальных микронутриентов, а также результаты рандомизированных исследований, проведенных с участием пациентов, независимо от их возраста, обязательным условием было наличие сведений о форме микронутриента, продолжительности наблюдения и сопоставимой с физиологической потребностью дозы перорально принимаемых форм микронутриентов. В ответ на прием разных форм микронутриентов учитывали изменения их концентрации в плазме крови и биодоступность, т.е. включение абсорбированного микронутриента в метаболические процессы.

Не включали в анализ тезисы, опубликованные в сборниках материалов конференций, и исследования, выполненные на животных и моделях, имитирующих переваривание пищи, *in vitro*, а также исследования, посвященные липосомальным формам витаминов, предназначенных для косметологических целей.

Технологии получения липосомальных форм микронутриентов

В пищевой промышленности процесс микрокапсулирования может применяться для защиты активного ком-

понента от деградации за счет снижения его реакционной способности; повышения биодоступности активного компонента, «маскировки» нежелательного запаха или вкуса; достижения равномерного распределения одного материала в другом; разделения компонентов смеси с целью предотвращения возможных реакций.

Липосомы могут одновременно удерживать как гидрофобные, так и гидрофильные вещества. Предложены способы одновременной инкапсуляции в липосомы витамина С и β -каротина [13], а впоследствии и комплекса витаминов и минеральных веществ [14]. Не останавливаясь на анализе существующих способов инкапсуляции микронутриентов, отметим, что это сложные многостадийные технологии, которые требуют контроля размеров и свойств образующихся форм микронутриентов и, соответственно, специального оборудования, что удорожает производство.

Основными фосфолипидами, используемыми для получения липосом, являются соевый, яичный, молочные лецитины, лецитин из морских млекопитающих. Липосомы, образованные из яичного или соевого фосфатидилхолина, обладают хорошей проницаемостью и недостаточно стабильными свойствами [15]. Для стабилизации мембран микрокапсул добавляют холестерин в количестве не менее 30% от общего количества липидов, стеариновую кислоту или стеарат кальция, которые модулируют проницаемость мембраны, изменяют текучесть и повышают стабильность мембран в присутствии биологических жидкостей (плазма крови) [16]. Для повышения химической и физической стабильности добавляемой в йогурт дисперсии липосом с инкапсулированным β -каротином использовали ксантановую и гуаровую камедь [17].

Основными этапами создания липосом являются: высушивание липидов, растворенных в органическом растворителе; воздействие на липиды водной средой с растворенными витаминами и/или минеральными веществами, очистка полученных липосом от не инкапсулированных в них микронутриентов; удаление остатков растворителя с помощью диализа, центрифугирования, хроматографии, ультрафильтрации, сверхкритических флюидных методов, микрофлюидной технологии и ультразвуковой обработки, затем анализ и характеристика конечного продукта (эффективность инкапсуляции, распределение по размерам, дзета-потенциал, полидисперсный индекс, внешний вид) [16]. Создание липосомального витамина С включало растворение его в водном растворе сорбата калия, добавление глицерина (соотношение по объему вода/глицерин 45:55), затем лецитина с содержанием фосфатидилхолина $\geq 40\%$ [18]. Формирование липосомального витамина D_3 включало добавление глицерина к раствору сорбата калия, затем витамина D_3 , растворенного в оливковом масле, затем лецитина подсолнечника [18]. Размер частиц липосомального витамина С (~200 нм) был больше, чем размер частиц липосомального витамина D_3 (~100 нм).

Состоящие из соевого лецитина и холестерина липосомы, нагруженные витамином D_3 , были получены

с использованием метода гидратации тонкой пленки, затем ультразвуковой обработки. Эффективность инкапсуляции витамина D_3 составила более 93%, размер частиц – 82–90 нм [19].

Проблемой технологии создания липосомальных форм микронутриентов является многостадийность и трудность масштабирования в промышленных условиях [13], чувствительность к воздействию окружающей среды (осмотическое давление, pH, температура, окисление и т.д.), возможность осаждения, агрегации, слипания частиц [20].

Стабильность липосом и сохранность инкапсулированных витаминов

В пищевой промышленности технология инкапсуляции используется для стабилизации пищевых ингредиентов, чувствительных к условиям окружающей среды, для защиты структуры и функций микронутриентов и биологически активных минорных соединений пищи, повышения их всасывания, контроля высвобождения содержимого и физического разделения реактивных или несовместимых компонентов, что приводит к увеличению срока хранения обогащенных пищевых продуктов. Инкапсуляция снижает потери биологически активных веществ, а также применяется с целью замаскировать или сохранить ароматы и вкусы, для превращения жидкости в более удобные в обращении твердые продукты [21].

Сохранность липосомальных форм микронутриентов включает несколько составляющих: стабильность содержащихся в них микронутриентов, стабильность самих липосом, поскольку по мере хранения липосомы могут агрегировать или их содержимое может вытекать из микрокапсул, а также сохранность микронутриента, внесенного в липосомальной форме, в конечном продукте.

Липосомы физико-химически нестабильны, поскольку липиды, присутствующие в их структуре, могут подвергаться естественной деградации посредством окисления или гидролиза, а также вследствие того, что частицы могут образовывать агрегаты [22]. Такие внешние факторы, как высокая температура, изменения pH или продолжительность хранения, могут влиять на их структуру и изменять проницаемость бислоя, вызывая высвобождение инкапсулированного соединения или образование агрегатов. Сохранность липосом в течение года может быть достигнута при их хранении при температуре 4 °C или при комнатной температуре (20 °C) в атмосфере, не содержащей O_2 , а также путем добавления в качестве стабилизаторов холестерина и α -токоферола [23].

Для увеличения сохранности липосом и их содержимого используют покрытие липосом биополимерами, которые могут повышать их физическую стабильность за счет стерических и электростатических факторов, создавая, таким образом, гибридную систему. Повы-

шают общую стабильность лизосом лиофилизация и некоторые другие способы. Для покрытия поверхности липосом используют крахмалы, желатин, белки, целлюлозу, пектин и хитозан.

Гарантированное качество и постоянство состава липосом зависит от ряда факторов, в том числе эффективности инкапсуляции. Липосомы должны удерживать внутри как можно больше молекул. Микрокапсулы должны быть охарактеризованы физико-химически, включая характеристику поверхности, размер частиц, температуру фазового перехода. Важным параметром является эффективность инкапсуляции (процент биоактивных веществ внутри липосом по сравнению с общим количеством использованных биоактивных веществ, который должен составлять не менее 50). Помимо этого, оценивают высвобождение молекул *in vitro*, скорость утечки из липосом в течение срока годности и изменение целостности липосом в ответ на изменения внешних факторов (концентрация соли, pH, температура или добавление других вспомогательных веществ) [22].

Средний размер липосом, совместно загруженных витамином С и фолиевой кислотой, сохранялся в течение 40 сут при 4 и 25 °С, однако если в конце срока хранения при низкой температуре утечка витаминов составила 6–13%, то при хранении при комнатной температуре утечка достигла 26–35% [24]. Одновременно загруженные β-каротином и витамином С липосомы (размером примерно 250 нм) на основе фосфатидилхолина из яичного желтка с добавлением холестерина были стабильны в течение 30 сут [25].

Как уже упоминалось, инкапсулирование витаминов используют в качестве технологии, повышающей сохранность этих микронутриентов. После 50 сут хранения в холодильной камере сохранность витамина С, инкапсулированного в липосомы, составила 50%, тогда как неинкапсулированный витамин разрушался через 19 сут [26]. Сохранность инкапсулированного в липосомы β-каротина достигала 90% и составила 90 сут, стабилизация липосом путем добавления смеси гуаровой и ксантановой камедей оказалась эффективной в предотвращении агрегации таких липосом [17].

Оценка *in vitro* антиоксидантной способности образцов липосом (размером 100–150 нм), содержащих витамин С, липосом, нагруженных фолиевой кислотой, и липосом, одновременно содержащих оба витамина, по их способности восстанавливать стабильный радикал 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил (DPPH) показала, что витамины проявляют синергизм [27]. Липосомы, полученные при соотношении витамина Е и β-каротина 5:3 и 3:1, обладали самой высокой антиоксидантной способностью [28].

При обогащении пищевых продуктов витамином D возникают многочисленные проблемы, касающиеся однородности распределения в пищевой матрице, физико-химической/фотохимической деградации, потерь при обработке и хранении, взаимодействия с другими компонентами пищевой матрицы, приводящими к измене-

нию вкуса, текстуры и внешнего вида, что отражается не только на вкусовых качествах, но и конкурентоспособности продукта [8].

Для обогащения сыра чеддер были созданы липосомы, нагруженные витамином D, которые были добавлены в сырое молоко в дозе 400 МЕ/л, а затем обогащенное молоко было использовано для производства сыра [29]. Содержание витамина D в сыре при добавлении его в липосомальной форме ($61,5 \pm 5,4\%$) было значительно выше, чем при предварительной гомогенизации витамина D в сливках ($40,5 \pm 2,2\%$) и при использовании водорастворимой коммерческой формы ($42,7 \pm 1,7\%$). Однако после 7 мес созревания концентрация витамина D стала практически одинаковой во всех 3 экспериментальных сырах и составила примерно 60% от концентрации, измеренной сразу после производства сыра при обогащении в форме липосом, и 84–89% при других способах введения витамина [29].

Обогащение шоколада липосомальной формой витамина D₃ (5 мкг/10 г) обеспечило сохранность витамина в течение 60 сут, в отличие от сохранности в шоколаде, в который витамин D был добавлен в свободной форме [22].

Микроинкапсулированные витамины (Е, В₁, В₂, В₃ и В₅) были более стабильны по сравнению с немикрокапсулированными в процессе экструдирования при высоких температурах [30].

В сравнительных исследованиях сохранности витамина С в картофельном пюре [14,1% картофельных хлопьев (Great Value), 80% воды, 3,5% соевого масла, 1,8% сливочного сыра и 0,6% нейодированной соли], помещенном после термообработки в вакуумные упаковки из пленок различного вида, которое было обогащено инкапсулированной и неинкапсулированной аскорбиновой кислотой до уровня 60 мг в 100 г (в сыром виде), было показано, что при хранении при температуре 5 °С в течение 90 сут сохранность инкапсулированного витамина С была выше. Потери в зависимости от используемой упаковочной пленки составили 13–31 против 12–76% при использовании обычного витамина С [31]. При совместном обогащении картофельного пюре витаминами А (пальмитат) и Е (ацетат) оказалось, что в инкапсулированном виде сохранность полная, тогда как при использовании обычных витаминов потери составили 4–5% [31].

Абсорбция липосомальных форм микронутриентов

Однослойные липосомы (средний размер ≤ 300 нм) производства Lipid Systems Sp. zo.o. (Польша) с концентрацией витамина D 20 мкг/г (содержание свободного витамина D₃ $\leq 3,4\%$ от общего количества холекальциферола) были получены путем смешивания пропиленгликоля, содержащего липиды (20% по массе), с витамином D₃ и очищенной водой (1:1 по массе) с последующей экструзией через поликарбонатный фильтр с порами размером 100 нм, последующим разбавлением в 200 раз

смесью глицерин : вода (1:1 по массе) с добавлением натурального ароматизатора (0,3 по массе) и пектином (2,45 по массе) [32]. Прием здоровыми добровольцами (возраст 24–65 лет, $n=8-11$) натощак после ночного голодания (для исключения влияния содержимого желудочно-кишечного тракта) по «перекрестной схеме» по 10 000 МЕ витамина D₃ либо в липосомальной, либо в традиционной масляной форме сопровождался более быстрым повышением (в динамике через 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4 и 5 ч) в плазме крови концентрации гидроксивитамина D – 25(OH)D – при приеме липосомальной формы, особенно выраженным у лиц с глубоким дефицитом витамина D.

Однократный прием здоровыми добровольцами ($n=14$) липосомальной формы (размер 200 нм) аскорбата кальция, полученной растворением аскорбата кальция в воде, затем последовательным добавлением лецитина и раствора галактоманнана, в дозе 400 мг витамина С в виде таблеток и капсул приводил к семикратному повышению его концентрации в плазме крови со значительным улучшением фармакокинетических свойств по сравнению с обычным аскорбатом кальция [33].

Аналогичным образом прием по 5 мл раствора липосом, содержащих 1000 мг аскорбата натрия, обеспечил более высокое значение максимальной концентрации в плазме крови витамина С (5,2 мг/дл) по сравнению с показателем при приеме обычного аскорбата натрия (2,2 мг/дл) [34].

С участием 25 здоровых добровольцев было проведено сравнение параметров фармакокинетики после приема многокомпонентного ВМК, содержащего 13 витаминов в дозе 40–120% от рекомендуемой нормы потребления (РНП), в том числе витамин А в форме β-каротина, лютеин в дозе 25% от адекватного уровня потребления, холин, коэнзим Q в дозе 10–13% от адекватного уровня потребления, а также 8 минеральных веществ [глицинаты железа (68% от РНП), магния (5% от РНП), молибдена (77% от РНП), хрома (110% от РНП); цитрат марганца, цинка в дозе 110–130% от РНП; селен в дозе 80–100% РНП; йод в форме йодида калия – 115% РНП] с параметрами после приема ВМК такого же состава, но в липосомальной форме [14]. Перед приемом ВМК участники получали стандартный завтрак – 2 батончика гранолы Nature Valley Oats' N Honey, содержащих цельнозерновой овес, сахар, рапсовое и/или подсолнечное масло, рисовую муку, мед, соль, сахарный сироп, пищевую соду, соевый лецитин и натуральный ароматизатор, обеспечивавших потребление 7 г жира, 29 г углеводов, 3 г белка, 140 мг натрия и 1 мг железа с энергетической ценностью 190 ккал. Затем участники принимали ВМК и вновь по 2 батончика гранолы. Концентрацию микронутриентов в плазме крови определяли через 0; 2; 4 и 6 ч. Прием ВМК, помещенного в липосомы, способствовал более обширному и продолжительному повышению концентрации железа в крови относительно исходного уровня по сравнению с нелипосомальной формой ВМК, увеличивал всасывание кальция, содержавшегося только в батончи-

ках, в течение первых 2 ч после приема, но не влиял на концентрацию магния в плазме. Объем распределения витаминов А и Е в плазме крови (отношение дозы к концентрации, измеренной в плазме крови), отражающий степень их захвата тканями из плазмы крови, был ниже при приеме липосомальной формы ВМК по сравнению с не липосомальной. Таким образом, помещение ВМК в липосомы влияет на индивидуальные фармакокинетические профили отдельных микронутриентов. Различия уровней витаминов и минеральных веществ в плазме крови могут быть следствием не только разной скорости всасывания. Более низкие концентрации могут отражать более быстрое перемещение в ткани, тогда как более высокие уровни, наоборот, могут свидетельствовать о том, что микронутриент не слишком быстро проникает в ткани. Сами авторы делают вывод о необходимости долгосрочных исследований по оценке влияния на витаминный и минеральный статус, функцию микронутриентов и/или результаты для здоровья.

Биодоступность липосомальных форм микронутриентов

Клиническая эффективность в отношении добавленных витаминов и минеральных веществ к обогащаемому продукту в значительной мере определяется их биодоступностью. Согласно определению биодоступность микронутриента – это его доля, которая не только всосалась в желудочно-кишечном тракте, но и вошла в метаболизм для осуществления физиологических функций. Высокая степень абсорбции является необходимым, но недостаточным условием хорошей биодоступности микронутриента. На усвоение микронутриента из обогащенного продукта или добавки влияет состав рациона. Фактически при оценке биодоступности микронутриента происходит анализ его биодоступности из всего рациона, а не только из обогащенного пищевого носителя микронутриента [35].

Железо. Поскольку соли неорганического железа имеют металлический привкус, могут изменять цвет обогащенного продукта, в настоящее время расширяется ассортимент добавок железа в липосомальной форме, что устраняет эти нежелательные свойства. Накапливаются данные об эффективности липосомального железа.

В исследовании, выполненном на группе из 164 детей в возрасте от 5,5 мес до 1,1 года с диагнозом «железодефицитная анемия» легкой и средней степени тяжести, был установлен прирост эритроцитарных индексов и гемоглобина [количество эритроцитов (RBC) с 3,84 до 4,68×10¹²/л, средний объем эритроцитов (MCV), среднее содержание гемоглобина в эритроците (MCH), уровень гемоглобина], достигнутый после приема в течение 2 мес лекарственного средства «Сидерал капли» («Джунья Фарма С.р.л.», Италия) из расчета 2 капли на 1 кг массы тела (1,4 мг железа), в состав которого входят

липосомное железо, лецитин, натрия хлорид; микрокристаллическая целлюлоза, мальтодекстрин, сахараза; деминерализованная вода, ксантановая камедь, натрия гидроксид; консерванты калия сорбат и натрия бензоат, ароматизатор [36].

Поскольку для проявления максимального биологического действия железа необходима достаточная обеспеченность организма 10 другими микронутриентами (витамины С, В₂, В₆, марганец, медь, молибден, хром, йод) [37], ВМК часто содержат наряду с железом аскорбиновую кислоту и витамины группы В. Прием женщинами репродуктивного возраста ($n=132$) с дефицитом железа в течение 3 мес комплекса микронутриентов «Полифер» («Е-Фарма Тренто», Италия), содержащего 14 мг железа в виде микрокапсулированного липосомального пирофосфата железа, 80 мг аскорбиновой кислоты, 2,6 мкг цианокобаламина и 217 мкг фолиевой кислоты, привел к увеличению концентрации гемоглобина со $115\pm 2,1$ до $130\pm 2,5$ г/л, ферритина – с $6,9\pm 3,1$ до $32,3\pm 3,1$ мкг/л, сывороточного железа – с $8,2\pm 2,5$ до $23,5\pm 2,2$ мкмоль/л. Эффективность по результатам изменения гемопараметров крови (гемоглобин, ферритин, сывороточное железо) оказалась одинаковой с таковой при внутривенном введении в течение 1 мес лекарственного препарата «Адживер» («Аджио Фармацевтикалз Лтд», Индия), содержащего 100 мг железа (III) в форме гидроксида сахарозного комплекса [38].

Прием в течение 4 нед пациентами после резекции желудка или кишечника в связи с опухолевыми заболеваниями, имеющими дефицит железа и железодефицитную анемию средней тяжести, специализированного продукта лечебно-профилактического питания «Сидерал Форте» («ФармаНутра С.п.А.», Италия) привел к значимому увеличению содержания гемоглобина с 79,5 до 117 г/л, концентрации железа в сыворотке крови с 5,1 до 16 мкмоль/л и ферритина с 5,5 до 139,5 мкг/л [39]. Порция продукта содержала 30 мг железа в липосомальной форме, в состав которой входят железа пирофосфат, прежелатинизированный рисовый крахмал, сложные эфиры жирных кислот, лецитин подсолнечника на сиропе глюкозы, молочные белки, ортофосфат кальция и 70 мг аскорбиновой кислоты.

Для улучшения обеспеченности железом пациентами ($n=38$) с хронической болезнью почек, не требующей проведения диализа, имеющих дефицит железа (уровень сывороточного ферритина менее 100 нг/мл и/или коэффициент насыщения трансферрина менее 20%), была использована витаминно-минеральная добавка [40]. В ее состав входило 30 мг липосомального железа в виде сульфата и 19 мг аскорбиновой кислоты. Прием в течение 6 мес этого комплекса по схеме 2 раза в сутки в течение первого месяца, затем 1 раз в сутки в течение остальных 5 мес привел к постепенному увеличению насыщения трансферрина с $14,3\pm 5,9\%$ при исходном обследовании до $20,0\pm 7,6\%$ в конце ($p=0,009$), увеличению доли лиц с уровнем насыщения трансферрина выше 20% с 11,8 до 50,0%. При этом статистически значимых различий концентраций сывороточного ферритина не выявлено [40].

Исследований по использованию липосомальных форм железа в сопоставлении с традиционными формами мало. Проведенная в Турции ретроспективная оценка статуса железа (по истории болезни) 651 здорового ребенка в возрасте 9–13 мес жизни показала, что 56,5% детей получали с целью профилактики препараты, содержащие соль Fe^{3+} (10 мг/сут), а остальные – препараты, содержащие соль Fe^{2+} (10 мг/сут), или микрокапсулированное железо (8 мг/сут) или капли сукросомального железа (7 мг/сут). Через 5 мес профилактики оказалось, что уровни гемоглобина, сывороточного железа и ферритина были ниже у детей, принимавших сукросомальное и микрокапсулированное железо, по сравнению с показателями детей, принимавших другие препараты железа [41].

В сравнительном исследовании эффективности перорального и парентерального способов коррекции статуса железа пациентам ($n=13$) в течение 3 мес внутривенно 1 раз в неделю вводили железо-сахарозный комплекс [Farmed®, содержащий 100 мг железа в форме железа (III) гидроксида сахарозного комплекса], тогда как другие пациенты ($n=14$) принимали 1 раз в день капсулу (Lisofer®), содержащую 30 мг липосомального железа (в форме пирофосфата), 70 мг аскорбиновой кислоты, 2,5 мг витамина В₁₂, 1000 мкг фолиевой кислоты [42]. Пероральный прием железа в липосомальной форме с витаминами привел к увеличению уровня гемоглобина в крови с $9,82\pm 1,21$ до $10,29\pm 1,61$ г/дл ($p=0,003$), при этом повысились уровень ферритина и насыщение ферритина железом, однако не достигая уровня статистической значимости. В группе пациентов, получавших железо внутривенно, все 3 показателя увеличились статистически значимо. Среди нежелательных явлений при приеме липосомальных форм отмечались запор у 28,4%, боли в животе у 21,4% и головные боли у 14,2% [42]. Таким образом, для коррекции дефицита железа пероральный прием липосомального железа оказался менее эффективным по сравнению с внутривенным введением железа.

Витамины. Результаты сравнительного исследования (продолжительность 3 мес) усвоения пациентами с муковисцидозом 4 жирорастворимых витаминов (смесь 2000 МЕ ретинилпальмитата, 4000 МЕ витамина D₃, 200 МЕ RRR- α -токоферола и 200 мкг менахинона-7) в форме липосом в растворе среднецепочечных триглицеридов на основе соевого лецитина или инкапсулированных в циклодекстрины показали, что после приема смеси витаминов в липосомальной форме в сыворотке крови достоверно повысилась концентрация витаминов А, Е и 25(OH)D. Эффективность витамина D в составе циклодекстринов оказалась самой высокой для повышения уровня 25(OH)D и уменьшения количества лиц с исходно сниженным уровнем этого витамина [43]. Доля пациентов с дефицитом витамина К, охарактеризованная по процентному содержанию некарбоксилированного остеокальцина, во всех группах до и после вмешательства превышала 50%.

Влияние пищевой матрицы на усвоение микронутриентов

Состав и структура пищи влияют на усвоение липидов и биодоступность жирорастворимых витаминов. На биодоступность жирорастворимых витаминов (А, D, Е и К) влияют общее содержание жиров, состав масляной фазы, размер частиц (капель), свойства поверхности раздела фаз и состав водной фазы [44]. Эмульгаторы, стабилизаторы или модификаторы текстуры, входящие в состав продукта, также могут изменять биодоступность, влияя на размер капель или агрегацию. Для улучшения биодоступности витаминов могут быть разработаны специальные пищевые матрицы.

Растворимость белков животного происхождения в более широком диапазоне pH, относительно меньший размер, чем у белков растительного происхождения, обеспечивают повышение биодоступности жирорастворимых витаминов и каротиноидов, поскольку их свойства обеспечивают более быструю диффузию к поверхности раздела для стабилизации липидной фазы внутри эмульсии, что приводит к уменьшению размера капель, в конечном итоге облегчая переход липидных капель и содержащихся в них жирорастворимых компонентов в смешанные мицеллы [45]. Белки, получаемые из молока, могут способствовать усвоению витамина Е, улучшая мицеллирование, β -лактоглобулин и казеинат улучшают биодоступность витамина А [45].

Пищевые волокна ограничивают доступ ферментов к липидным каплям и тем самым снижают мицеллизацию каротиноидов. Аналогичным образом двухвалентные элементы в высоких концентрациях негативно влияют на биодоступность каротиноидов, вероятно, вследствие осаждения жирных кислот и солей желчных кислот в кишечнике. Одновременный прием железа (25 мг) и цинка (30 мг), несмотря на высокую дозу β -каротина (15 мг), потребляемого вместе с высокожировым (18 г) завтраком на основе молочных продуктов, показал низкую абсорбцию β -каротина (концентрация в плазме крови через 10 ч после приема) [46].

Заключение

Утверждение о преимуществах состоящих из природных фосфолипидов липосомальных систем доставки лекарственных средств и микронутриентов, заключающихся благодаря своей структуре из фосфолипидных бислоев в высокой биосовместимости, способности к биодеградации, низкой токсичности, возможности включения в них биологически активных веществ различной природы, что повышает их биодоступность и эффективность в устранении алиментарного недостатка [12, 47], можно встретить буквально в каждой статье, посвященной липосомам. Впервые липосомы были разработаны для доставки медикаментозных средств, и эти технологии продолжают совершенствоваться. К функционализированным липосомам

(functionalized liposomes), к поверхности которых присоединены различные функциональные группы или молекулы, что позволяет им специфически взаимодействовать с определенными клетками или тканями, относятся длительно циркулирующие липосомы с модифицированной полиэтиленгликолем поверхностью, вследствие чего возникают затруднения их связывания с белками плазмы крови, а также модифицированными лигандами (например, конъюгированные с фолиевой кислотой или трансферрином для взаимодействия с экспрессируемыми на раковых клетках соответствующими рецепторами) и др. [48].

В литературе устоялось мнение, что липосомирование повышает биодоступность микронутриентов, что предполагает не только повышение абсорбции в кишечнике, но и повышение эффективности для осуществления физиологических функций. С позиций доказательной медицины в отношении липосом с микронутриентами в значительной мере эти утверждения не получили своего подтверждения. Для точной оценки биодоступности различных форм микронутриентов необходимо определить разницу между их циркулирующим количеством в артериальной крови и количеством, не поглощенным тканями, т.е. содержащимся в венозной крови, а также охарактеризовать динамику изменения концентрации в тканях во времени [14]. Именно поэтому в классической витаминологии об обеспеченности тем или иным витамином принято судить по его концентрации в плазме крови, собранной натощак после ночного голодания. Однако некоторые авторы продолжают использовать подходы, принятые в фармакологии применительно к лекарственным средствам. С этой целью в течение 8 ч после однократного приема липосомальной формы микронутриента исследуют такие параметры, как время достижения максимальной концентрации в плазме крови и площадь под кривой «концентрация–время», отражающей количество попавшего в кровяное русло вещества. Однако большую площадь под кривой зависимости «концентрация–время» после приема микронутриента не всегда можно трактовать как более высокую абсорбцию витамина, так как это может быть следствием более медленного включения в метаболизм [14], в том числе превращение в другие витаминеры. Высокие концентрации в плазме крови могут отражать не очень быстрое всасывание в ткани, тогда как более низкие концентрации могут отражать более быстрое распределение по тканям [35, 49]. Например, прием натощак здоровыми добровольцами отдельных витаминов (С, D) в липосомальной форме приводил к достижению более высоких максимальных концентраций в плазме крови и суммарной площади под кривой «концентрация–время».

Для оценки клинической эффективности дополнительного приема витаминов и/или минеральных веществ в дозе, примерно соответствующей 100% от рекомендуемого суточного потребления, повторное исследование микронутриентного статуса проводят через 60–90 дней после начала приема [48, 50].

Обеспеченность организма железом оценивают по совокупности показателей (уровень гемоглобина крови, концентрация в сыворотке крови железа и ферритина, общая железосвязывающая способность, количество эритроцитов, среднее содержание гемоглобина в 1 эритроците, цветовой показатель, средний объем эритроцитов). Биодоступность железа зависит также от используемого химического соединения и наиболее точно определяется с использованием радиоизотопной метки [51]. В клинических исследованиях эффективность коррекции статуса железа, оцениваемого по уровню гемоглобина, с помощью липосомальных форм железа оказалась сопоставимой с другими формами этого микроэлемента.

Технология микроинкапсулирования лабильных витаминов и реакционноспособных минеральных веществ востребована прежде всего в пищевой промышленности для повышения сохранности обогащающих добавок. Особенно большие надежды возлагаются на микросомальные формы микронутриентов в космическом питании при разработке оптимального способа сохранения обогащенных микронутриентами продуктов в течение длительного времени [52]. Что касается возможных преимуществ липосомальных форм микронутриентов для устранения недостаточности витаминов и минеральных веществ, то необходимы специально спланированные дополнительные исследования.

Инкапсуляция витаминов в липосомы является актуальным направлением в пищевой промышленности.

Сведения об авторах

Коденцова Вера Митрофановна (Vera M. Kodentsova) – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: kodentsova@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5288-1132>

Жилинская Наталия Викторовна (Nataliya V. Zhilinskaya) – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией витаминов и минеральных веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: zhilinskayanataliya@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1596-1213>

Литература

1. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. Ключевые проблемы в структуре потребления пищевой продукции и прорывные технологии оптимизации питания для здоровьесбережения населения России // Вопросы питания. 2024. Т. 93, № 1. С. 6–21. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-1-6-21>
2. Крюкова Е.В., Рисник Д.В., Дарий С.Г., Коденцова В.М. Оптимизация микронутриентного статуса населения // Пищевая промышленность. 2025. № 4. С. 14–18. DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.4.4.002>
3. Желтикова Т.М., Денисов Д.Г., Мокроносова М.А. Гендерные и возрастные особенности статуса витамина D (25(OH)D) в России // Русский медицинский журнал. 2019. № 12. С. 51–55.
4. Коденцова В.М., Жилинская Н.В., Шпигель Б.И. Витаминология: от молекулярных аспектов к технологиям витаминизации детского и взрослого населения // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 89–99. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10045>
5. Estevinho B.N., López-Rubio A. Recent advances in encapsulation for food application // Foods. 2024. Vol. 13, N 4. P. 579. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13040579>
6. Gharibzadeh S.M.T., Moghadam M., Amft J., Tolun A., Hasabnis G., Altintas Z. Recent advances in dietary sources, health benefits, emerging encapsulation methods, food fortification, and new sensor-based monitoring of vitamin B12: a critical review // Molecules. 2023. Vol. 28, N 22. P. 7469. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28227469>
7. Estevinho B.N., López-Rubio A. Recent advances in encapsulation for food applications // Foods. 2024. Vol. 13, N 4. P. 579. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13040579>
8. Maurya V.K., Bashir K., Aggarwal M. Vitamin D microencapsulation and fortification: trends and technologies // J. Steroid Biochem. Mol. Biol. 2020. Vol. 196. Article ID 105489. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsmb.2019.105489>
9. Gonnet M., Lethuaut L., Boury F. New trends in encapsulation of liposoluble vitamins // J. Control. Release. 2010. Vol. 146, N 3. P. 276–290. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2010.01.037>
10. Zhu H., Mettu S., Cavalieri F., Ashokkumar M. Ultrasonic microencapsulation of oil-soluble vitamins by hen egg white and green tea for fortification of food // Food Chem. 2021. Vol. 353. Article ID 129432. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129432>
11. Barra P.A., Márquez K., Gil-Castell O., Mujica J., Ribes-Greus A., Faccini M. Spray-drying performance and thermal stability of L-ascorbic acid microencapsulated with sodium alginate and gum Arabic // Molecules. 2019. Vol. 24, N 16. P. 2872. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24162872>
12. Aman Mohammadi M., Farshi P., Ahmadi P., Ahmadi A., Yousefi M., Ghorbani M. et al. Encapsulation of vitamins using nanoliposome: recent advances and perspectives // Adv. Pharm. Bull. 2023. Vol. 13, N 1. P. 48–68. DOI: <https://doi.org/10.34172/apb.2023.005>
13. Romano E., Palladino R., Cannavale M., Lamparelli E.P., Maglione B. Enhanced stability of oral vitamin C delivery: a novel large-scale method for liposomes production and encapsulation through dynamic high-pressure microfluidization // Nanomaterials (Basel). 2024. Vol. 14, N 6. P. 516. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano14060516>
14. Ko J., Yoo C., Xing D., Gonzalez D.E., Jenkins V., Dickerson B. et al. Pharmacokinetic analyses of liposomal and non-liposomal multivitamin/mineral formulations // Nutrients. 2023. Vol. 15, N 13. P. 3073. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15133073>
15. Nsairat H., Khater D., Sayed U., Odeh F., Al Bawab A., Alshaer W. Liposomes: structure, composition, types, and clinical applications // Heliyon. 2022. Vol. 8, N 5. Article ID e09394. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09394>
16. Ajeeshkumar K.K., Aneesh P.A., Raju N., Suseela M., Ravishankar C.N., Benjakul S. Advancements in liposome technology: preparation techniques and applications in food, functional foods, and bioactive delivery: a review // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2021. Vol. 20, N 2. P. 1280–1306. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12725>
17. Toniazzi T., Berbel I.F., Cho S., Fávaro-Trindade C.S., Moraes I.C., Pinho S.C. β -carotene-loaded liposome dispersions stabilized with xanthan and guar gums: physico-chemical stability and feasibility of application in yogurt // LWT Food Sci. Technol. 2014. Vol. 59, N 2. P. 1265–1273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.021>
18. Chen J., Dehabadi L., Ma Y.C., Wilson L.D. Development of novel lipid-based formulations for water-soluble vitamin C versus fat-soluble vitamin D3 // Bioengineering (Basel). 2022. Vol. 9, N 12. P. 819. DOI: <https://doi.org/10.3390/bioengineering9120819>
19. Mohammadi M., Ghanbarzadeh B., Hamishehkar H. Formulation of nanoliposomal vitamin D3 for potential application in beverage fortification // Adv. Pharm. Bull. 2014. Vol. 4. P. 569–575.

20. Maurya V.K., Shaky A., Aggarwal M., Gothandam K.M., Bohn T., Pareek S. Fate of β -carotene within loaded delivery systems in food: state of knowledge // *Antioxidants (Basel)*. 2021. Vol. 10, N 3. P. 426. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox10030426>
21. Zarrab A., Alipoor Amro Abadi M., Khorasani S., Mohammad-abadi M.R., Jamshidi A., Torkaman S. et al. Nanoliposomes and tocosomes as multifunctional nanocarriers for the encapsulation of nutraceutical and dietary molecules // *Molecules*. 2020. Vol. 25, N 3. P. 638. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25030638>
22. Chaves M.A., Ferreira L.S., Baldino L., Pinho S.C., Reverchon E. Current applications of liposomes for the delivery of vitamins: a systematic review // *Nanomaterials (Basel)*. 2023. Vol. 13, N 9. P. 1557. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano13091557>
23. Hernández-Caselles T., Villalán J., Gómez-Fernández J.C. Stability of liposomes on long term storage // *J. Pharm. Pharmacol.* 1990. Vol. 42, N 6. P. 397–400. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1990.tb06578.x>
24. Jiao Z., Wang X., Yin Y., Xia J. Preparation and evaluation of vitamin C and folic acid-co-loaded antioxidant liposomes // *Particul. Sci. Technol.* 2018. Vol. 3. P. 453–459. DOI: <https://doi.org/10.1080/02726351.2017.1391907>
25. Liu X., Wang P., Zou Y.X., Luo Z.G., Tamer T.M. Co-encapsulation of vitamin C and β -carotene in liposomes: storage stability, antioxidant activity, and in vitro gastrointestinal digestion // *Food Res. Int.* 2020. Vol. 136. Article ID 109587. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109587>
26. Padilla C.E., Villanueva F.J.E. Encapsulation of food active ingredients in liposomes // *J. Nutr. Health Food Eng.* 2018. Vol. 8. P. 238–239. DOI: <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00276>
27. Li T., Yang S., Liu W., Liu C., Liu W., Zheng H. et al. Preparation and characterization of nanoscale complex liposomes containing medium-chain fatty acids and vitamin C // *Int. J. Food Prop.* 2015. Vol. 18, N 1. P. 113–124. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2012.685683>
28. Xu T., Zhang J., Jin R., Cheng R., Wang X., Yuan C. et al. Physico-chemical properties, antioxidant activities and in vitro sustained release behaviour of co-encapsulated liposomes as vehicle for vitamin E and β -carotene // *J. Sci. Food Agric.* 2022. Vol. 102, N 13. P. 5759–5767. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.11925>
29. Banville C., Vuilleumard J.C., Lacroix C. Comparison of different methods for fortifying Cheddar cheese with vitamin D // *Int. Dairy J.* 2000. Vol. 10. P. 375–382. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(00\)00054-6](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(00)00054-6)
30. Yang P., Wang H., Zhu M., Ma Y. Evaluation of extrusion temperatures, pelleting parameters, and vitamin forms on vitamin stability in feed // *Animals (Basel)*. 2020. Vol. 10, N 5. P. 894. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10050894>
31. Sonar C.R., Parhi A., Liu F., Patel J., Rasco B., Tang J. et al. Investigating thermal and storage stability of vitamins in pasteurized mashed potatoes packed in barrier packaging films // *Food Packag. Shelf Life*. 2020. Vol. 24. Article ID 100486. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100486>
32. Dątek P., Drabik D., Woźnińska H., Forys A., Jagas M., Jedruchiewicz N. et al. Bioavailability by design – vitamin D3 liposomal delivery vehicles // *Nanomedicine*. 2022. Vol. 43. Article ID 102552. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nano.2022.102552>
33. Joseph A., Kumar D., Balakrishnan A., Shanmughan P., Maliakel B., Im K. Surface-engineered liposomal particles of calcium ascorbate with fenugreek galactomannan enhanced the oral bioavailability of ascorbic acid: a randomized, double-blinded, 3-sequence, crossover study // *RSC Adv.* 2021. Vol. 11. P. 38 161–38 171. DOI: <https://doi.org/10.1039/D1RA06483E>
34. Gopi S., Balakrishnan P. Evaluation and clinical comparison studies on liposomal and non-liposomal ascorbic acid (vitamin C) and their enhanced bioavailability // *J. Liposome Res.* 2020. Vol. 31, N 4. P. 356–364. DOI: <https://doi.org/10.1080/08982104.2020.1820521>
35. Коденцова В.М., Рисник Д.В., Шарафетдинов Х.Х. Биодоступность и эффективность витаминноминеральных комплексов // *Микроэлементы в медицине*. 2024. Т. 25, № 1: С. 3–15. DOI: <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2024-25-1-3-15>
36. Жуковская Е.В., Анисимов В.Н., Сидоренко Л.В. Эффективность и безопасность липосомальной формы железа при лечении железодефицитной анемии у детей раннего возраста // *Педиатрический вестник Южного Урала*. 2017. № 2. С. 48–55.
37. Громова О.А., Торшин И.Ю., Хаджидис А.К. Анализ молекулярных механизмов воздействия железа (II), меди, марганца в патогенезе железодефицитной анемии // *Клиническая фармакология и фармакоэкономика*. 2010. № 1. С. 1–9.
38. Нурбаева Т.Ю., Исенова С.Ш., Казыбаева А.С., Садуакасова Ш.М. Современные стратегии коррекции железодефицитных состояний у женщин репродуктивного возраста // *Фармация Казахстана*. 2024. № 1. С. 107–114. DOI: <https://doi.org/10.53511/pharmkaz.2024.60.40.015>
39. Вялов С.С. Эффективность и безопасность липосомального железа в лечении анемии после резекции желудка или кишечника // *Клиническая фармакология и терапия*. 2016. Т. 25, № 4. С. 42–46.
40. Cesarano D., Borrelli S., Campilongo G., D'Ambra A., Papadia F., Garofalo C. et al. Efficacy and safety of oral supplementation with liposomal iron in non-dialysis chronic kidney disease patients with iron deficiency // *Nutrients*. 2024. Vol. 16, N 9. P. 1255. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16091255>
41. Tosyalı M., Demirçelik Y., Bağ Ö., Karaarslan U., Gökçe Ş., Koç F. Use of different iron preparations for prophylaxis and effects on iron status in infancy // *Healthcare (Basel)*. 2024. Vol. 12, N 10. P. 1043. DOI: <https://doi.org/10.3390/healthcare12101043>
42. Bengelloun Zahr S., Allata Y., El Mansoury M., Chouhane B.A., Kabbali N., El Bardai G. et al. Oral liposomal iron versus injectable iron sucrose for anemia treatment in non-dialysis chronic kidney disease patients: a non-inferiority study // *Cureus*. 2024. Vol. 16, N 9. Article ID e70114. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.70114>
43. Nowak J.K., Sobkowiak P., Drzymała-Czyż S., Krzyżanowska-Jankowska P., Sapiejka E., Skorupa W. et al. Fat-soluble vitamin supplementation using liposomes, cyclodextrins, or medium-chain triglycerides in cystic fibrosis: a randomized controlled trial // *Nutrients*. 2021. Vol. 13, N 12. P. 4554. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13124554>
44. Tan Y., McClements D.J. Improving the bioavailability of oil-soluble vitamins by optimizing food matrix effects: a review // *Food Chem.* 2021. Vol. 348. Article ID 129148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129148>
45. Iddir M., Vahid F., Merten D., Larondelle Y., Bohn T. Influence of proteins on the absorption of lipophilic vitamins, carotenoids and curcumin – a review // *Mol. Nutr. Food Res.* 2022. Vol. 66, N 13. Article ID e2200076. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.202200076>
46. Kruger J., Sus N., Moser A., Scholz S., Adler G., Venturelli S. et al. Low β -carotene bioaccessibility and bioavailability from high fat, dairy-based meal // *Eur. J. Nutr.* 2024. Vol. 63, N 6. P. 2261–2270. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00394-024-03423-w>
47. Li X., Zhang H., Mao X. Liposomes delivery systems of functional substances for precision nutrition // *Adv. Food Nutr. Res.* 2024. Vol. 112. P. 257–300. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2024.06.010>
48. Wang S., Chen Y., Guo J., Huang Q. Liposomes for tumor targeted therapy: a review // *Int. J. Mol. Sci.* 2023. Vol. 24, N 3. P. 2643. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms24032643>
49. Gregory J.F. 3rd. Accounting for differences in the bioactivity and bioavailability of vitamins // *Food Nutr. Res.* 2012. Vol. 56. Article ID 5809. DOI: <https://doi.org/10.3402/fnr.v56i0.5809>
50. Li Y., Jiang H., Huang G. Protein hydrolysates as promoters of non-haem iron absorption // *Nutrients*. 2017. Vol. 9, N 6. P. 609. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu9060609>
51. Коденцова В.М., Рисник Д.В., Бессонов В.В. Соединения железа для обогащения пищевых продуктов: сравнительный анализ эффективности // *Микроэлементы в медицине*. 2023. Т. 24, № 1. С. 10–19. DOI: <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2023-24-1-10-19>
52. Bychkov A., Reshetnikova P., Bychkova E., Podgorbunskikh E., Kopetev V. The current state and future trends of space nutrition from a perspective of astronauts' physiology // *Int. J. Gastronomy Food Sci.* 2021. Vol. 24. Article ID 100324. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100324>

References

1. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. Key challenges in the dietary intake structure and cutting edge technologies for optimizing nutrition to protect the health of the Russian population. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2024; 93 (1): 6–21. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-1-6-21> (in Russian)
2. Kryukova E.V., Risnik D.V., Dariy S.G., Kodentsova V.M. Optimization of the micronutrient status of the population. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Processing Industry]*. 2025; (4): 14–8. DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.4.4.002> (in Russian)
3. Zheltikova T.M., Denisov D.G., Mokronosova M.A. Gender and age characteristics of vitamin D (25(OH)D) status in Russia. *Russkii meditsinskiy zhurnal [Russian Medical Journal]*. 2019; (12): 51–5. (in Russian)
4. Kodentsova V.M., Zhilinskaya N.V., Shpigel' B.I. Vitaminology: from molecular aspects to improving technology of vitamin status chil-

- dren and adults. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2020; 89 (4): 89–99. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10045> (in Russian)
5. Estevinho B.N., López-Rubio A. Recent advances in encapsulation for food application. *Foods*. 2024; 13 (4): 579. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13040579>
6. Gharibzahedi S.M.T., Moghadam M., Amft J., Tolun A., Hasabnis G., Altintas Z. Recent advances in dietary sources, health benefits, emerging encapsulation methods, food fortification, and new sensor-based monitoring of vitamin B12: a critical review. *Molecules*. 2023; 28 (22): 7469. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28227469>
7. Estevinho B.N., López-Rubio A. Recent advances in encapsulation for food applications. *Foods*. 2024; 13 (4): 579. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13040579>
8. Maurya V.K., Bashir K., Aggarwal M. Vitamin D microencapsulation and fortification: trends and technologies. *J Steroid Biochem Mol Biol*. 2020; 196: 105489. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2019.105489>
9. Gonnet M., Lethuaut L., Boury F. New trends in encapsulation of liposoluble vitamins. *J Control Release*. 2010; 146 (3): 276–90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2010.01.037>
10. Zhu H., Mettu S., Cavalieri F., Ashokkumar M. Ultrasonic microencapsulation of oil-soluble vitamins by hen egg white and green tea for fortification of food. *Food Chem*. 2021; 353: 129432. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129432>
11. Barra P.A., Márquez K., Gil-Castell O., Mujica J., Ribes-Greus A., Faccini M. Spray-drying performance and thermal stability of L-ascorbic acid microencapsulated with sodium alginate and gum Arabic. *Molecules*. 2019; 24 (16): 2872. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24162872>
12. Aman Mohammadi M., Farshi P., Ahmadi P., Ahmadi A., Yousefi M., Ghorbani M., et al. Encapsulation of vitamins using nanoliposome: recent advances and perspectives. *Adv Pharm Bull*. 2023; 13 (1): 48–68. DOI: <https://doi.org/10.34172/apb.2023.005>
13. Romano E., Palladino R., Cannavale M., Lamparelli E.P., Maglione B. Enhanced stability of oral vitamin C delivery: a novel large-scale method for liposomes production and encapsulation through dynamic high-pressure microfluidization. *Nanomaterials* (Basel). 2024; 14 (6): 516. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano14060516>
14. Ko J., Yoo C., Xing D., Gonzalez D.E., Jenkins V., Dickerson B., et al. Pharmacokinetic analyses of liposomal and non-liposomal multivitamin/mineral formulations. *Nutrients*. 2023; 15 (13): 3073. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15133073>
15. Nsairat H., Khater D., Sayed U., Odeh F., Al Bawab A., Alshaer W. Liposomes: structure, composition, types, and clinical applications. *Heliyon*. 2022; 8 (5): e09394. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09394>
16. Ajeeshkumar K.K., Aneesh P.A., Raju N., Suseela M., Ravishankar C.N., Benjakul S. Advancements in liposome technology: preparation techniques and applications in food, functional foods, and bioactive delivery: a review. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2021; 20 (2): 1280–306. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12725>
17. Toniazzo T., Berbel I.F., Cho S., Fávoro-Trindade C.S., Moraes I.C., Pinho S.C. β -carotene-loaded liposome dispersions stabilized with xanthan and guar gums: physico-chemical stability and feasibility of application in yogurt. *LWT Food Sci Technol*. 2014; 59 (2): 1265–73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.021>
18. Chen J., Dehabadi L., Ma Y.C., Wilson L.D. Development of novel lipid-based formulations for water-soluble vitamin C versus fat-soluble vitamin D3. *Bioengineering* (Basel). 2022; 9 (12): 819. DOI: <https://doi.org/10.3390/bioengineering9120819>
19. Mohammadi M., Ghanbarzadeh B., Hamishehkar H. Formulation of nanoliposomal vitamin D3 for potential application in beverage fortification. *Adv Pharm Bull*. 2014; 4: 569–75.
20. Maurya V.K., Shakya A., Aggarwal M., Gothandam K.M., Bohn T., Pareek S. Fate of β -carotene within loaded delivery systems in food: state of knowledge. *Antioxidants* (Basel). 2021; 10 (3): 426. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox10030426>
21. Zarrah A., Alipoor Amro Abadi M., Khorasani S., Mohammadabadi M.R., Jamshidi A., Torkaman S., et al. Nanoliposomes and tocopherols as multifunctional nanocarriers for the encapsulation of nutraceutical and dietary molecules. *Molecules*. 2020; 25 (3): 638. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25030638>
22. Chaves M.A., Ferreira L.S., Baldino L., Pinho S.C., Reverchon E. Current applications of liposomes for the delivery of vitamins: a systematic review. *Nanomaterials* (Basel). 2023; 13 (9): 1557. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano13091557>
23. Hernández-Caselles T., Villalain J., Gómez-Fernández J.C. Stability of liposomes on long term storage. *J Pharm Pharmacol*. 1990; 42 (6): 397–400. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1990.tb06578.x>
24. Jiao Z., Wang X., Yin Y., Xia J. Preparation and evaluation of vitamin C and folic acid-co-loaded antioxidant liposomes. *Particul Sci Technol*. 2018; 3: 453–9. DOI: <https://doi.org/10.1080/02726351.2017.1391907>
25. Liu X., Wang P., Zou Y.X., Luo Z.G., Tamer T.M. Co-encapsulation of vitamin C and β -carotene in liposomes: storage stability, antioxidant activity, and in vitro gastrointestinal digestion. *Food Res Int*. 2020; 136: 109587. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109587>
26. Padilla C.E., Villanueva F.J.E. Encapsulation of food active ingredients in liposomes. *J Nutr Health Food Eng*. 2018; 8: 238–9. DOI: <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00276>
27. Li T., Yang S., Liu W., Liu C., Liu W., Zheng H., et al. Preparation and characterization of nanoscale complex liposomes containing medium-chain fatty acids and vitamin C. *Int J Food Prop*. 2015; 18 (1): 113–24. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2012.685683>
28. Xu T., Zhang J., Jin R., Cheng R., Wang X., Yuan C., et al. Physico-chemical properties, antioxidant activities and in vitro sustained release behaviour of co-encapsulated liposomes as vehicle for vitamin E and β -carotene. *J Sci Food Agric*. 2022; 102 (13): 5759–67. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.11925>
29. Banville C., Vuilleumard J.C., Lacroix C. Comparison of different methods for fortifying Cheddar cheese with vitamin D. *Int Dairy J*. 2000; 10: 375–82. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(00\)00054-6](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(00)00054-6)
30. Yang P., Wang H., Zhu M., Ma Y. Evaluation of extrusion temperatures, pelleting parameters, and vitamin forms on vitamin stability in feed. *Animals* (Basel). 2020; 10 (5): 894. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10050894>
31. Sonar C.R., Parhi A., Liu F., Patel J., Rasco B., Tang J., et al. Investigating thermal and storage stability of vitamins in pasteurized mashed potatoes packed in barrier packaging films. *Food Packag Shelf Life*. 2020; 24: 100486. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100486>
32. Dałek P., Drabik D., Wołczańska H., Foryś A., Jagas M., Jędruchiewicz N., et al. Bioavailability by design – vitamin D3 liposomal delivery vehicles. *Nanomedicine*. 2022; 43: 102552. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nano.2022.102552>
33. Joseph A., Kumar D., Balakrishnan A., Shanmughan P., Maliakel B., Im K. Surface-engineered liposomal particles of calcium ascorbate with fengreek galactomannan enhanced the oral bioavailability of ascorbic acid: a randomized, double-blinded, 3-sequence, crossover study. *RSC Adv*. 2021; 11: 38 161–71. DOI: <https://doi.org/10.1039/D1RA06483E>
34. Gopi S., Balakrishnan P. Evaluation and clinical comparison studies on liposomal and non-liposomal ascorbic acid (vitamin C) and their enhanced bioavailability. *J Liposome Res*. 2020; 31 (4): 356–64. DOI: <https://doi.org/10.1080/08982104.2020.1820521>
35. Kodentsova V.M., Risnik D.V., Sharafetdinov Kh.Kh. Bioavailability and effectiveness of vitamin-mineral supplements. *Mikroelementy v meditsine* [Trace Elements in Medicine]. 2024; 25 (1): 3–15. DOI: <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2024-25-1-3-15> (in Russian)
36. Zhukovskaya E.V., Anisimov V.N., Sidorenko L.V. Efficacy and safety of liposomal form of iron in the treatment of iron deficiency anemia in young children *Pediatricskiy vestnik Yuzhnogo Urala* [Pediatric Bulletin of the Southern Urals]. 2017; (2): 48–55. (in Russian)
37. Gromova O.A., Torshin I.Yu., Khadzhidis A.K. Analysis of the molecular mechanisms of the effect of iron (II), copper, manganese in the pathogenesis of iron deficiency anemia. *Klinicheskaya farmakologiya i farmakonomika* [Clinical Pharmacology and Pharmacoeconomics]. 2010; (1): 1–9. (in Russian)
38. Nurbaeva T.Yu., Isenova S.Sh., Kazybaeva A.S., Saduakasova Sh.M. Modern strategies for the correction of iron deficiency in women of reproductive age. *Farmatsiya Kazakhstana*. [Pharmacy of Kazakhstan]. 2024; (1): 107–14. DOI: <https://doi.org/10.53511/pharmkaz.2024.60.40.0> (in Russian)
39. Vyalov S.S. Efficacy and safety of liposomal iron in the treatment for anemia after gastric or intestine resection. *Klinicheskaya farmakologiya i terapiya* [Clinical Pharmacology and Therapy]. 2016; 25 (4): 42–6. (in Russian)
40. Cesarano D., Borrelli S., Campilongo G., D'Ambra A., Papadia F., Garofalo C., et al. Efficacy and safety of oral supplementation with liposomal iron in non-dialysis chronic kidney disease patients with iron deficiency. *Nutrients*. 2024; 16 (9): 1255. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16091255>
41. Tosyalı M., Demirçelik Y., Bağ Ö., Karaarslan U., Gökçe Ş., Koç F. Use of different iron preparations for prophylaxis and effects on iron status in infancy. *Healthcare* (Basel). 2024; 12 (10): 1043. DOI: <https://doi.org/10.3390/healthcare12101043>
42. Bengelloun Zahr S., Allata Y., El Mansoury M., Chouhani B.A., Kabbali N., El Bardai G., et al. Oral liposomal iron versus injectable iron

- sucrose for anemia treatment in non-dialysis chronic kidney disease patients: a non-inferiority study. *Cureus*. 2024; 16 (9): e70114. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.70114>
43. Nowak J.K., Sobkowiak P., Drzymała-Czyż S., Krzyżanowska-Jankowska P., Sapiejka E., Skorupa W., et al. Fat-soluble vitamin supplementation using liposomes, cyclodextrins, or medium-chain triglycerides in cystic fibrosis: a randomized controlled trial. *Nutrients*. 2021; 13 (12): 4554. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13124554>
44. Tan Y., McClements D.J. Improving the bioavailability of oil-soluble vitamins by optimizing food matrix effects: a review. *Food Chem*. 2021; 348: 129148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129148>
45. Iddir M., Vahid F., Merten D., Larondelle Y., Bohn T. Influence of proteins on the absorption of lipophilic vitamins, carotenoids and curcumin – a review. *Mol Nutr Food Res*. 2022; 66 (13): e2200076. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.202200076>
46. Kruger J., Sus N., Moser A., Scholz S., Adler G., Venturelli S., et al. Low β -carotene bioaccessibility and bioavailability from high fat, dairy-based meal. *Eur J Nutr*. 2024; 63 (6): 2261–70. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00394-024-03423-w>
47. Li X., Zhang H., Mao X. Liposomes delivery systems of functional substances for precision nutrition. *Adv Food Nutr Res*. 2024; 112: 257–300. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2024.06.010>
48. Wang S., Chen Y., Guo J., Huang Q. Liposomes for tumor targeted therapy: a review. *Int J Mol Sci*. 2023; 24 (3): 2643. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms24032643>
49. Gregory J.F. 3rd. Accounting for differences in the bioactivity and bioavailability of vitamins. *Food Nutr Res*. 2012; 56: 5809. DOI: <https://doi.org/10.3402/fnr.v56i0.5809>
50. Li Y., Jiang H., Huang G. Protein hydrolysates as promoters of non-haem iron absorption. *Nutrients*. 2017; 9 (6): 609. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu9060609>
51. Kodentsova V.M., Risnik D.V., Bessonov V.V. Iron compounds for food fortification: comparative analysis of efficiency. *Mikroelementy v medicine [Trace Elements in Medicine]*. 2023; 24 (1): 10–9. DOI: <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2023-24-1-10-19> (in Russian)
52. Bychkov A., Reshetnikova P., Bychkova E., Podgorbunskikh E., Kop-tev V. The current state and future trends of space nutrition from a perspective of astronauts' physiology. *Int J Gastronomy Food Sci*. 2021; 24: 100324. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100324>

Для корреспонденции

Махди Сара Салах – ассистент преподавателя Фармацевтического колледжа Университета Аль-Мустансирия
 Адрес: 10022, Ирак, г. Багдад, Аль-Газалия, д. 8 (пер. 12/667)
 Телефон: 772-772-70-06
 E-mail: ph.sarasalah@uomustansiriyah.edu.iq
<https://orcid.org/0009-0005-0629-602X>

For correspondence

Sara Salah Mahdi – Assistant Lecturer of the College of Pharmacy, Al-Mustansiriya University
 10022, Iraq, Baghdad, Al-Ghazaliya, Home 8 (Lane 12/667)
 Phone: 772-772-70-06
 E-mail: ph.sarasalah@uomustansiriyah.edu.iq
<https://orcid.org/0009-0005-0629-602X>

Махди С.С.¹, Абдулгани Х.С.², Шахид Х.С.³

Взаимосвязь между утренним приемом пищи (завтраком) и инсулинорезистентностью у группы практически здоровых иракцев

The relationship between eating in the morning (breakfast) and insulin resistance in a group of the Iraqi population

Mahdi S.S.¹, Abdulghani H.S.², Shaheed H.S.³

¹ Фармацевтический колледж, Университет Аль-Мустансирия, 10022, г. Багдад, Ирак

² Кафедра нефтяной инженерии, Инженерный колледж, Багдадский университет, 10022, г. Багдад, Ирак

³ Фармацевтический колледж, Университет Ашура, 10022, г. Багдад, Ирак

¹ College of Pharmacy, AL-Mustansiriya University, 10022, Baghdad, Iraq

² Department of Petroleum Engineering, College of Engineering, University of Baghdad, 10022, Baghdad, Iraq

³ College of Pharmacy, Ashur University, 10022, Baghdad, Iraq

Клетки человека в основном используют глюкозу в качестве источника энергии, и ее усвоение клетками в значительной степени зависит от инсулина. Таким образом, инсулиновая сигнализация имеет решающее значение для гомеостаза глюкозы в инсулиночувствительных тканях. Нарушение различных молекулярных путей может привести к снижению чувствительности к инсулину, к инсулинорезистентности (ИР).

Цель исследования – оценить влияние наличия или отсутствия завтрака на показатели ИР, независимо от состава потребляемой пищи.

Материал и методы. Исследование проведено с участием 40 практически здоровых иракских добровольцев (как женщин, так и мужчин) в возрасте от 20 до 50 лет с индексом массы тела (ИМТ) от 21 до 35 кг/м², которые были разделены на 2 группы. Участники 1-й группы (n=20) завтракали ежедневно, а представители 2-й группы (n=20) пропускали утренний прием пищи. Были измерены антропометрические параметры и биохимические показатели

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования, сбор данных – все авторы; обработка данных – Махди С.С.; написание текста; редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Махди С.С., Абдулгани Х.С., Шахид Х.С. Взаимосвязь между утренним приемом пищи (завтраком) и инсулинорезистентностью у группы практически здоровых иракцев // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 4. С. 51–55. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-51-55> (англ.)

Статья поступила в редакцию 09.05.2025. **Принята в печать** 10.07.2025.

Funding. The study was not sponsored.

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

Contribution. Concept and design of the study, data collection – all authors; data processing – Sara Salah Mahdi; writing the text, editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Mahdi S.S., Abdulghani H.S., Shaheed H.S. The relationship between eating in the morning (breakfast) and insulin resistance in a group of the Iraqi population. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (4): 51–5. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-51-55>

Received 09.05.2025. **Accepted** 10.07.2025.

(уровень глюкозы натощак и уровень инсулина в сыворотке крови), рассчитан индекс инсулинорезистентности (HOMA-IR).

Результаты. Уровень глюкозы в крови натощак ($85,6 \pm 4,4$ мг/дл), концентрация инсулина в сыворотке крови ($5,61 \pm 1,69$ МЕ/мл) и индекс HOMA-IR ($1,18 \pm 0,37$) лиц, завтракающих утром, оказались значительно ниже ($p < 0,01$) по сравнению с показателями лиц, пропускающих завтрак ($97,8 \pm 8,4$ мг/дл, $14,20 \pm 2,82$ МЕ/мл и $3,46 \pm 0,83$, соответственно). Кроме того, ИМТ был достоверно выше ($p < 0,01$) у лиц, пропускающих завтрак ($33,4 \pm 4,3$ против $23,1 \pm 3,4$ кг/м²).

Заключение. Исследование подтверждает гипотезу о том, что употребление завтрака связано с более низкой ИР. Однако нерандомизированная выборка и значительные различия в ИМТ между группами ограничивают возможность выделения завтрака как независимого фактора. Для подтверждения этих ассоциаций и выяснения причинно-следственной связи необходимы дальнейшие исследования с подобранными когортами или рандомизированные контролируемые исследования. Тем не менее полученные результаты подтверждают потенциальные метаболические риски нерегулярного питания и важность информации в сфере общественного здравоохранения, пропагандирующей регулярное сбалансированное питание.

Ключевые слова: инсулинорезистентность; сывороточный инсулин; уровень глюкозы в крови натощак; HOMA-IR; антропометрические параметры

Human cells primarily utilize glucose as an energy source, and its uptake into cells is largely dependent on insulin. Therefore, insulin signaling is crucial for glucose homeostasis in insulin-sensitive tissues. Disruption of various molecular pathways can lead to a decrease in insulin sensitivity, a condition known as insulin resistance (IR).

Aims. In this study, we focus on IR and examine how its markers respond to the presence or absence of breakfast intake, regardless of the nutritional composition of the meals consumed.

Material and methods. The study was performed on 40 healthy Iraqi participants (both females and males) aged range (20–50 years with) a BMI of $21\text{--}35$ kg/m² recruited into this study and divided into two groups, the first group (20 participants) took normal breakfast, the second one that skips the meal. Anthropometric parameters and biochemical parameters (fasting glucose level, and serum insulin level) were measured, Index of insulin resistance (HOMA-IR) was determined.

Results. We found that levels of fasting blood glucose (85.6 ± 4.4 mg/dl), serum insulin (5.61 ± 1.69 IU/mL), and HOMA-IR (1.18 ± 0.37) of persons who eat in the morning showed a highly significant decrease ($p < 0.01$) in comparison to the breakfast skippers (97.8 ± 8.4 mg/dl, 14.20 ± 2.82 IU/mL and 3.46 ± 0.83 , respectively). Also the BMI was reliably higher ($p < 0.01$) among the breakfast skipping group (33.4 ± 4.3 vs 23.1 ± 3.4 kg/m²).

Conclusion. The study supports the hypothesis that breakfast eating is associated with lower insulin resistance. However, the non-randomized sampling and the significant BMI differences between groups limit the ability to isolate breakfast as an independent factor. Further studies with matched cohorts or randomized controlled designs are needed to confirm these associations and to clarify causality. Nonetheless, the findings reinforce the potential metabolic risks of irregular eating patterns and support public health messaging promoting regular, balanced meals.

Keywords: insulin resistance; serum insulin; fasting blood sugar; HOMA-IR; anthropometric parameters

Human cells utilize glucose as the primary substrate, and cellular uptake requires insulin. Insulin signaling is therefore so important for these tissues. Any decrease in insulin sensitivity due to the disruption of various molecular pathways causes insulin resistance [1]. Insulin resistance is identified as the disruption of the target tissues' or cells' function under insulin stimulation [2]. All tissues with insulin receptors have ability to show this resistance, however the liver, skeletal muscles, and adipose tissues are the main tissues that drive insulin resistance. It lead to glucose disposal, causing in a compensatory raise in the rate of hyperinsulinemia and production of β -cell insulin [3]. Some authors mentioned that hyperinsulinemia preceded insulin resis-

tance. They suggested that hyperinsulinemia due to excessing calorie intake provoke metabolic dysfunction related to insulin resistance. These include hyperglycemia, dyslipidemia, hypertension, raised inflammatory markers, hyperuricemia, endothelial dysfunction, and a prothrombotic state. Insulin resistance progression can drive to metabolic syndromes, type 2 diabetes mellitus, non-alcoholic fatty liver disease [4–6]. Although the etiology of insulin resistance can be acquired, hereditary, or mixed, most individuals have its acquired causes [7].

Breakfast is often referred to as the most important meal of the day and in recent years has been implicated in weight control, cardio-metabolic risk factors, and cognitive perfor-

Table 1. Comparison of mean age and body mass index (BMI) between breakfast eaters and skippers ($M \pm \sigma$)

Таблица 1. Сравнение среднего возраста и индекса массы тела (ИМТ) среди завтракающих и тех, кто его пропускает ($M \pm \sigma$)

Variable Показатель	Group 1 (breakfast eaters) Группа 1 (завтракающие)	Group 2 (breakfast skippers) Группа 2 (пропускающие завтрак)
Sample size (n) / Размер выборки (n)	20	20
Age, years / Возраст, годы	32.4±6.1	33.1±5.8
BMI, kg/m ² / ИМТ, кг/м ²	23.1±3.4	33.4±4.3*

* – significant differences ($p < 0.001$).

* – различия значимы ($p < 0.001$).

mance [8]. Eating breakfast is a healthy dietary habit that should be encouraged since childhood. The consumption of dairy products, cereals, and fruits at breakfast is associated with healthier dietary patterns, with a beneficial impact on the overall quality of the diet [9].

The main **aim** of the study was to examine the association between breakfast eaters' habits versus breakfast skippers and insulin resistance, regardless of dietary composition. Through this investigation, we seek to contribute to the scientific understanding of how breakfast behaviors may influence metabolic health and highlight the importance of regular breakfast eating. Finally, the overall goal was to support public health efforts by raising awareness within the community about the potential risks associated with breakfast skipping and its link to insulin resistance.

Material and methods

The cross-sectional study was performed on 40 healthy Iraqi participants (both females and males) aged range (20–50 years), with a body mass index (BMI) of 21–35 kg/m² recruited into this study, divided into two groups, the first group (20 participants) that take normal breakfast, the second one that skips the meal. Subjects with the following conditions were excluded from the study: Diabetic Patients (type 1 and type 2), who had acute or chronic inflammatory or infective diseases.

Participants were recruited through voluntary enrollment in response to advertisements posted at a local university and a community health center. All participants provided written informed consent before participation.

Based on their self-reported breakfast habits, participants were divided into two equal groups:

- Breakfast eaters ($n=20$): individuals who regularly consumed breakfast (≥ 5 days per week).
- Breakfast skippers ($n=20$): individuals who habitually skipped breakfast (≤ 2 days per week).

Participants with a history of diabetes, or any acute or chronic illness, were not included into the study.

It was important to note that the selection process was non-random, and no matching was performed between groups based on BMI, age, or sex. This lack of matching is acknowledged as a limitation of the study.

Laboratory measurements

Blood samples were collected after a 12-hour fasting. The serum was separated and frozen at -20 °C until analysis. Fasting blood glucose (FBG) was measured using the Abbott ARCHITECT plus c4000 device. The serum insulin level was assayed using an immune radiometric method (Demeditec/Germany). The insulin sensitivity was determined using the Homeostasis Model Assessment Index of insulin resistance (HOMA-IR) according to the following formula:

$$\text{HOMA-IR} = \text{fasting insulin } (\mu\text{U/ml}) \times \text{fasting glucose concentration (mmol/l)} / 22.5 [10].$$

Statistical analysis was conducted using SPSS software version 26 (IBM, USA). The normality of data distribution for each variable was assessed using the Shapiro–Wilk test due to the small sample size.

- For variables that followed a normal distribution, comparisons between the two groups (breakfast consumers vs. skippers) were performed using the independent samples t-test.
- For non-normally distributed variables, the Mann–Whitney U test was used.

Correlation analysis was performed using Spearman's rank correlation coefficient to assess the association between FBG, serum insulin levels, and BMI. A p -value < 0.05 was considered statistically significant.

Results

The results presented in this article are based on the analysis of 40 healthy participants (both male and female) aged between 20–50 years divided into two main groups depending on breakfast skipping in the morning as shown in table 1. The BMI was significantly ($p < 0.01$) higher in the Breakfast eaters (table 1).

The result presented in (table 2) indicates highly significant ($p < 0.01$) differences in FBG, Insulin, and HOMA-IR between the studied groups. All these parameters of the persons eating in the morning were reliably lower in comparison to the breakfast skippers.

As shown in figure FBG showed a significant ($p < 0.05$) positive correlation with insulin level, BMI, and HOMA-IR in those from the breakfast skipper group.

Table 2. Carbohydrate metabolism indicators in the examined subjects ($M \pm \sigma$)**Таблица 2.** Показатели углеводного обмена у обследованных ($M \pm \sigma$)

Variable Показатель	Group 1 (breakfast eaters) Группа 1 (завтракающие) (n=20)	Group 2 (breakfast skippers) Группа 2 (пропускающие завтрак) (n=20)	p
Fasting blood glucose, mg/dl / Глюкоза в плазме крови натощак, мг/дл	85.6 $\pm$ 4.4	97.8 $\pm$ 8.4	0.0001
Serum insulin, IU/mL / Инсулин в сыворотке крови, МЕ/мл	5.61 $\pm$ 1.69	14.20 $\pm$ 2.82	0.0001
HOMA-IR	1.18 $\pm$ 0.37	3.46 $\pm$ 0.83	0.0001

Discussion

We observed an improved body weight regulation among individuals who consumed breakfast regularly, suggesting a potential beneficial role of morning food intake in weight management. Presently, some Iraqi people skip breakfast due to influencers on social media, who say breakfast that causes weight gain.

The effect of breakfast skippers on health, especially in adults, remains a controversial topic. An analysis of the data was conducted to examine associations between breakfast eating patterns and weight loss, level of HOMA-IR, and breakfast skippers may reflect dieting patterns in overweight persons who are trying to control their weight [11].

BMI showed a dramatic difference ($p < 0.01$) between persons in those Eating in the Morning and those breakfast skipping group, that reflects the beneficial role of regular breakfast for healthier BMI. Similar finding was observed with J. Wicherski et al., who "showed significant differences of BMI between studied groups" [12].

The level of serum FBG, Insulin, and HOMA-IR in persons who ate at morning indicated a better carbohydrate metabolism ($p < 0.01$) in comparison to breakfast skippers, a similar finding was observed with H.S. Kim et al., who showed that breakfast has positive effects on fasting insulin levels and HOMA-IR in Korean adolescents who were breakfast skippers [13], likewise M.D. Salas-González, et al, who conclude: «A higher-quality breakfast was associated with better overall diet quality and a lower risk of insulin resistance» [14]. Unlike D. Duan et al., a study that suggested that the addition of breakfast might not be a good strategy for weight loss, regardless of established breakfast habits [15]. Moreover, recent meta-analyses and randomized controlled trials have suggested that regular breakfast eaters may improve appetite regulation, reduce snacking, and enhance energy metabolism, thereby contributing to better weight management [16]. Other studies have highlighted the important role of breakfast in regulating glucose metabolism and improving insulin sensitivity, which supports our findings of the metabolic benefits of regular breakfast eaters [17].

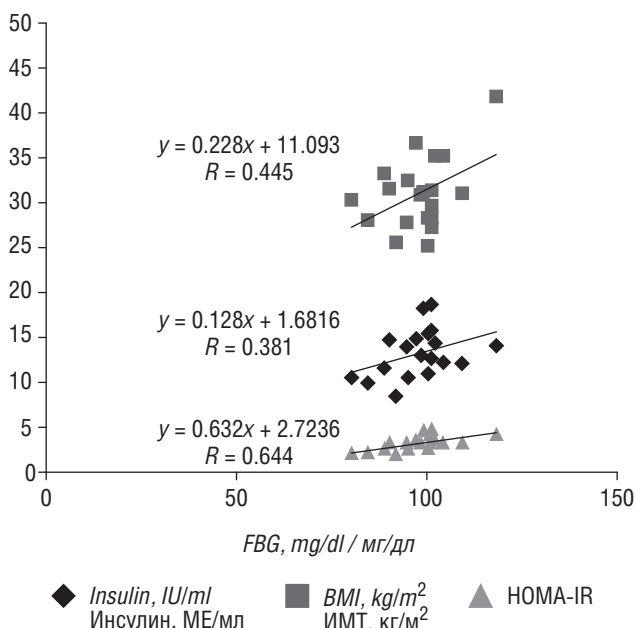
Study limitations

- Non-randomized sampling may have introduced selection bias.
- The dietary composition of breakfast was not assessed.
- Small sample size limits generalizability and statistical power.

Future studies should use matched cohorts or randomized controlled designs, and include dietary records to strengthen causal interpretations.

Conclusion

The study supports the hypothesis that breakfast eaters is associated with lower markers of insulin resistance and better glucose metabolism. However, the use of non-randomized sampling and the presence of significant BMI differences between groups limit the ability to attribute these effects solely to diet habits. To confirm these associations and clarify causality, future research should employ matched cohorts or randomized controlled trial designs. Nonetheless, the findings highlight the potential metabolic risks associated with irregular eating patterns and support public health messages that encourage regular, balanced meals.



Pearson correlation analysis between fasting blood glucose (FBG) and serum insulin and body mass index (BMI) in participants who skipped breakfast

Корреляционный анализ (Пирсона) между уровнем глюкозы в крови натощак (FBG) и уровнем инсулина в сыворотке крови, а также индексом массы тела (ИМТ) у участников, пропускающих завтрак

Сведения об авторах

Махди Сара Салах (Sara Salah Mahdi) – ассистент преподавателя Фармацевтического колледжа Университета Аль-Мустансирия (Багдад, Ирак)

E-mail: ph.sarasalah@uomustansiriyah.edu.iq

<https://orcid.org/0009-0005-0629-602X>

Абдулгани Худа С. (Huda S. Abdulghani) – ассистент преподавателя кафедры нефтяной инженерии Инженерного колледжа Багдадского университета (Багдад, Ирак)

E-mail: Huda.s@coeng.uobaghdad.edu.iq

<https://orcid.org/0009-0001-9627-4748>

Ханин Субхи Шахид (Haneen Subhee Shaheed) – Ph.D. по клинической химии, преподаватель (фармацевтика) Фармацевтического колледжа Университета Ашура (Багдад, Ирак)

E-mail: ph.haneen2014@gmail.com, haneen.subhee@au.edu.iq

<https://orcid.org/0009-0002-2868-0637>

About the authors

Sara Salah Mahdi – Assistant Lecturer of the College of Pharmacy, Al-Mustansiriya University (Baghdad, Iraq)

E-mail: ph.sarasalah@uomustansiriyah.edu.iq

<https://orcid.org/0009-0005-0629-602X>

Huda S. Abdulghani – Assistant Lecturer of the Department of Petroleum Engineering at the College of Engineering, University of Baghdad (Baghdad, Iraq)

E-mail: Huda.s@coeng.uobaghdad.edu.iq

<https://orcid.org/0009-0001-9627-4748>

Haneen Subhee Shaheed – Ph.D. in clinical chemistry, Lecturer (Pharmacy) at the College of Pharmacy, Ashur University (Baghdad, Iraq)

E-mail: ph.haneen2014@gmail.com; haneen.subhee@au.edu.iq

<https://orcid.org/0009-0002-2868-0637>

Литература/References

- Yaribeygi H., Maleki M., Butler A.E., Jamialahmadi T., Sahebkar A. Molecular mechanisms linking stress and insulin resistance. *EXCLI J.* 2022; 21: 317–34. DOI: <https://doi.org/10.17179/excli2021-4382>
- Wujie Y.E., Jingyu X., Zekai Y.U., Xingang H.U., Yan Z. Systematic review and Meta-analysis of acupuncture and acupoint catgut embedding for the treatment of abdominal obesity. *J Tradit Chin Med.* 2022; 42 (6): 848–57. DOI: <https://doi.org/10.19852/j.cnki.jtcm.2022.06.002>
- Safari F., Nabavizadeh A., Vardanjani H.M. The association between thyroid function and insulin resistance as measured by the metabolic score for insulin resistance (METS-IR): insights from NHANES 2007-2012. *BMC Endocr Disord.* 2024; 24 (1): 267. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12902-024-01779-y>
- Aleman M. The metabolic syndrome, a human disease. *Int J Mol Sci.* 2024; 25 (4): 2251. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms25042251>
- Deacon C.F. Physiology and pharmacology of DPP-4 in glucose homeostasis and the treatment of type 2 diabetes. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2019; 10: 80. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00080>
- Thomas D.D., Corkey B.E., Istfan N.W., Apovian C.M. Hyperinsulinemia: an early indicator of metabolic dysfunction. *J Endocr Soc.* 2019; 3 (9): 1727–47. DOI: <https://doi.org/10.1210/js.2019-00065>
- Esteves J.V., Stanford K.I. Exercise as a tool to mitigate metabolic disease. *Am J Physiol Cell Physiol.* 2024; 327 (3): C587–98. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00144.2024>
- Gibney M.J., Barr S.I., Bellisle F., Drewnowski A., Fagt S., Livingstone B., et al. Breakfast in Human nutrition: the International Breakfast Research Initiative. *Nutrients.* 2018; 10 (5): 559. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10050559>
- Moreno-Aznar L.A., Vidal Carou M.D.C., López Sobaler A.M., Varela-Moreiras G., Moreno Villares J.M. Papel del desayuno y su calidad en la salud de los niños y adolescentes en España [Role of breakfast and its quality in the health of children and adolescents in Spain]. *Nutr Hosp.* 2021; 38 (2): 396–409. DOI: <https://doi.org/10.20960/nh.03398> (in Spanish)
- Nguyen M.L.T., Bui K.C., Ngo T.H., Nguyen T.S., Nham P.L.T., Pham C., et al. Early impaired insulin tolerance among Vietnamese diabetes with or without dyslipidemia. *Medicine (Baltimore).* 2024; 103 (44): e40212. DOI: <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000040212>
- Matsumoto M., Saito A., Okada C., Okada E., Tajima R., Takimoto H. Consumption of meals prepared away from home is associated with inadequacy of dietary fiber, vitamin C and mineral intake among Japanese adults: analysis from the 2015 National Health and Nutrition Survey. *Nutr J.* 2021; 20 (1): 40. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12937-021-00693-6>
- Wicherski J., Schlesinger S., Fischer F. Association between breakfast skipping and body weight – a systematic review and meta-analysis of observational longitudinal studies. *Nutrients.* 2021; 13 (1): 272. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13010272>
- Kim H.S., Jung S.J., Jang S., Kim M.J., Cha Y.S. Rice-based breakfast improves fasting glucose and HOMA-IR in Korean adolescents who skip breakfast, but breakfast skipping increases aromatic amino acids associated with diabetes prediction in Korean adolescents who skip breakfast: a randomized, parallel-group, controlled trial. *Nutr Res Pract.* 2022; 16 (4): 450–63. DOI: <https://doi.org/10.4162/nrp.2022.16.4.450>
- Salas-González M.D., Lozano-Estevan M.D.C., Aparicio A., Bermejo L.M., Loria-Kohen V., Ortega R.M., et al. Breakfast quality and insulin resistance in Spanish schoolchildren: a cross-sectional study. *Int J Environ Res Public Health.* 2023; 20 (2): 1181. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20021181>
- Duan D., Pilla S.J., Michalski K., Laferrère B., Clark J.M., Maruthur N.M. Eating breakfast is associated with weight loss during an intensive lifestyle intervention for overweight/obesity. *Obesity (Silver Spring).* 2022; 30 (2): 378–88. DOI: <https://doi.org/10.1002/oby.23340>
- Hatanaka M., Hatamoto Y., Tajiri E., Matsumoto N., Tanaka S., Yoshimura E. An earlier first meal timing associates with weight loss effectiveness in a 12-week weight loss support program. *Nutrients.* 2022; 14 (2): 249. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14020249>
- Tricò D., Masoni M.C., Baldi S., Cimbalo N., Sacchetta L., Scozzaro M.T., et al. Early time-restricted carbohydrate consumption vs conventional dieting in type 2 diabetes: a randomised controlled trial. *Diabetologia.* 2024; 67 (2): 263–74. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00125-023-06045-9>

Для корреспонденции

Фролова Анна Сергеевна – научный сотрудник лаборатории биотестирования природных нутрицевтиков ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650000, Российская Федерация, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6

Телефон: (951) 574-56-17

E-mail: frolova.anna.s@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3988-8521>

Фролова А.С., Веснина А.Д., Федорова А.М., Милентьева И.С., Просеков А.Ю., Заушинцева А.В.

Гипогликемическая и гипохолестеринемическая активность *in vivo* полифенолов – востребованных компонентов биологически активных добавок к пище

Hypoglycemic and hypocholesterolemic activities *in vivo* of polyphenols – popular components of dietary supplements

Frolova A.S., Vesnina A.D.,
Fedorova A.M., Milentyeva I.S.,
Prosekov A.Yu., Zaushintsena A.V.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет», 650000, г. Кемерово, Российская Федерация

Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Полифенолы, такие как рутин (RUT), кверцетин (KVC) и транс-коричная кислота (TKR-k), благодаря своей биоактивности являются востребованными компонентами биологически активных добавок к пище и функциональных пищевых продуктов для профилактики метаболических заболеваний. Исследования, посвященные изучению комплексного эффекта смесей данных полифенолов, весьма малочисленны.

*Цель работы заключалась в оценке смесей в различном соотношении RUT, KVC и TKR-k, выделенных из растительных клеток *in vitro*, проявлять гипогликемический и гипохолестеринемический потенциал *in vivo*.*

***Материал и методы.** Объекты исследования – смеси биологически активных веществ (БАВ): смесь № 1 – RUT:KVC:TKR-k в соотношении по массе 1:1:1; смесь № 2 – в соотношении 2:1:1; смесь № 3 – 1:2:1; смесь № 4 – 1:1:2. Для определения гипогликемической активности в качестве модельного организма использовали*

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания (проект FZSR-2024-0008) с использованием оборудования ЦКП «Инструментальные методы анализа в области прикладной биотехнологии» на базе КемГУ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Федорова А.М., Просеков А.Ю.; сбор и обработка данных – Фролова А.С., Милентьева И.С., Заушинцева А.В.; статистическая обработка данных – Веснина А.Д., Федорова А.М.; написание текста – Фролова А.С., Веснина А.Д.; редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Фролова А.С., Веснина А.Д., Федорова А.М., Милентьева И.С., Просеков А.Ю., Заушинцева А.В. Гипогликемическая и гипохолестеринемическая активность *in vivo* полифенолов – востребованных компонентов биологически активных добавок к пище // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 4. С. 56–67. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-56-67>

Статья поступила в редакцию 17.04.2025. **Принята в печать** 15.07.2025.

Funding. The work was carried out by the state task (project FZSR-2024-0008) using the equipment of Center of Collective Use «Instrumental methods of analysis in the field of applied biotechnology» on the basis of KemSU.

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

Contribution. Research concept and design – Fedorova A.M., Prosekov A.Yu.; data collection and processing – Frolova A.S., Milentyeva I.S., Zaushintsena A.V.; statistical data processing – Vesnina A.D., Fedorova A.M.; writing the text – Frolova A.S., Vesnina A.D.; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Frolova A.S., Vesnina A.D., Fedorova A.M., Milentyeva I.S., Prosekov A.Yu., Zaushintsena A.V. Hypoglycemic and hypocholesterolemic activities *in vivo* of polyphenols – popular components of dietary supplements. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (4): 56–67. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-56-67> (in Russian)

Received 17.04.2025. **Accepted** 15.07.2025.

крыс Wistar с массой тела 250 ± 15 г, которым после 12-часового голодания перорально вводили смесь БАВ (100 мг на 1 кг массы тела), а затем через 1 ч вводили глюкозу в дозе 2000 мг/кг. После этого, спустя 30 мин; 1, 1,5; 2; 4 и 6 ч оценивали уровень глюкозы и общего холестерина (ОХС) в плазме крови. Для определения гипохолестеринемической активности использовали мышей C57Bl/6, которым ежедневно в течение 14 дней перорально вводили смеси БАВ (100 мг на 1 кг массы тела) и с помощью полоксамера P407 (3 раза в неделю внутривентриально в дозе 400 мг/кг) создавали гипохолестеринемия. По окончании эксперимента оценивали уровень глюкозы, ОХС, липопротеинов низкой плотности и триглицеридов. **Результаты.** В эксперименте по гипогликемической нагрузке введение смеси № 3 снижало уровень глюкозы в крови ($p < 0,05$). В эксперименте по гипохолестеринемической нагрузке все смеси БАВ снижали уровень глюкозы в крови ($p < 0,10$). Смесь № 4 вызывала достоверное снижение уровня ОХС (ниже в 2,0 раза в сравнении с контролем, $p < 0,01$) и липопротеинов низкой плотности (ниже в 1,72 раза, $p < 0,10$).

Заключение. Закономерность между соотношением БАВ в смесях и их биоактивностью не была установлена. По данным экспериментов *in vivo* для нормализации уровня глюкозы целесообразно применять смесь № 3, для нормализации уровня холестерина и глюкозы – смесь № 4.

Ключевые слова: крысы; мыши; полифенолы; биологически активные вещества; биологически активные добавки; метаболический синдром; *in vivo*, гипогликемия; гипохолестеринемия

Polyphenols such as rutin (RUT), quercetin (KVC) and trans-cinnamic acid (TKR-k) are sought-after components of dietary supplements and functional foods for the prevention of metabolic diseases due to their bioactivity. Studies devoted to the evaluation of the complex effect of mixtures of these polyphenols are very few.

The aim of this research was to evaluate mixtures consisting of different amounts of RUT, KVC and TKR-k isolated from plant cells *in vitro*, to exhibit hypoglycemic and hypocholesterolemic potential *in vivo*.

Material and methods. The objects of the study were mixtures of bioactive compounds (mixture No. 1 – RUT : KVC : TKR-k in a weight ratio of 1:1:1; mixture No. 2 – in a weight ratio of 2:1:1; mixture No. 3 – in a weight ratio of 1:2:1; mixture No. 4 – in a weight ratio of 1:1:2). To determine hypoglycemic activity, Wistar rats weighing 250 ± 15 g were used as a model organism. After 12 hours of fasting, they were orally administered a mixture of bioactive compounds (100 mg/kg body weight), and then, 1 hour later, they were orally given glucose at a dose of 2000 mg/kg. Then, after 30 min, 1, 1.5, 2, 4 and 6 hours, blood plasma glucose and total cholesterol (TC) levels were estimated. To determine hypocholesterolemic activity, C57Bl/6 mice were used, which were orally administered a mixture of bioactive compounds (100 mg/kg body weight) daily for 14 days, and hypocholesterolemia was created using poloxamer P407 (three times a week intraperitoneally at a dose of 400 mg/kg). At the end of the experiment, blood plasma levels of glucose, TC, low-density lipoproteins (LDL) and triglycerides were estimated.

Results. In the hypoglycemic load experiment, mixture No. 3 reduced blood glucose level ($p < 0.05$). In the hypocholesterolemic load experiment, all mixtures reduced blood glucose levels ($p < 0.10$). Only mixture No. 4 caused a reliable decrease in the level of TC (2 fold lower compared to the control group, $p < 0.01$) and LDL (1.72 times lower compared to the control group, $p < 0.10$).

Conclusion. The relationship between the ratio of bioactive compounds in mixtures and their activity has not been established. According to *in vivo* experiments, it is advisable to use mixture No. 3 to normalize glucose levels, and mixture No. 4 to normalize glucose and cholesterol levels.

Keywords: rats; mice; polyphenols; bioactive compounds; dietary supplements; metabolic syndrome; *in vivo*; hypoglycemia; hypocholesterolemia

В настоящее время метаболический синдром (МС) связывают с преждевременным старением [1, 2]. МС представляет собой кластер из нескольких метаболических и физиологических нарушений, таких как абдоминальное ожирение, высокий уровень глюкозы или резистентность к инсулину, гипертриглицеридемия, низкий уровень холестерина липопротеинов высокой плотности

(ЛПВП), артериальная гипертензия и т.д. [3, 4]. Известно, что для лиц с МС в 5 раз характернее наличие сахарного диабета (СД) 2 типа, в 3 раза – сердечно-сосудистых заболеваний и в 2 раза выше риск смертности в сравнении с лицами, не страдающими МС [5]. МС затрагивает около 25% населения мира, с более высокой частотой встречаемости среди лиц старше 60 лет (около

Таблица 1. Состав исследуемых смесей биологически активных веществ (БАВ)

Table 1. Composition of the studied mixtures of bioactive compounds (BAS)

Смесь, № Mixture No.	Соотношение БАВ по массе в смесях Ratio of BAS by weight in mixtures		
	RUT	KVC	TKR-k
1	1	1	1
2	2	1	1
3	1	2	1
4	1	1	2

Расшифровка аббревиатур дана в тексте.

The abbreviations are explained in the text.

42%) [6, 7]. Изменения ряда биохимических показателей крови, таких как уровень и соотношение холестерина – липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) и ЛПВП, триглицеридов (ТГ), глюкозы и прочих показателей – способствуют риску развития МС [8]. Следовательно, профилактика преждевременного старения частично возможна за счет нормализации липидного и углеводного обмена [5].

Нормализация обмена осуществима за счет здорового питания – сбалансированного рационального питания, включающего адекватное потребление микронутриентов: витаминов, макро- и микроэлементов, флавоноидов и т.д. [9]. Разработка и, соответственно, систематическое употребление функциональных пищевых продуктов (как части концепции функционального питания [10, 11]), биологически активных добавок к пище являются эффективными профилактическими мероприятиями, направленными на поддержание активного долголетия [12]. Несмотря на наличие широкого спектра фармакологических препаратов для коррекции гиперхолестеринемии, их применение часто ограничивается нежелательными побочными эффектами (аллергическими реакциями и т.п.). В связи с этим возрастает интерес к исследованию натуральных продуктов с аналогичным терапевтическим потенциалом [13].

Цель исследования заключалась в оценке смесей, содержащих различное количество рутина (RUT), кверцетина (KVC) и транс-коричной кислоты (TKR-k), выделенных из растительных клеток *in vitro*, проявлять гипогликемический и гипохолестеринемический потенциал *in vivo*.

В рамках проведенного обзора литературы авторами установлено, что нет исследований, в которых рассматривалось комплексное влияние данных биологически активных веществ (БАВ) на способность снижать уровень глюкозы и холестерина *in vivo*. В ранее проведенных авторами исследованиях установлено, что ни KVC,

ни TKR-k в дозах 50 и 100 мкг на 1 кг массы тела не проявляли гипогликемические и гипохолестеринемические свойства *in vivo* [14, 15], в отличие от RUT, влияющего на уровень глюкозы в крови [1]. Полученные результаты в ходе данной работы позволят сделать вывод о наличии или отсутствии синергического эффекта, целесообразности составления и применения биологически активных добавок к пище, состоящих из исследуемых БАВ, для профилактики МС.

Материал и методы

Объектами исследований были смеси БАВ (степень очистки каждого БАВ не менее 95%): RUT, выделенный из каллусов таволги вязолистной (*Filipendula ulmaria*) [16]; KVC, выделенный из каллусов гинкго двлопастного (*Ginkgo biloba*) [17]; TKR-k, выделенная из hairy roots шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis*) [18]. Соотношение БАВ по массе в смесях представлено в табл. 1.

В исследованиях *in vivo* доза вводимых смесей составляла 100 мг на 1 кг массы тела животного [19].

Исследование *in vivo* выполняли на базе виварного комплекса ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). Использование животных в рамках настоящего исследования и условия их содержания во время исследования, соответствующие политике работы с лабораторными животными и нормативным документам, регулирующим работу с лабораторными животными¹ и ГОСТ 33216-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами», одобрены биоэтической комиссией организации.

Определение гипогликемической активности. Использовали 42 клинически здоровых самцов белых крыс линии Wistar с массой тела 250±15 г. Крыс перед началом введения смесей БАВ лишали корма на 12 ч, кроме 1-й группы. За 1 ч до запланированного времени введения смесей проводили предварительную подготовку, в процессе которой каждую крысу взвешивали и индивидуально для ее массы тела подбирали необходимое количество вводимой смеси, чтобы эффективная доза составляла 100 мг на 1 кг массы тела, количество глибенкламида («OZON Фармацевтика», Россия) в эффективной дозе 5 мг/кг и количество глюкозы (ОАО «Фармстандарт-Лексредства», Россия) в эффективной дозе 2000 мг/кг. Каждую навеску объектов исследования, глибенкламида и глюкозы растворяли в 1 мл очищенной воды [20]. Дизайн исследования гипогликемической активности представлен в табл. 2.

Кровь брали из кончика хвоста для протоколирования входных данных об уровне глюкозы и общего холесте-

¹ Статус «Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях» (ETS N 123). URL: <https://docs.cntd.ru/document/901909691>

Таблица 2. Дизайн исследования гипогликемической активности

Table 2. Design of the study of hypoglycemic activity of test substances

Группа Group	Количество животных в группе Number of animals in a group	Углеводная нагрузка (введение глюкозы) Carbohydrate load	Получаемое вещество, доза The resulting substance, dose
1	6	–	–
2	6	+	Вода очищенная / Purified water
3	6	+	Смесь № 1, 100,0 мг/кг
4	6	+	Смесь № 2, 100,0 мг/кг
5	6	+	Смесь № 3, 100,0 мг/кг
6	6	+	Смесь № 4, 100,0 мг/кг
7	6	+	GLB, 5,0 мг/кг

Примечание. GLB – глибенкламид, гипогликемический препарат.

Note. GLB – glibenclamide, a hypoglycemic agent.

рина (ОХС). По этическим соображениям перед проведением процедуры для минимизации боли и дистресса животным давали севофлуран ингаляционно до угнетения сознания.

Через желудочный зонд животным 3–7-й групп вводили испытуемые смеси БАВ, а 2-й группы – очищенную воду. Через 1 ч животным вводили водный раствор глюкозы, после чего спустя 30 мин; 1; 1,5; 2; 4 и 6 ч осуществляли измерения уровней глюкозы и ОХС. Животные 1-й группы были интактными и не получали никаких веществ на протяжении всего исследования.

Измерения глюкозы проводили при помощи глюкометра и тест-полосок Accu-Chek Performa (ООО «Рош Диагностика Рус», Германия), измерения ОХС – при помощи анализатора и тест-полосок EasyTouch (Biopitk Technology, Inc., Китай). Помимо этого, для дальнейшей валидации значений исследовали плазму крови, полученную из отобранной микропробы (50 мкл) крови из подкожной вены центрифугированием при 2000 g в течение 10 мин, на биохимическом анализаторе ChemWell 2910 (Awareness Technology, Inc., США) с использованием реагентов «Глюкоза ДДС» и «Холестерин ДДС» (АО «ДИАКОН-ДС», Россия) [21].

Массу тела животных по истечении эксперимента не оценивали в связи с кратковременностью эксперимента – наблюдения после введения смесей БАВ и углеводной нагрузки продолжались в течение 6 ч.

Определение гипохолестеринемической активности. Использовали 48 клинически здоровых самцов

мышей линии C57Bl/6 массой тела 25 ± 10 г. Каждую навеску индивидуально отмеренных смесей растворяли в очищенной воде, полуксамера Р407 – в физиологическом растворе. Дизайн исследования гипохолестеринемической активности представлен в табл. 3.

Мышам в 3–6-й группах ежедневно в течение 14 дней в объеме 0,5 мл вводили объекты исследования, а мышам во 2-й группе вводили очищенную воду перорально через желудочный зонд. Помимо этого, для моделирования гиперхолестеринемии в течение 14 дней животным во 2–6-й группах также 3 раза в неделю внутрибрюшинно в объеме 0,2 мл вводили раствор ингибитора липопротеинлипазы – полуксамера Р407 (в эффективной дозе 400 мг/кг) [22]. Животные 1-й группы были интактными и не получали никаких веществ на протяжении всего исследования.

По завершению исследований животных наркотизировали ZOLETIL 100 (Virbac, Франция) в дозировке 12 мг на 1 кг массы тела и «Ксила» (Interchemie werken «De Adelaar» B.V., Нидерланды) в дозировке 1 мг на 1 кг массы тела, отбирали кровь из сонной артерии в стерильные пробирки. Измерение глюкозы и прочие биохимические показатели осуществляли по ранее описанной методике.

Статистический анализ проводили в программе GraphPad Prism 8 (GraphPad Software, США). Результаты анализировали с помощью one-way ANOVA с последующими тестами Sidak и Dunnett. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Таблица 3. Дизайн исследования гипохолестеринемической активности

Table 3. Design of the study of hypocholesterolemic activity

Группа Group	Количество животных в группе Number of animals in a group	Моделирование гиперхолестеринемии Modeling hypercholesterolemia	Получаемое вещество, доза The resulting substance, dose
1	8	–	–
2	8	+	Вода очищенная / Purified water
3	8	+	Смесь № 1, 100,0 мг/кг
4	8	+	Смесь № 2, 100,0 мг/кг
5	8	+	Смесь № 3, 100,0 мг/кг
6	8	+	Смесь № 4, 100,0 мг/кг

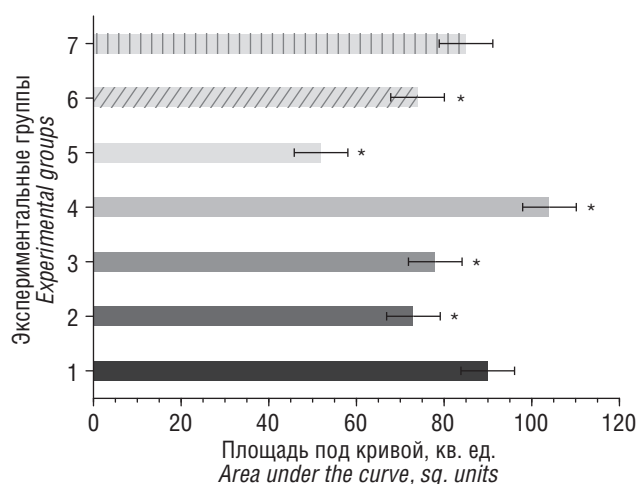


Рис. 1. Площадь под кривой «концентрация глюкозы – время» ($M \pm \sigma$)

* – статистически значимое отличие ($p < 0,01$) от показателя интактных животных.

Fig. 1. Area under the glucose concentration-time curve (mean values $\pm$ standard deviation)

* – statistically significant difference ($p < 0.01$) from the indicator of intact animals.

Результаты

Определение гипогликемической активности

Результаты оценки гипогликемической активности исследуемых смесей БАВ представлены в виде площади под кривой «концентрация глюкозы – время» (рис. 1).

В ходе исследования установлено, что при одновременной углеводной нагрузке у 5-й группы, которой вводили смесь № 3, наблюдалось снижение площади под кривой «концентрация глюкозы – время» относительно контрольной группы, что свидетельствует о способности данной смеси снижать уровень глюкозы в крови. В 4-й группе (смесь № 2) отмечалось парадоксальное повышение уровня глюкозы, которое не может быть объяснено в рамках настоящего исследования и требует дополнительного анализа.

Более подробно изменения концентраций глюкозы в крови в ходе исследования отражены на рис. 2.

Представленные на рис. 2А результаты изменения уровня глюкозы у животных интактной (1-й) группы отражают физиологические колебания уровня глюкозы [15]. На основе контрольной (2-й) группы отслеживалось физиологическое изменение глюкозы (рис. 2Б) после углеводной нагрузки с предшествующим голоданием [15]. Через 0,5 ч от углеводной нагрузки уровень глюкозы возрастал с 9,7 до 21,4 ммоль/л, затем постепенно и плавно снижался в течение всех анализируемых временных точек. У животных 3–7-й экспериментальных групп через 0,5 ч от углеводной нагрузки наблюдалось увеличение уровня глюкозы, что аналогично изменениям в контрольной группе. Однако только у животных в 5-й (рис. 2Д) и 7-й (рис. 2Ж) групп после резкого

скачка уровня глюкозы наблюдался сходный с контрольной группой паттерн – постепенное и плавное снижение уровня глюкозы в крови. У животных 5-й группы (влияние смеси № 3) наблюдалось увеличение уровня глюкозы с 7,5 до 14,1 ммоль/л, у крыс 7-й группы (глибенкламид) – резкий скачок уровня глюкозы с 8,8 до 23,8 ммоль/л. У животных 3, 4 и 6-й групп после резкого подъема глюкозы, наблюдавшегося через 0,5 ч после углеводной нагрузки, происходило увеличение и колебание уровня глюкозы в течение 1,0–1,5 ч с его последующим снижением.

Изменение концентрации ОХС в крови в ходе исследования отражено на рис. 3.

На рис. 3А представлены результаты определения уровня ОХС у животных интактной (1-й) группы, т.е. отражены физиологические колебания уровня ОХС [15]. На основе контрольной (2-й) группы отслеживалось физиологическое изменение ОХС (рис. 3Б) после углеводной нагрузки с предшествующим голоданием [15]. Через 1,0 ч после углеводной нагрузки уровень ОХС уменьшался с 5,8 до 3,2 ммоль/л, затем увеличивался до 3,8 ммоль/л в ходе 4,0 ч наблюдения и к 6,0 ч снижался до 3,2 ммоль/л.

Ни у одной из групп не наблюдался схожий с контрольной группой паттерн. Введение глибенкламида [15] и исследуемых смесей БАВ не влияло на изменение уровня ОХС. Исключение составляет группа № 3 (рис. 3В), у животных которой после 1,0 ч с момента углеводной нагрузки наблюдался скачок уровня ОХС с 4,8 до 6,3 ммоль/л, затем снижение ОХС в течение наблюдаемого периода времени. Полученные результаты показали, что объекты исследования значимо не влияли на уровень ОХС.

Определение гипохолестеринемической активности

Результаты изменения уровня глюкозы в крови под воздействием Р407-индуцированной гиперхолестеринемии отражены на рис. 4.

Сравнение результатов, полученных для животных интактной 1-й и контрольной 2-й групп, показало, что введение полксамера Р407 не влияло на уровень глюкозы в крови, что соответствует данным литературы [23]. В 3–6-й группах, в которых модельным организмам вводили смеси БАВ, наблюдалось снижение уровня глюкозы относительно показателя животных контрольной группы ($p < 0,10$), что указывает на потенциальный гипогликемический эффект всех исследуемых смесей БАВ.

Результаты изменения уровня ОХС в крови под воздействием Р407-индуцированной гиперхолестеринемии представлены на рис. 5.

После введения полксамера Р407 у мышей развивается гиперхолестеринемия. Уровень ОХС в плазме крови животных интактной группы был ниже в 1,54 раза показателя мышей контрольной группы ($p < 0,10$). Введение смеси № 4 вызвало достоверное снижение уровня ОХС в крови животных 6-й группы, в сравнении с контрольной группой уровень ОХС был ниже в 2,01

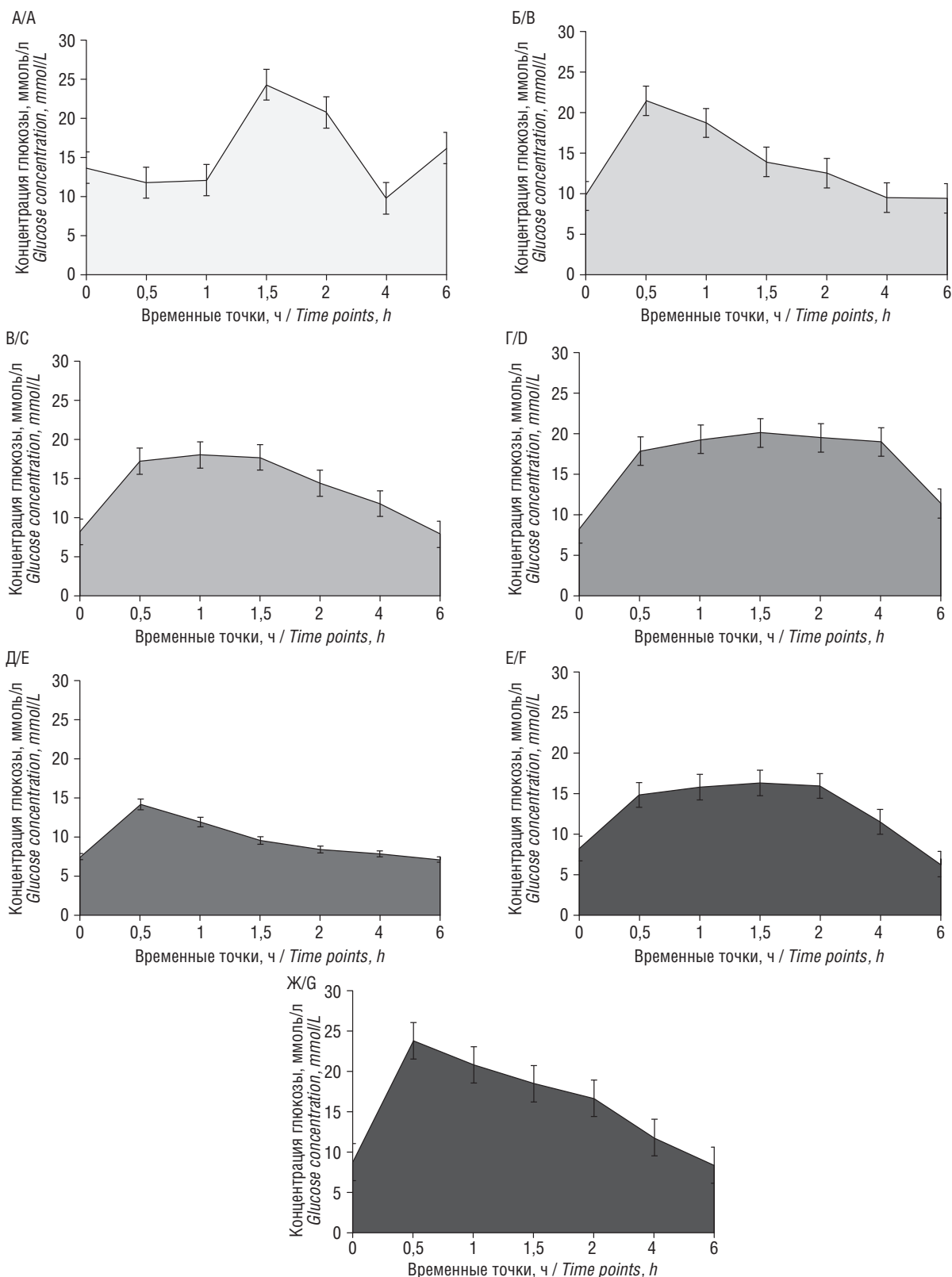


Рис. 2. Графики «концентрация глюкозы – время» для всех исследуемых групп ($M \pm \sigma$)

А – 1-я группа (без введения веществ); Б – 2-я группа (вода очищенная); В – 3-я группа (смесь № 1); Г – 4-я группа (смесь № 2); Д – 5-я группа (смесь № 3); Е – 6-я группа (смесь № 4); Ж – 7-я группа (глибенкламид).

Fig. 2. Glucose concentration vs. time graphs for all studied groups (mean values $\pm$ standard deviation are shown)

A – group No. 1 (without the introduction of substances); B – group No. 2 (purified water); C – group No. 3 (mixture No. 1); D – group No. 4 (mixture No. 2); E – group No. 5 (mixture No. 3); F – group No. 6 (mixture No. 4); G – group No. 7 (glibenclamide).

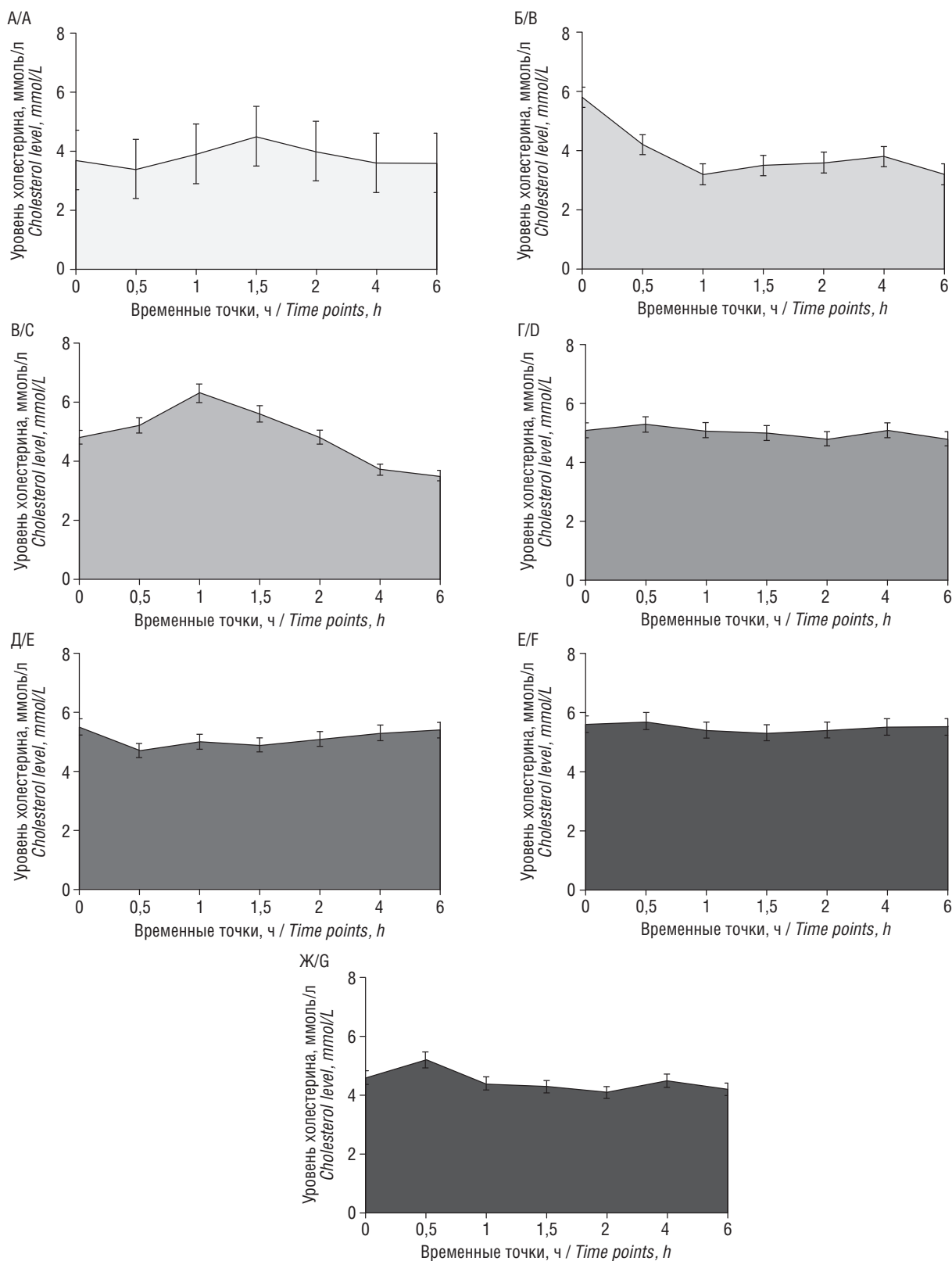


Рис. 3. Графики «уровень холестерина – время» для животных всех исследуемых групп ($M \pm \sigma$)

А – 1-я группа (без введения веществ); Б – 2-я группа (вода очищенная); В – 3-я группа (смесь № 1); Г – 4-я группа (смесь № 2); Д – 5-я группа (смесь № 3); Е – 6-я группа (смесь № 4); Ж – 7-я группа (глибенкламид).

Fig. 3. Cholesterol level vs. time graphs for all studied groups (mean values $\pm$ standard deviation are shown)

A – group No. 1 (without the introduction of substances); B – group No. 2 (purified water); C – group No. 3 (mixture No. 1); D – group No. 4 (mixture No. 2); E – group No. 5 (mixture No. 3); F – group No. 6 (mixture No. 4); G – group No. 7 (glibenclamide).

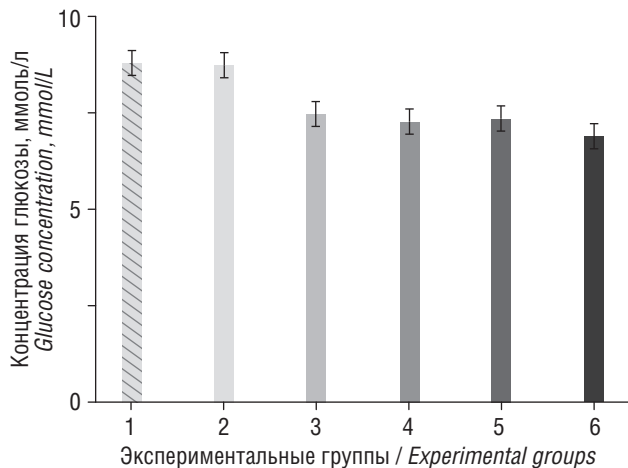


Рис. 4. Концентрация глюкозы в плазме животных разных групп по окончании эксперимента ($M \pm \sigma$)

Fig. 4. Glucose concentration in the plasma of animals of different groups after the end of the experiment (mean values $\pm$ standard deviation are shown)

раза ($p < 0,01$). Введение смеси № 1, наоборот, приводило к увеличению уровня ОХС в крови животных 3-й группы, однако различия не достигали уровня статистической значимости.

Результаты изменения уровня ТГ в плазме под воздействием Р407-индуцированной гиперхолестеринемии представлены на рис. 6.

Концентрация ТГ в плазме крови животных контрольной группы была выше уровня ТГ у мышей интактной группы в 1,3 раза. При введении смеси № 2 у мышей 4-й группы наблюдалось снижение уровня ТГ в 1,2 раза относительно показателя интактных животных, тогда как при введении

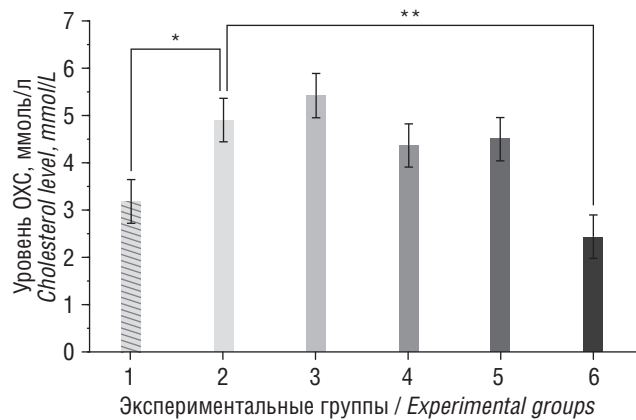


Рис. 5. Концентрация общего холестерина (ОХС) в плазме животных разных групп по окончании эксперимента ($M \pm \sigma$)

Статистическая значимость отличий от показателя животных контрольной группы: * – $p < 0,10$; ** – $p < 0,01$.

Fig. 5. Concentration of total cholesterol in the plasma of animals of different groups after the end of the experiment (mean values $\pm$ standard deviation are shown)

Statistical significance of differences from the indicator of animals in the control group: * – $p < 0,10$; ** – $p < 0,01$.

других исследуемых смесей БАВ концентрация ТГ в крови не изменялась или увеличивалась. Однако различия не достигали уровня статистической значимости.

Результаты изменения уровня ЛПНП в крови под воздействием Р407-индуцированной гиперхолестеринемии представлены на рис. 7.

Уровень ЛПНП в плазме крови животных интактной группы был ниже в 2,82 раза в сравнении с контрольной

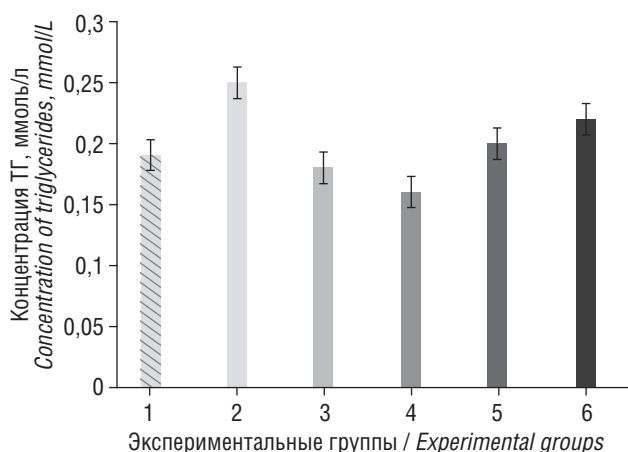


Рис. 6. Концентрация триглицеридов (ТГ) в плазме животных разных групп по окончании эксперимента ($M \pm \sigma$)

Fig. 6. Concentration of triglycerides in the plasma of animals of different groups after the end of the experiment (mean values $\pm$ standard deviation are shown)

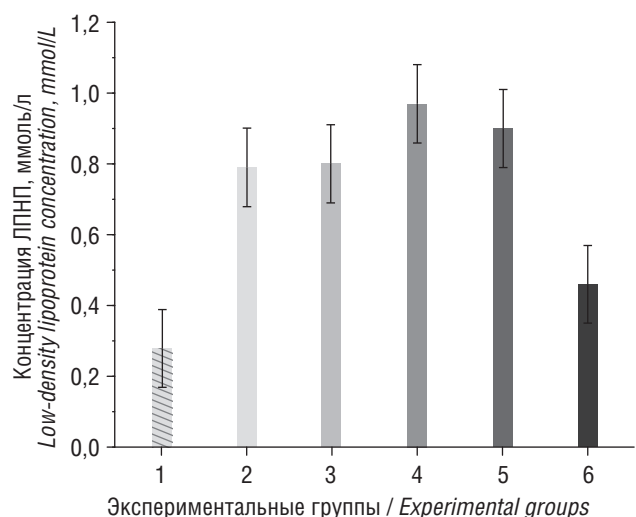


Рис. 7. Уровень липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) в плазме животных разных групп по окончании эксперимента ($M \pm \sigma$)

Fig. 7. Low-density lipoprotein level in all groups after the end of the experiment (mean values $\pm$ standard deviation are shown)

ной группой ($p < 0,10$). Из всех исследуемых смесей БАВ только смесь № 4 проявляла способность снижать уровень ЛПНП. У мышей из 6-й группы уровень ЛПНП был ниже в 1,72 раза в сравнении с контролем ($p < 0,10$).

Обсуждение

В данном исследовании установлено, что только смесь № 3 (RUT : KVC : TKR-k – 1:2:1) эффективно нормализует уровень глюкозы в крови крыс при моделировании углеводной нагрузки, демонстрируя схожий паттерн с контрольной группой 2. Было замечено, что в сравнении с контрольной группой, в которой после углеводной нагрузки уровень глюкозы вырос на 11,7 ммоль/л, в группах, получавших смеси БАВ, рост уровня глюкозы был значительно ниже – в среднем около 7,7 ммоль/л. Предположительно, прием смесей БАВ в модели гипогликемической нагрузки у крыс снижает уровень глюкозы в крови, не оказывая влияния на уровень холестерина.

В данном исследовании в модели гиперхолестеринемии у мышей, вызванной P407, наибольшая активность установлена для смеси № 4 (RUT : KVC : TKR-k – 1:1:2) – уровень глюкозы в крови был в 1,3 раза ниже показателя животных контрольной группы. Данная смесь показала наилучшие результаты и по снижению уровня ОХС – в сравнении с показателем контрольной группы уровень ОХС был в 2,0 раза ниже; по снижению уровня ЛПНП – в сравнении с контрольной группой уровень ЛПНП был в 1,72 раза ниже. Однако данная смесь приводила к увеличению уровня ТГ в крови. Только смесь БАВ № 2 (RUT : KVC : TKR-k в соотношении 2:1:1) продемонстрировала тенденцию к снижению уровня ТГ в ходе эксперимента.

Корреляция между соотношением БАВ в смесях и их биологической активностью – способностью влиять на уровни глюкозы, ОХС, ЛПНП и ТГ – не установлена. Полученные данные позволяют предположить, что для нормализации уровня глюкозы в крови наиболее эффективна смесь БАВ № 3 (RUT : KVC : TKR-k – 1:2:1), а для нормализации уровней глюкозы и холестерина целесообразно применять смесь БАВ № 4 (RUT : KVC : TKR-k – 1:1:2).

В ранее проведенных авторами исследованиях установлено, что при моделировании гиперхолестеринемии у мышей CD-1 введение KVC в дозе 100 мг на 1 кг массы тела способствовало увеличению уровня ОХС в крови – уровень ОХС в контрольной группе был ниже на 0,348 ммоль/л [14]. Введение TKR-k в дозе 100 мг на 1 кг массы тела приводило к уменьшению уровня ОХС в крови: в сравнении с контрольной группой уровень ОХС был ниже в 1,25 раза [24]. В исследовании при моделировании СД у крыс SD путем введения раствора аллоксана установлено, что KVC и TKR-k в дозе 100 мг/кг не влияли на изменения уровней глюкозы и ОХС [14, 24]. В эксперименте, в котором крысам Wistar моделировали MC за счет высокожировой диеты, уста-

новлено, что RUT в дозе 100 мг на 1 кг массы тела приводил к снижению уровня глюкозы в крови – уровень глюкозы был в 1,19 раза ниже, чем у контрольной группы; и оказывал слабое влияние на уровень ОХС – различия между уровнями ОХС в сравнении с контрольной группой равнялись 0,71 ммоль/л [15].

В работе M. Valdes и соавт. [25] показано, что введение RUT в дозе 50 мг/кг мышам BALB/c, у которых с помощью стрептозоцина индуцировали СД, способствует снижению уровня глюкозы через 4 ч после введения БАВ. Уровень глюкозы у мышей, которым вводили RUT, был ниже в 1,5 раза в сравнении с контрольной группой. Введение RUT снижало уровень ЛПНП в 1,5 раза, ТГ – в 1,1 раза, ОХС – в 1,3 раза, повышая содержание ЛПВП в 3 раза.

В работе L. Zhang и соавт. [26] показано, что при введении KVC мышам ICR, у которых модулировали СД 2 типа, только с 4-й недели эксперимента стала проявляться способность БАВ в дозах 20 и 80 мг на 1 кг массы тела снижать уровень глюкозы в крови. Концентрация глюкозы в крови до 4-й недели эксперимента была в 1,2 раза (у группы мышей, которым вводили KVC в дозе 80 мг на 1 кг массы тела) и в 1,1 раза (у группы мышей, которым вводили KVC в дозе 20 мг на 1 кг массы тела) выше, чем у контрольной группы. С 4-й недели эксперимента уровень глюкозы в сравнении с показателем контрольной группы становился ниже. На заключительной, 8-й неделе эксперимента концентрация глюкозы в крови была в 1,76 раза ниже у группы мышей, получавших KVC в дозе 80 мг на 1 кг массы тела, и в 1,36 раза ниже у мышей, получавших KVC в дозе 20 мг на 1 кг массы тела.

В исследовании N. Liang и соавт. [27] представлены результаты, в которых ни KVC (в дозе 2500 мг/кг рациона), ни RUT (в дозе 5500 мг/кг рациона), добавляемые к высокожировому рациону в течение 8 нед, не влияли на метаболизм ОХС у золотистых сирийских хомячков.

В работе R.M. Hafizur и соавт. [28] показано, что у крыс Wistar, у которых модулировали СД 2 типа, на 3 ч после приема TKR-K в дозах 5 и 10 мг на 1 кг массы тела наблюдалось снижение уровня глюкозы в сравнении с контрольной группой. С увеличением дозы TKR-k снижалась концентрация глюкозы в крови. Уровень глюкозы был ниже в 1,14 раза в группе, принимающей TKR-k в дозе 10 мг/кг. Полученные результаты были сопоставимы с уровнем глюкозы, наблюдающимся после 1–2 ч введения GLB (5 мг/кг).

Несмотря на различия в выборе модельных объектов, в схеме моделирования метаболических нарушений, можно предположить, что для снижения уровня глюкозы и ОХС целесообразнее использовать смеси БАВ в соотношении RUT : KVC : TKR-k – 1:1:2 и/или RUT : KVC : TKR-k – 1:2:1, чем отдельно БАВ. Но необходимы дополнительные исследования, так как данная работа имеет ряд ограничений: отсутствие данных по изменению массы тела, уровня ЛПВП, влияния на представителей микробиоты желудочно-кишечного тракта, секрецию инсулина модельных организмов под воздействием условий эксперимента, необходимо увеличить

продолжительность эксперимента ориентировочно до 8 нед. Данные ограничения будут учтены и рассмотрены в ходе дальнейших исследований.

Заключение

В данном исследовании *in vivo* изучено влияние 4 смесей, содержащих различные концентрации RUT, KVC и TKR-k (выделенных из растительных клеток

in vitro) на уровни глюкозы, ОХС, ТГ, ЛПНП. Наиболее выраженную активность продемонстрировали смеси № 3 (RUT : KVC : TKR-k – 1:2:1), которую, по-видимому, целесообразно использовать для нормализации уровня глюкозы в крови, и № 4 (RUT : KVC : TKR-k – 1:1:2), эффективная для нормализации уровня холестерина и глюкозы. Таким образом, результаты работы подтверждают целесообразность использования данных смесей для профилактики МС, но для подтверждения необходимы клинические исследования.

Сведения об авторах

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (Кемерово, Российская Федерация):

Фролова Анна Сергеевна (Anna S. Frolova) – младший научный сотрудник лаборатории биотестирования природных нутрицевтиков

E-mail: frolova.anna.s@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3988-8521>

Веснина Анна Дмитриевна (Anna D. Vesnina) – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биотестирования природных нутрицевтиков

E-mail: koledockop1@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4552-7418>

Федорова Анастасия Михайловна (Anastasia M. Fedorova) – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биотестирования природных нутрицевтиков

E-mail: anastasija.fedorova-af2014@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8071-4411>

Милентьева Ирина Сергеевна (Irina S. Milentyeva) – доктор технических наук, заведующий лабораторией биотестирования природных нутрицевтиков

E-mail: irazumnikova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3536-562X>

Просеков Александр Юрьевич (Aleksandr Yu. Prosekov) – член-корреспондент РАН, доктор технических наук, доктор биологических наук, ректор

E-mail: rector@kemsu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5630-3196>

Заушинцева Александра Васильевна (Alexandra V. Zaushintsena) – доктор биологических наук, профессор кафедры экологии и природопользования

E-mail: alexaz58@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4645-828X>

Литература

1. Фролова А.С., Милентьева И.С., Федорова А.М., Асякина Л.К., Просеков А.Ю. Оценка безопасности ряда растительных метаболитов – перспективных геропротекторов в исследовании *in vivo* // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, № 3. С. 64–91. DOI: <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-3-1146>
2. García-García F.J., Monistrol-Mula A., Cardellach F., Garrabou G. Nutrition, bioenergetics, and metabolic syndrome // Nutrients. 2020. Vol. 12, N 9. Article ID 2785. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12092785>
3. Melguizo-Rodríguez L., Costela-Ruiz V.J., García-Recio E., De Luna-Bertos E., Ruiz C., Illescas-Montes R. Role of vitamin D in the metabolic syndrome // Nutrients. 2021. Vol. 13, N 3. Article ID 830. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13030830>
4. Vesnina A., Prosekov A., Atuchin V., Minina V., Ponasenko A. Tackling atherosclerosis via selected nutrition // Int. J. Mol. Sci. 2022. Vol. 23, N 15. Article ID 8233. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms23158233>
5. Dziegielewska-Gesiak S. Metabolic syndrome in an aging society – role of oxidant-antioxidant imbalance and inflammation markers in disentangling atherosclerosis // Clin. Interv. Aging. 2021. Vol. 16. P. 1057–1070. DOI: <https://doi.org/10.2147/CIA.S306982>
6. Handelsman Y. Metabolic syndrome pathophysiology and clinical presentation // Toxicol. Pathol. 2009. Vol. 37, N 1. P. 18–20. DOI: <https://doi.org/10.1177/0192623308329288>
7. Perez-Diaz C., Uriz-Martínez M., Ortega-Rico C., Leno-Duran E., Barrios-Rodríguez R., Salcedo-Bellido I. et al. Phthalate exposure and risk of metabolic syndrome components: A systematic review // Environ. Pollut. 2024. Vol. 340, N 1. Article ID 122714. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122714>
8. Murray M., Dordevic A.L., Cox K., Scholey A., Ryan L., Bonham M.P. Twelve weeks' treatment with a polyphenol-rich seaweed extract increased HDL cholesterol with no change in other biomarkers of chronic disease risk in overweight adults: a placebo-controlled randomized trial // J. Nutr. Biochem. 2021. Vol. 96. Article ID 108777. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2021.108777>
9. Погожева А.В., Смирнова Е.А. К здоровью нации через многоуровневые образовательные программы для населения в области оптимального питания // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 262–272. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10060>
10. Quero J., Mármol I., Cerrada E., Rodríguez-Yoldi M.J. Insight into the potential application of polyphenol-rich dietary intervention in degenerative disease management // Food Funct. 2020. Vol. 11, N 4. Article ID 2805. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0FO00216J>
11. Mehany T., Khalifa I., Barakat H., Althwab S.A., Alharbi Yo.M., El-Sohaimey S. Polyphenols as promising biologically active substances for preventing SARS-CoV-2: a review with research evidence and underlying mechanisms // Food Biosci. 2021. Vol. 40. Article ID 100891. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100891>
12. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. Ключевые проблемы в структуре потребления пищевой продукции и прорывные технологии оптимизации питания для здоровьесбережения населения Рос-

- сии // Вопросы питания. 2024. Т. 93, № 1. С. 6–21. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-1-6-21>
13. Da Ressurreição S., Pedreiro S., Batista M.T., Figueirinha A. Effect of phenolic compounds from *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. leaves on micellar solubility of cholesterol // *Molecules*. 2022. Vol. 27, N 21. Article ID 7338. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27217338>
14. Vesnina A.D., Milentyeva I.S., Le V.M., Fedorova A.M., Altshuler O.G., Prosekov A.Yu. Quercetin isolated from *Hedysarum neglectum* Ledeb. as a preventer of metabolic diseases // *Foods Raw Mater*. 2025. Vol. 13, N 1. P. 192–201. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2025-1-633>
15. Chekushkina D.Yu., Fedorova A.M., Kovalenko S.V., Milent'eva I.S., Al'tshuler O.G., Aksanova L.M. Anti-metabolic syndrome effect of trans-cinnamic acid // *Food Processing: Techniques and Technology*. 2025. Vol. 55, N 1. P. 136–147. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2563>
16. Milent'eva I.S., Le V.M., Kozlova O.V., Velichkovich N.S., Fedorova A.M., Loseva A.I. et al. Secondary metabolites in in vitro cultures of Siberian medicinal plants: Content, antioxidant properties, and antimicrobial characteristics // *Foods Raw Mater*. 2021. Vol. 9, N 1. P. 153–163. DOI: <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-153-163>
17. Le V., Sukhikh A., Larichev T., Ivanova S., Prosekov A., Dmitrieva A. Isolation of the main biologically active substances and phytochemical analysis of *Ginkgo biloba* callus culture extracts // *Molecules*. 2023. Vol. 28, N 4. P. 1560. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28041560>
18. Milent'eva I.S., Fedorova A.M., Larichev T.A., Al'tshuler O.G. Biologically active compounds in *Scutellaria baicalensis* L. callus extract: Phytochemical analysis and isolation // *Foods Raw Mater*. 2023. Vol. 11, N 1. P. 172–186. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-564>
19. Шекунова Е.В., Ковалева М.А., Макарова М.Н., Макаров В.Г. Выбор дозы препарата для доклинического исследования: межвидовой перенос доз // Вестник Научного центра экспертизы средств медицинского применения. 2020. Т. 10, № 1. С. 19–28. DOI: <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2020-1-19-28>
20. Mah P.T., Laaksonen T., Rades T., Aaltonen J., Peltonen L., Strachan C.J. Unravelling the relationship between degree of disorder and the dissolution behavior of milled glibenclamide // *Mol. Pharm.* 2014. Vol. 11, N 1. P. 234–242. DOI: <https://doi.org/10.1021/mp4004145>
21. Caron A., Lelong C., Bartels T., Dorchie O. Clinical and anatomic pathology effects of serial blood sampling in rat toxicology studies, using conventional or microsampling methods // *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2015. Vol. 72, N 3. P. 429–439. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.05.022>
22. Lee U., Kwon M.H., Kang H.E. Pharmacokinetic alterations in poloxamer 407-induced hyperlipidemic rats // *Xenobiotica*. 2019. Vol. 49, N 5. P. 611–625. DOI: <https://doi.org/10.1080/00498254.2018.1466212>
23. Johnston T.P., Edwards G., Koulen P. Synergism of mechanisms underlying early-stage changes in retina function in male hyperglycemic db/db mice in the absence and presence of chemically-induced dyslipidemia // *Sci. Rep.* 2023. Vol. 3, N 1. Article ID 17347. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44446-3>
24. Чекушкина Д.Ю., Милентьева И.С., Ле В.М., Просеков А.Ю., Проскурякова Л.А. Потенциал использования метаболита бородатых корней *Scutellaria baicalensis* в качестве геропротектора // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2024. Т. 12, № 2. С. 87–95. DOI: <https://doi.org/10.14529/food240210>
25. Valdes M., Calzada F., Martínez-Solís J., Martínez-Rodríguez J. Anti-hyperglycemic effects of *Annona cherimola* miller and the flavonoid rutin in combination with oral antidiabetic drugs on streptozocin-induced diabetic mice // *Pharmaceuticals*. 2023. Vol. 16, N 1. Article ID 112. DOI: <https://doi.org/10.3390/ph16010112>
26. Zhang L., Pan M.Y., Li T., Jin Z.M., Liu Z., Liu Q.Y. et al. Study on optimal extraction and hypoglycemic effect of quercetin // *Evid. Based Complement. Alternat. Med.* 2023. Vol. 2023, N 1. Article ID 8886503. DOI: <https://doi.org/10.1155/2023/8886503>
27. Liang N., Li Y.-M., He Z., Hao W., Zhao Y., Liu J. et al. Rutin and quercetin decrease cholesterol in HepG2 cells but not plasma cholesterol in hamsters by oral administration // *Molecules*. 2021. Vol. 26, N 12. Article ID 3766. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26123766>
28. Hafizur R.M., Hameed A., Shukrana M., Raza S.A., Chishti S., Kabir N. et al. Cinnamic acid exerts anti-diabetic activity by improving glucose tolerance in vivo and by stimulating insulin secretion in vitro // *Phytomedicine*. 2015. Vol. 22, N 2. P. 297–300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2015.01.003>

References

1. Frolova A.S., Milent'eva I.S., Fedorova A.M., Asyakina L.K., Prosekov A.Yu. Safety assessment of a range of plant metabolic toves – advanced geroprotectors in vivo research. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024; 16 (3): 64–91. DOI: <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-3-1146> (in Russian)
2. García-García F.J., Monistrol-Mula A., Cardellach F., Garrabou G. Nutrition, bioenergetics, and metabolic syndrome. *Nutrients*. 2020; 12 (9): 2785. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12092785>
3. Melguizo-Rodríguez L., Costela-Ruiz V.J., García-Recio E., De Luna-Bertos E., Ruiz C., Illescas-Montes R. Role of vitamin D in the metabolic syndrome. *Nutrients*. 2021; 13 (3): 830. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13030830>
4. Vesnina A., Prosekov A., Atuchin V., Minina V., Ponasenko A. Tackling atherosclerosis via selected nutrition. *Int J Mol Sci*. 2022; 23 (15): 8233. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms23158233>
5. Dziegielewska-Gesiak S. Metabolic syndrome in an aging society – role of oxidant-antioxidant imbalance and inflammation markers in disentangling atherosclerosis. *Clin Interv. Aging*. 2021; 16: 1057–70. DOI: <https://doi.org/10.2147/CIA.S306982>
6. Handelsman Y. Metabolic syndrome pathophysiology and clinical presentation. *Toxicol Pathol*. 2009; 37 (1): 18–20. DOI: <https://doi.org/10.1177/0192623308329288>
7. Perez-Diaz C., Uriz-Martínez M., Ortega-Rico C., Leno-Duran E., Barrios-Rodríguez R., Salcedo-Bellido I., et al. Phthalate exposure and risk of metabolic syndrome components: a systematic review. *Environ Pollut*. 2024; 340 (1): 122714. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122714>
8. Murray M., Dordevic A.L., Cox K., Scholey A., Ryan L., Bonham M.P. Twelve weeks' treatment with a polyphenol-rich seaweed extract increased HDL cholesterol with no change in other biomarkers of chronic disease risk in overweight adults: a placebo-controlled randomized trial. *J Nutr Biochem*. 2021; 96: 108777. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2021.108777>
9. Pogozheva A.V., Smirnova E.A. To the health of the nation through multi-level educational programs for the population in the field of optimal nutrition. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2020; 89 (4): 262–72. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10060> (in Russian)
10. Quero J., Mármol I., Cerrada E., Rodríguez-Yoldi M.J. Insight into the potential application of polyphenol-rich dietary intervention in degenerative disease management. *Food Funct*. 2020; 11 (4): 2805. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0FO00216J>
11. Mehany T., Khalifa I., Barakat H., Althwab S.A., Alharbi Yo.M., El-Sohaimy S. Polyphenols as promising biologically active substances for preventing SARS-CoV-2: A review with research evidence and underlying mechanisms. *Food Biosci*. 2021; 40: 100891. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100891>
12. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. Key challenges in the dietary intake structure and cutting edge technologies for optimizing nutrition to protect the health of the Russian population. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2024; 93 (1): 6–21. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-1-6-21> (in Russian)
13. Da Ressurreição S., Pedreiro S., Batista M.T., Figueirinha A. Effect of phenolic compounds from *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. leaves on micellar solubility of cholesterol. *Molecules*. 2022; 27 (21): 7338. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27217338>
14. Vesnina A.D., Milentyeva I.S., Le V.M., Fedorova A.M., Altshuler O.G., Prosekov A.Yu. Quercetin isolated from *Hedysarum neglectum* Ledeb. as a preventer of metabolic diseases. *Foods Raw Mater*. 2025; 13 (1): 192–201. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2025-1-633>
15. Chekushkina D.Yu., Fedorova A.M., Kovalenko S.V., Milent'eva I.S., Al'tshuler O.G., et al. Anti-metabolic syndrome effect of trans-cinnamic acid. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2025; 55 (1): 136–47. DOI: <https://doi.org/10.21603/20749414-2025-1-2563>
16. Milent'eva I.S., Le V.M., Kozlova O.V., Velichkovich N.S., Fedorova A.M., Loseva A.I., et al. Secondary metabolites in in vitro cultures of Siberian medicinal plants: content, antioxidant properties, and antimicrobial characteristics. *Foods and Mater*. 2021; 9 (1): 153–63. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-153-163>
17. Le V., Sukhikh A., Larichev T., Ivanova S., Prosekov A., Dmitrieva A. Isolation of the main biologically active substances and phytochemical analysis of *Ginkgo biloba* callus culture extracts. *Molecules*. 2023; 28 (4): 1560. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28041560>
18. Milent'eva I.S., Fedorova A.M., Larichev T.A., Al'tshuler O.G. Biologically active compounds in *Scutellaria baicalensis* L. callus extract: Phytochemical analysis and isolation. *Foods Raw Mater*. 2023; 11 (1): 172–86. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-564>
19. Shekunova E.V., Kovaleva M.A., Makarova M.N., Makarov V.G. Dose selection in preclinical studies: cross-species dose conversion. *Vedomosti Nauchnogo tsentra ekspertizy sredstv meditsinskogo primeneniya*

- [Bulletin of the Scientific Center for the Examination of Medical Products]. 2020; 10 (1): 19–28. DOI: <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2020-10-1-19-28> (in Russian)
20. Mah P.T., Laaksonen T., Rades T., Aaltonen J., Peltonen L., Strachan C.J. Unravelling the relationship between degree of disorder and the dissolution behavior of milled glibenclamide. *Mol Pharm*. 2014; 11 (1): 234–42. DOI: <https://doi.org/10.1021/mp4004145>
 21. Caron A., Lelong C., Bartels T., Dorchie O. Clinical and anatomic pathology effects of serial blood sampling in rat toxicology studies, using conventional or microsampling methods. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2015; 72 (3): 429–39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.05.022>
 22. Lee U., Kwon M.H., Kang H.E. Pharmacokinetic alterations in poloxamer 407-induced hyperlipidemic rats. *Xenobiotica*. 2019; 49 (5): 611–25. DOI: <https://doi.org/10.1080/00498254.2018.1466212>
 23. Johnston T.P., Edwards G., Koulen P. Synergism of mechanisms underlying early-stage changes in retina function in male hyperglycemic db/db mice in the absence and presence of chemically-induced dyslipidemia. *Sci Rep*. 2023; 3 (1): 17347. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44446-3>
 24. Chekushkina D.Y., Milent'eva I.S., Le V.M., Prosekov A.Yu., Proskuryakova L.A. The biopotential of trans-cinnamic acid. *Vestnik YuUrGU. Seriya «Pishchevye i biotekhnologii»* [Bulletin of the South Ural State University. Series Food and Biotechnology]. 2024; 12 (2): 87–95. DOI: <https://doi.org/10.14529/food240210> (in Russian)
 25. Valdes M., Calzada F., Martínez-Solis J., Martínez-Rodríguez J. Anti-hyperglycemic effects of *Annona cherimola* miller and the flavonoid rutin in combination with oral antidiabetic drugs on streptozocin-induced diabetic mice. *Pharmaceuticals*. 2023; 16 (1): 112. DOI: <https://doi.org/10.3390/ph16010112>
 26. Zhang L., Pan M.Y., Li T., Jin Z.M., Liu Z., Liu Q.Y., et al. Study on optimal extraction and hypoglycemic effect of quercetin. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2023; 2023 (1): 8886503. DOI: <https://doi.org/10.1155/2023/8886503>
 27. Liang N., Li Y.-M., He Z., Hao W., Zhao Y., Liu J., et al. Rutin and quercetin decrease cholesterol in HepG2 cells but not plasma cholesterol in hamsters by oral administration. *Molecules*. 2021; 26 (12): 3766. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26123766>
 28. Hafizur R.M., Hameed A., Shukrana M., Raza S.A., Chishti S., Kabir N., et al. Cinnamic acid exerts anti-diabetic activity by improving glucose tolerance in vivo and by stimulating insulin secretion in vitro. *Phytomedicine*. 2015; 22 (2): 297–300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2015.01.003>

Для корреспонденции

Ревакина Вера Афанасьевна – доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением аллергологии и диетотерапии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
 Адрес: 115446, Российская Федерация, г. Москва, Каширское шоссе, д. 21
 Телефон: (499) 794-36-12
 E-mail: 5356797@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1149-7927>

Ревакина В.А.^{1,2}, Мухортых В.А.^{1,3}, Короткова Т.Н.¹, Ларькова И.А.^{1,2}, Ворожко И.В.¹, Кувшинова Е.Д.¹

Оценка биомаркеров проницаемости кишечника и воспаления при пищевой аллергии

Evaluation of biomarkers of intestinal permeability and inflammation in food allergies

Revyakina V.A.^{1,2}, Mukhortykh V.A.^{1,3}, Korotkova T.N.¹, Larkova I.A.^{1,2}, Vorozhko I.V.¹, Kuvshinova E.D.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, 109240, г. Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное автономное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 119296, г. Москва, Российская Федерация

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научно-клинический центр детей и подростков Федерального медико-биологического агентства», 115409, г. Москва, Российская Федерация

¹ Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology, and Food Safety, 109240, Moscow, Russian Federation

² National Medical Research Center for Children's Health of the Ministry of Health of the Russian Federation, 119296, Moscow, Russian Federation

³ Federal Scientific and Clinical Center for Children and Adolescents of the Federal Medical and Biological Agency, 115409, Moscow, Russian Federation

Пищеварительный тракт выполняет важную барьерную функцию, защищая внутреннюю среду организма от избыточного поступления различных макромолекул, особенно пищевого происхождения. Несмотря на многочисленные работы, посвященные изучению механизмов развития пищевой аллергии (ПА),

Финансирование. Научно-исследовательская работа по подготовке рукописи проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках Программы фундаментальных научных исследований (FGMF-2023-0008).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Ревакина В.А., Мухортых В.А., Ларькова И.А., Кувшинова Е.Д.; сбор и обработка данных – Мухортых В.А., Короткова Т.Н., Ворожко И.В.; написание текста – Ревакина В.А.; редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Ревакина В.А., Мухортых В.А., Короткова Т.Н., Ларькова И.А., Ворожко И.В., Кувшинова Е.Д. Оценка биомаркеров проницаемости кишечника и воспаления при пищевой аллергии // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 4. С. 68–75. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-68-75>

Статья поступила в редакцию 21.05.2025. **Принята в печать** 27.06.2025.

Funding. This work was carried out at the expense of the subsidy for the implementation of the state task (FGMF-2023-0008).

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

Contribution. Concept and design of the study – Revyakina V.A., Mukhortykh V.A., Larkova I.A., Kuvshinova E.D.; data collection and processing – Mukhortykh V.A., Korotkova T.N., Vorozhko I.V.; writing the text – Revyakina V.A.; editing, adoption of the final article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Revyakina V.A., Mukhortykh V.A., Korotkova T.N., Larkova I.A., Vorozhko I.V., Kuvshinova E.D. Evaluation of biomarkers of intestinal permeability and inflammation in food allergies. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (4): 68–75. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-68-75> (in Russian)

Received 21.05.2025. **Accepted** 27.06.2025.

многие аспекты ее патогенеза требуют дальнейшей расшифровки и исследований. Все это необходимо для внедрения эффективных методов диагностики и новых способов терапии.

Целью исследований было определение диагностической и патогенетической значимости маркеров повышенной проницаемости и воспаления кишечника у детей с ПА.

Материал и методы. Критериями включения в исследование были возраст детей от 3 до 7 лет; установленный диагноз ПА. Обследованы 45 детей с ПА, клиническим маркером которой был атопический дерматит (АтД), ассоциированный с основным заболеванием (АтД + ПА). Группу сравнения составили 20 практически здоровых детей. Всем детям определяли уровни зонулина, кальпротектина, эозинофильного нейротоксина и секреторного иммуноглобулина А (sIgA) в копрофильтратах, общего иммуноглобулина Е (IgE), специфических антител IgE к пищевым аллергенам и эозинофильного катионного белка в сыворотке крови.

Результаты. У обследованных детей с АтД + ПА выявлены высокие уровни общего IgE в сыворотке крови (273,9 [157,2; 597,2] МЕ/мл), повышенная чувствительность к ряду пищевых продуктов (коровье молоко, яйцо, рыба, пшеница), эозинофилия ($6,9 \pm 1,2\%$). Уровни зонулина были повышены ($p < 0,05$) у пациентов со среднетяжелым течением ПА по сравнению с легким течением и составили соответственно 84,3 [67,8; 93,5] и 26,5 [17,5; 62,3] ($p < 0,05$) нг/мл против 21,5 [13,2; 30,9] нг/мл у практически здоровых детей. Количество кальпротектина в кале было в пределах нормы. Содержание sIgA в кале было снижено у всех пациентов, составив 32,3 [1,66; 50,7] против $61,4 \pm 3,2$ мкг/г у детей из группы сравнения ($p < 0,05$). Содержание эозинофильного нейротоксина в кале (1025,65 [327,96; 1739,54] нг/г) и эозинофильного катионного белка в сыворотке крови (35,23 [30,12; 39,78] нг/мл) было повышено по сравнению с показателями детей из группы сравнения (соответственно 610,4 [300,25; 1101,97] и 29,67 [25,43; 32,75] нг/мл, $p < 0,05$).

Закключение. Проведенное исследование выявило у детей с АтД + ПА признаки повышенной кишечной проницаемости, эозинофильного воспаления и нарушения в системе мукозального иммунитета. У пациентов со среднетяжелым течением заболевания обнаружена повышенная проницаемость кишечного барьера, что подтверждается высоким уровнем зонулина в копрофильтратах, а также активация эозинофильного воспаления согласно повышенным уровням эозинофильного нейротоксина и катионного белка. Снижение мукозального иммунитета, о чем свидетельствуют низкие значения секреторного IgA, указывает на нарушение барьерной функции слизистой желудочно-кишечного тракта. Полученные данные свидетельствуют о важной роли кишечной проницаемости и эозинофильного воспаления в патогенезе среднетяжелых форм АтД + ПА, что может иметь существенное значение для разработки новых подходов к терапии.

Ключевые слова: пищевая аллергия; атопический дерматит; дети; маркеры проницаемости и воспаления кишечника; зонулин; кальпротектин; секреторный IgA; нейротоксин

The digestive tract performs an important barrier function, protecting the internal environment of the organism from excessive intake of various macromolecules, especially of food origin. Despite numerous works devoted to the study of the mechanisms of development of food allergy (FA), many aspects of its pathogenesis require further interpretation and research. This is necessary for the introduction of effective diagnostic methods and new therapies.

The purpose of the research was to determine the diagnostic and pathogenetic significance of markers of increased intestinal permeability and inflammation in children with FA.

Material and methods. The criteria for inclusion in the research were the age of children from 3 to 7 years old; patients with a diagnosis of FA. 45 children with FA were examined, the clinical marker of which was atopic dermatitis (AtD) associated with underlying disease (AtD + FA). The control group consisted of 20 practically healthy children. The levels of zonulin, calprotectin, eosinophilic neurotoxin and secretory immunoglobulin A (sIgA) in coprofiltrates, total immunoglobulin E (IgE), specific IgE antibodies to food allergens and eosinophilic cationic protein in the blood serum were determined for all children.

Results. The examined children with AtD + FA showed high levels of blood total IgE 273.89 [157.2; 597.2] IU/L, hypersensitivity to a number of foods (cow's milk, egg, fish, wheat), eosinophilia ($6.90 \pm 1.15\%$). Zonulin levels were increased ($p < 0.05$) in patients with moderate FA compared with mild FA and amounted to 84.3 [67.8; 93.5] and 26.5 [17.5; 62.3] ng/ml, respectively, versus 21.5 [13.2; 30.9] ng/ml in healthy children.

The amount of calprotectin in the stool was within the normal range. The sIgA content in feces was reduced in all patients, amounting to 32.3 [1.66; 50.7] μ g/g versus 61.4 $\pm$ 3.2 μ g/g in children from the control group ($p<0.05$). The amount of eosinophilic neurotoxin in feces (1025.65 [327.96; 1739.54] ng/g) and eosinophilic cationic protein in blood serum (35.23 [30.12; 39.78] ng/ml) was increased, unlike in children of the control group (610.4 [300.25; 1101.97] ng/g and 29.67 [25.43; 32.75] ng/ml respectively, $p<0.05$).

Conclusion. *The study revealed the signs of increased intestinal permeability, eosinophilic inflammation, and impaired mucosal immunity in children with AtD + FA. Patients with moderate disease severity showed increased intestinal barrier permeability, as evidenced by high levels of zonulin in coprofiltrates, as well as activation of eosinophilic inflammation, as indicated by elevated levels of eosinophilic neurotoxin and cationic protein. In addition, a decrease in mucosal immunity was detected, as evidenced by low values of secretory IgA, which indicates a disruption of the barrier function of the gastrointestinal mucosa. These findings suggest an important role of intestinal permeability and eosinophilic inflammation in the pathogenesis of moderate forms of AtD + FA, which may have significant implications for the development of new therapeutic approaches.*

Keywords: *food allergy; atopic dermatitis; children; markers of intestinal permeability and inflammation; zonulin; calprotectin; secretory IgA; neurotoxin*

Пищевая аллергия (ПА) – часто встречающаяся патологическая реакция иммунной системы на пищевые аллергены. Распространенность ПА варьирует в зависимости от возраста и пола пациентов, страны проживания и традиции в питании населения. Особенно она актуальна для детей раннего и дошкольного возраста [1–3].

В развитии воспалительных процессов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) участвуют многочисленные внешние и внутренние факторы, при этом особое значение имеют состояние защитного барьера пищеварительной системы и состав кишечной микрофлоры [4–6]. Так, в ряде работ [7, 8] показано, что повреждение кишечного барьера и повышение его проницаемости играют ключевую роль в возникновении ПА. Несостоятельность кишечного барьера и повышенная проницаемость могут приводить к избыточному поступлению пищевых аллергенов и антигенов в кровь и способствовать развитию аллергической сенсибилизации [9, 10].

Установлено, что целостность кишечного барьера поддерживается комплексом межклеточных плотных контактов (tight junctions, TJ), состоящих из 4 трансмембранных белков (окклюдины, клаудины, молекулы адгезии, трицеллюлин), которые предотвращают проникновение во внутреннюю среду организма антигенных белков и патогенов [1, 2]. На регуляцию TJ в ЖКТ влияет повышенный рост патогенной микрофлоры, который приводит к повреждению и нарушению микроциркуляции в слизистой оболочке, создавая условия для поступления пищевых антигенов в кровь, усиливая при этом сенсибилизацию организма и пищевую гиперчувствительность ребенка [11].

Важную роль в регуляции TJ и поддержании барьерной функции кишечника играет белок зонулин. Этот протеин, имеющий молекулярную массу 47 кДа, локализуется в апикальной зоне кишечного эндотелия, где формирует плотные межклеточные соединения. Зонулин выполняет защитную функцию, предотвращая проникновение крупных молекул (свыше 500 кДа) во внутреннюю среду организма и обеспечивая сохранность

кишечного барьера [12]. Согласно экспериментальным данным, рост уровня зонулина коррелирует с усилением кишечной проницаемости [13, 14].

Для оценки состояния TJ могут быть использованы специальные биомаркеры, отражающие степень целостности кишечного эпителия и позволяющие диагностировать патологические изменения в ЖКТ. Поэтому поиск информативных и неинвазивных маркеров, характеризующих барьерную функцию кишечника и его проницаемость, является перспективным для педиатрической практики.

Несостоятельность кишечного барьера тесно связана с воспалением слизистой оболочки ЖКТ, которое возникает в ответ на избыточное поступление макромолекул и патогенов во внутреннюю среду организма. Важным механизмом регуляции воспалительного процесса в ЖКТ является миграция лейкоцитов в кишечную стенку. При этом биологические маркеры, образующиеся в результате деструкции этих иммунных клеток, могут быть идентифицированы в фекалиях. Поэтому для оценки воспаления кишечника используются такие маркеры, как фекальный кальпротектин, эозинофильный нейротоксин, а также эозинофильный катионный белок.

Кальпротектин – специфический белковый маркер, продуцируемый активированными нейтрофилами кишечной слизистой оболочки. Повышенная концентрация данного белка в биологических средах является достоверным индикатором активного нейтрофил-опосредованного воспалительного процесса в кишечной стенке.

Эозинофильный нейротоксин – один из белков цитоплазматических гранул эозинофильных лейкоцитов, высвобождается активированными эозинофилами, участвует в противовирусной, противогельминтной защите, стимуляции иммунного ответа на чужеродные антигены.

Эозинофильный катионный белок является одним из основных медиаторов эозинофилов, высвобождаемых из их гранул в ответ на воздействие аллергенов.

Цель данного исследования – определение диагностической и патогенетической значимости маркеров повышенной проницаемости и воспаления кишечника у детей с ПА.

Материал и методы

Клиническое исследование было организовано на базе отделения аллергологии и диетотерапии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» в соответствии с утвержденным протоколом. В исследование включали детей дошкольного возраста (3–7 лет) с подтвержденным диагнозом ПА при наличии письменного информированного согласия родителей или опекунов.

Критерии исключения пациентов

1. Отсутствие информированного согласия.
2. Тяжелые сопутствующие заболевания различных систем (нервной, эндокринной, сердечно-сосудистой, мочевыделительной, гепатобилиарной и др.).
3. Хронические инфекционные процессы.
4. Острые фазы любых заболеваний.
5. Участие в других клинических исследованиях.

Таким образом, в итоговую выборку вошли 45 детей с ПА, основным клиническим проявлением которой служил атопический дерматит (АтД). Обострения кожного процесса четко коррелировали с употреблением высокоаллергенных продуктов: молока, яиц, рыбы, морепродуктов и орехов. Диагноз ПА верифицировали на основании семейного аллергологического анамнеза, данных пищевого дневника с выявленной связью между приемом аллергенов и клинической симптоматикой, положительного эффекта элиминационной диеты.

Для объективной оценки выраженности кожных проявлений применяли международную шкалу SCORAD (Consensus Report of the European Task Force on Atopic Dermatitis, 1993).

Возраст детей варьировал от 3 до 7 лет. Мальчиков было 28, девочек – 17. Группу сравнения составили 20 практически здоровых детей (8 мальчиков и 12 девочек), проходивших плановый осмотр. Все дети группы сравнения не имели аллергопатологии и хронических заболеваний ЖКТ на момент обследования, что было подтверждено клинико-анамнестическими данными и лабораторными исследованиями.

Кроме общепринятых стандартных клинико-лабораторных исследований, в копрофилтрах определяли концентрацию зонулина, кальпротектина, эозинофильного нейротоксина и секреторного IgA, в сыворотке крови – эозинофильного катионного белка.

Концентрацию зонулина и эозинофильного нейротоксина определяли с помощью иммуноферментного анализа (ИФА) с использованием, соответственно, тест-систем Zonulin ELISA и EDN ELISA (Immundiagnostik AG, Германия), фекального кальпротектина – с помощью реактивов BUHLMANN fCAL ELISA Calprotectin (BUHLMANN Laboratories AG). Определение секретор-

ного IgA в кале проводили с помощью твердофазного хромогенного ИФА с использованием коммерческого набора («Вектор-Бест», РФ) на анализаторе Bio-Rad (США). Эозинофильный катионный белок в сыворотке крови выявляли методом твердофазного хемилюминесцентного анализа.

Комитетом по этике ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» одобрены материалы проводимого исследования (протокол № 7 от 16.12.2024). Перед исследованием получено информированное согласие родителей или опекунов пациента.

Статистический анализ проводили с использованием пакета Statistica 10.0 (Windows). Характер распределения количественных переменных оценивали с помощью критериев Колмогорова–Смирнова и Пирсона (χ^2). В зависимости от типа распределения данных применяли параметрический критерий Стьюдента (*t*-тест) для нормально распределенных показателей и непараметрический *U*-критерий Манна–Уитни при отклонении от нормального распределения. Результаты представлены в виде среднего арифметического и стандартной ошибки среднего ($M \pm m$) для параметрических данных, медианы (*Me*) с указанием 25-го (Q1) и 75-го (Q3) квартилей для непараметрических показателей. Корреляционный анализ выполнен с использованием рангового коэффициента Спирмена. Статистически значимыми считали различия при уровне доверительной вероятности $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Под наблюдением находились 45 пациентов с АтД, ассоциированным с ПА, в возрасте от 3 до 7 лет. Распределение детей по тяжести заболевания было следующим: 26 (57,8%) детей с легким течением, индекс SCORAD составил $38,14 \pm 2,63$ балла; 19 (42,2%) детей – со среднетяжелым, индекс SCORAD $58,03 \pm 1,43$ балла.

По данным аллергологического анамнеза наследственная предрасположенность по аллергическим заболеваниям была выявлена у 38 (84,4%) детей. Из них у 18 (47,4%) детей семейный анамнез отягощен по линии обоих родителей, у 14 (36,8%) – по линии отца, у 6 (15,8%) – по линии матери. У родственников обследованных детей наиболее часто регистрировались такие аллергические заболевания, как поллиноз – у 14 (36,8%), АтД – у 7 (15,6%), ПА – у 3 (7,9%), бронхиальная астма – у 4 (10,5%), аллергический ринит – у 10 (26,3%).

По данным анамнеза, дебют заболевания у 42 (93,3%) детей приходился на первый год жизни. Причиной первых клинических проявлений у 18 (42,2%) детей было нарушение диеты матери на фоне грудного вскармливания, у 15 (33,3%) – на введение адаптированных молочных смесей, а у 12 (26,7%) – при употреблении прикорма.

При исследовании общего IgE в сыворотке крови у всех пациентов были обнаружены уровни выше нормативных значений ($p < 0,001$). Они составляли $273,9 [157,2$;

Таблица 1. Концентрация иммуноглобулинов IgA, IgM, IgG в сыворотке крови детей обследованных групп (Me [Q1; Q3], г/л)**Table 1.** Levels of serum IgA, IgM, IgG immunoglobulins in children of different groups (Me [Q1; Q3], g/l)

Группа обследованных / Group of surveyed	IgA	IgM	IgG
Основная группа (пациенты с atopическим дерматитом) / Patients with atopical dermatitis (n=45)	0,63 [0,42; 0,95]	0,84 [0,51; 1,1]	8,57 [7,17; 9,93]
Группа сравнения / Control group (n=20)	0,61 [0,41; 0,91]	0,77 [0,48; 1,08]	8,45 [7,2; 9,73]
p	0,246	0,136	0,053

Примечание. p – достоверность различий между группами.

Note. p – reliability of differences between groups.

597,2] МЕ/мл при норме <100 МЕ/мл. Отмечено статистически значимое повышение относительного количества эозинофилов в крови: $6,90 \pm 1,15\%$ при норме $4,35 \pm 0,83\%$ ($p < 0,05$). Высокие значения общего IgE и эозинофилов в крови свидетельствуют о ведущей роли IgE-опосредованных реакций у пациентов с АД, ассоциированных с ПА.

Сравнительный анализ уровней сывороточных иммуноглобулинов (IgA, IgM, IgG) у детей разных групп не показал статистически значимых различий ($p > 0,05$; табл. 1). Полученные значения всех исследуемых иммуноглобулинов находились в пределах возрастной нормы, что свидетельствует об отсутствии признаков недостаточности гуморального иммунного ответа у детей обеих групп.

Секреторный IgA играет ключевую роль в системе мукозального иммунитета, выполняя важные защитные функции. Этот специфический иммуноглобулин синтезируется плазматическими клетками лимфоидной ткани, ассоциированной со слизистыми оболочками (MALT-система), обеспечивает первую линию иммунной защиты и формирует иммунный барьер. Концентрация секреторного IgA в кале была статистически значимо ниже у пациентов с ПА, чем в группе сравнения, составив $32,3 [1,66; 50,7]$ против $61,4 \pm 3,2$ мкг/г ($p < 0,05$).

Формирование ПА в значительной мере связано с вовлечением в патологический процесс ЖКТ, слизистая оболочка которого является местом первого воз-

действия контакта с различными макромолекулами, в том числе пищевого происхождения. При этом нарушенное состояние кишечного барьера и его проницаемость играют ключевую роль в механизмах формирования оральной толерантности и развитии ПА [12]. Повышенная проницаемость кишечника тесно связана с воспалительным процессом и состоянием мукозального иммунитета (sIgA) в слизистой оболочке ЖКТ. Ее развитие может быть обусловлено воздействием высокомолекулярных пищевых аллергенов.

Считается, что одним из биомаркеров повышенной проницаемости кишечного барьера является белок зонулин, который отвечает за контроль прохождения жидкости, микроорганизмов, антигенов и иммунных клеток через кишечную стенку. Его повышенное содержание может способствовать чрезмерному поступлению антигенов в слизистую оболочку кишечника и приводить к еще большей проницаемости и снижению барьерной функции [12].

В рамках исследования проведена оценка состояния кишечного барьера у детей с использованием инновационного неинвазивного метода – определения уровня зонулина в фекалиях (табл. 2).

Согласно данным, представленным в табл. 2, у пациентов с легкой формой заболевания уровни фекального зонулина находились в пределах референсных значений, в то время как у пациентов со среднетяжелым течением выявлены его более высокие концентрации ($p < 0,05$). Повышенное содержание зонулина в копро-

Таблица 2. Уровень фекального зонулина (нг/мл) у детей с atopическим дерматитом, ассоциированным с пищевой аллергией, в зависимости от тяжести течения болезни (Me [Q1; Q3])**Table 2.** Faecal zonulin level (ng/ml) in children with atopical dermatitis associated with food allergies, depending on the severity of the disease (Me [Q1; Q3])

Показатель Indicator	Группа пациентов / Patient group		Группа сравнения Control group (n=20)	Референсные значения Reference values
	легкое течение mild course (n=26)	среднетяжелое течение moderate course (n=19)		
Зонулин Zonulin	26,5 [17,5; 62,3]	84,3 [67,8; 93,5]*	21,5 [13,2; 30,9]	<83,15 – нормальная проницаемость normal permeability 83,15–100 – повышенная проницаемость increased permeability

Примечание. * – статистически значимое ($p < 0,05$) отличие от показателя детей с легким течением пищевой аллергии и от группы сравнения.

Note. * – statistical significant difference ($p < 0.05$) from the indicator for children with mild course of food allergies and the control group.

Таблица 3. Показатели биомаркеров воспаления у детей обследованных групп (Me [Q1; Q3])

Table 3. Biomarkers of inflammation in children of different groups (Me [Q1; Q3])

Показатель Indicator	Пациенты с atopическим дерматитом Patients with atopic dermatitis (n=45)	Группа сравнения Control group (n=20)	p
Кальпротектин, мкг/г / Calprotectin, mcg/g	17,9 [14,3; 29,9]	18,5 [12,3; 42,0]	>0,05
Эозинофильный нейротоксин, нг/г / Eosinophilic neurotoxin, ng/g	1025,6 [328,0; 1739,5]	610,4 [300,2; 1102,0]	<0,05
Эозинофильный катионный белок в крови, нг/мл Eosinophilic cationic protein in the blood, ng/ml	35,23 [30,12; 39,78]	29,67 [25,43; 32,75]	<0,05

фильтратах свидетельствует о нарушении барьерной функции кишечника у пациентов со среднетяжелым течением заболевания.

Фекальный кальпротектин представляет собой высокоинформативный неинвазивный биомаркер, объективно отражающий интенсивность воспалительного процесса в кишечной слизистой оболочке. Этот кальций-связывающий белок, входящий в состав нейтрофилов, составляет до 60% всех растворимых белков их цитозоля. Также он выявляется в других типах иммунных клеток, таких как моноциты, макрофаги и эозинофилы, преимущественно в тканях подвздошной кишки [12]. Его физиологическая роль заключается в реализации важных защитных механизмов: при активации или гибели иммунокомпетентных клеток кальпротектин высвобождается в окружающие ткани, где проявляет выраженные антимикробные свойства; осуществляет иммуномодулирующее воздействие, регулируя миграцию лейкоцитов в очаг воспаления, и демонстрирует антипролиферативный эффект, контролируя избыточное клеточное деление [15, 16].

Воспаление в кишечнике изучали с помощью определения кальпротектина и эозинофильного нейротоксина в кале, а также эозинофильного катионного белка в сыворотке крови (табл. 3).

Содержание фекального кальпротектина в копрофильtrate у всех обследованных пациентов не отличалось от значений у детей из группы сравнения ($p>0,05$). В то же время у пациентов с ПА содержание эозинофильного нейротоксина в кале и концентрация эозинофильного катионного белка в сыворотке крови превышали показатели детей из группы сравнения, что подтверждает эозинофильный характер воспаления.

Сведения об авторах

Ревякина Вера Афанасьевна (Vera A. Revyakina) – доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением аллергологии и диетотерапии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», главный научный сотрудник лаборатории клинической иммунологии и аллергологии ФГАУ «НМИЦ здоровья детей» Минздрава России (Москва, Российская Федерация)

E-mail: 5356797@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1149-7927>

Мухортых Валерий Алексеевич (Valerii A. Mukhortykh) – кандидат медицинских наук, научный сотрудник отделения аллергологии и диетотерапии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», врач – аллерголог-иммунолог ФГБУ ФНКЦ ФМБА России (Москва, Российская Федерация)

E-mail: valera-89@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8549-9493>

Заключение

Пищевая аллергия представляет собой заболевание со сложным патогенезом и разнообразной клинической симптоматикой. В ходе проведенного исследования основным диагностическим критерием ПА выступал АтД, течение которого ухудшалось при употреблении продуктов с высоким аллергенным потенциалом. Выявленные изменения иммунологических показателей, включая повышенные концентрации общего IgE и эозинофильного катионного белка в сыворотке крови, а также увеличенное содержание эозинофильного нейротоксина в фекалиях, свидетельствуют о преобладании IgE-зависимых реакций и активации эозинофильного звена воспаления в кишечной стенке. Сниженные значения секреторного IgA отражают дисфункцию местных иммунных механизмов защиты слизистых оболочек. У пациентов с умеренной степенью тяжести заболевания обнаружено увеличение уровня зонулина в кале, что свидетельствует о повреждении целостности кишечного барьера. При этом нормальные показатели фекального кальпротектина исключают значительное участие нейтрофильного компонента в воспалительном процессе.

Таким образом, современные биохимические методы, включающие определение зонулина, эозинофильного нейротоксина, эозинофильного катионного белка и кальпротектина, позволяют объективно оценивать состояние кишечной проницаемости и характер воспалительного процесса при аллергических заболеваниях. Для оптимальной диагностики и контроля терапии рекомендуется комплексное использование этих биомаркеров, что дает возможность точно определять характер воспалительных изменений, подбирать адекватное лечение и мониторировать его эффективность.

Короткова Татьяна Николаевна (Tatiana N. Korotkova) – кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией клинической биохимии, аллергологии и иммунологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: tntisha@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3684-9992>

Ларькова Инна Анатольевна (Inna A. Larkova) – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отделения аллергологии и диетотерапии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», старший научный сотрудник лаборатории клинической иммунологии и аллергологии ФГАУ «НМИЦ здоровья детей» Минздрава России (Москва, Российская Федерация)

E-mail: inna_larkova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7640-0754>

Ворожко Илья Викторович (Ilya V. Vorozhko) – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории клинической биохимии, аллергологии и иммунологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: bio45@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2529-9152>

Кувшинова Елена Дмитриевна (Elena D. Kuvshinova) – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отделения аллергологии и диетотерапии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: len.kuvshinova@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3650-6305>

Литература

- Макарова С.Г., Балаболкин И.И., Фесенко А.П. Пищевая аллергия у детей и подростков: монография. Москва : ФГАУ «НМИЦ здоровья детей» Минздрава России, 2021. 288 с. ISBN: 978-5-6044834-5-9.
- Santos A.F., Riggioni C., Agache I., Akdis C.A., Akdis M., Alvarez-Perea A. et al. EAACI guidelines on the management of IgE-mediated food allergy // *Allergy*. 2025. Vol. 80, N 1. P. 14–36. DOI: <https://doi.org/10.1111/all.16345>
- Halken S., Muraro A., de Silva D., Khaleva E., Angier E., Arasi S. et al. EAACI guideline: Preventing the development of food allergy in infants and young children (2020 update) // *Pediatr. Allergy Immunol.* 2021. Vol. 32, N 5. P. 843–858. DOI: <https://doi.org/10.1111/pai.13496>
- Skypala I.J., Reese I., Durban R., Hunter H., Podesta M., Chaddad M.C.C. et al. Food allergy – a holistic approach to dietary management. A joint EAACI Research & Outreach Committee and INDANA review // *Pediatr. Allergy Immunol.* 2023. Vol. 34, N 9. Article ID 14019. DOI: <https://doi.org/10.1111/pai.14019>
- Warren C., Gupta R., Seetassith A., Schuldt R., Wang R., Iqbal A. et al. The clinical burden of food allergies: insights from the Food Allergy Research & Education (FARE) Patient Registry // *World Allergy Organ. J.* 2024. Vol. 17, N 3. Article ID 100889. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.waojou.2024.100889>
- Durban R., Groetch M., Meyer R., Coleman Collins S., Elverson W., Friebert A. et al. Dietary management of food allergy // *Immunol. Allergy Clin. N. Am.* 2021. Vol. 41, N 2. P. 233–270. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iac.2021.01.009>
- Novak-Wegrzyn A., Szajewska H., Lack F. Food allergy and the gut // *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 2017. Vol. 14, N 4. P. 241–257. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2016.187>
- Zhao W., Ho H.E., Bunyavanich S. The gut microbiome in food allergy // *Ann. Allergy Asthma Immunol.* 2019. Vol. 122, N 3. P. 276–282. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anai.2018.12.012>
- Lee K.H., Song Y., Yu K., Zhang G. The gut microbiota, environmental factors, and links to the development of food allergy // *Clin. Mol. Allergy*. 2020. Vol. 18. P. 5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12948-020-00120-x>
- Nance C.L., Deniskin R., Diaz V.C., Paul M., Anvari S., Anagnostou A. The role of the microbiome in food allergy: a review // *Children (Basel)*. 2020. Vol. 7, N 6. P. 50. DOI: <https://doi.org/10.3390/children7060050>
- Карпеева Ю.С., Новикова В.П., Хавкин А.И., Ковтун Т.А., Макаркин Д.В., Федотова О.Б. Микробиота и болезни человека: возможности диетической коррекции // *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2020. Т. 65, № 5. С. 116–125. DOI: <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-5-116-125>
- Приходченко Н.Г., Шуматова Т.А., Григорян Л.А., Гордеев А.В. Плотные межклеточные контакты и зонулин в формировании оральной толерантности и пищевой аллергии // *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2019. № 4. С. 5–9. DOI: <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2019-4-5-9>
- Yu J., Shen Y., Zhou N. Advances in the role and mechanism of zonulin pathway in kidney diseases // *Int. Urol. Nephrol.* 2021. Vol. 53, N 10. P. 2081–2088. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11255-020-02756-9>
- Ulluwishewa D., Anderson R.C., McNabb W.C., Moughan P.J., Wells J.M., Roy N.C. Regulation of tight junction permeability by intestinal bacteria and dietary components // *J. Nutr.* 2011. Vol. 141, N 5. P. 769–776. DOI: <https://doi.org/10.3945/jn.110.135657>
- Groneberg D., Voussen B., Friebe A. Integrative control of gastrointestinal motility by nitric oxide // *Curr. Med. Chem.* 2016. Vol. 23, N 24. P. 2715–2735. DOI: <https://doi.org/10.2174/0929867323666160812150907>
- Ревакина В.А., Мухомых В.А., Ларькова И.А., Сенцова Т.Б., Ворожко И.В., Кувшинова Е.Д. Оценка биомаркеров воспаления при использовании мультиштаммового пробиотика в комплексной терапии пищевой аллергии у детей // *Педиатрия. Журнал имени Г.Н. Сперанского*. 2020. Т. 99, № 2. С. 68–74. DOI: <https://doi.org/10.24110/0031-403X-2020-99-2-68-74>

References

- Makarova S.G., Balabolkin I.I., Fesenko A.P. Food allergies in children and adolescents: monograph. Moscow: National Medical Research Center for Children's Health Federal state autonomous institution of the Russian Federation Ministry of Health, 2021. 288 p. ISBN: 978-5-6044834-5-9. (in Russian)
- Santos A.F., Riggioni C., Agache I., Akdis C.A., Akdis M., Alvarez-Perea A., et al. EAACI guidelines on the management of IgE-mediated food allergy. *Allergy*. 2025; 80 (1): 14–36. DOI: <https://doi.org/10.1111/all.16345>
- Halken S., Muraro A., de Silva D., Khaleva E., Angier E., Arasi S., et al. EAACI guideline: Preventing the development of food allergy in infants and young children (2020 update). *Pediatr Allergy Immunol.* 2021; 32 (5): 843–58. DOI: <https://doi.org/10.1111/pai.13496>
- Skypala I.J., Reese I., Durban R., Hunter H., Podesta M., Chaddad M.C.C., et al. Food allergy – A holistic approach to dietary management. A joint EAACI Research & Outreach Committee and INDANA review. *Pediatr Allergy Immunol.* 2023; 34 (9): 14019. DOI: <https://doi.org/10.1111/pai.14019>
- Warren C., Gupta R., Seetassith A., Schuldt R., Wang R., Iqbal A., et al. The clinical burden of food allergies: insights from the Food Allergy Research & Education (FARE) Patient Registry. *World Allergy Organ J.* 2024; 17 (3): 100889. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.waojou.2024.100889>
- Durban R., Groetch M., Meyer R., Coleman Collins S., Elverson W., Friebert A., et al. Dietary management of food allergy. *Immunol Allergy*

- Clin N Am. 2021; 41 (2): 233–70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iac.2021.01.009>
7. Novak-Wegrzyn A., Szajewska H., Lack F. Food allergy and the gut. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* 2017; 14 (4): 241–57. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2016.187>
 8. Zhao W., Ho H.E., Bunyavanich S. The gut microbiome in food allergy. *Ann Allergy Asthma Immunol*. 2019; 122 (3): 276–82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anai.2018.12/012>
 9. Lee K.H., Song Y., Yu K., Zhang G. The gut microbiota, environmental factors, and links to the development of food allergy. *Clin Mol Allergy*. 2020; 18: 5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12948-020-00120-x>
 10. Nance C.L., Deniskin R., Diaz V.C., Paul M., Anvari S., Anagnostou A. The role of the microbiome in food allergy: a review. *Children (Basel)*. 2020; 7 (6): 50. DOI: <https://doi.org/10.3390/children7060050>
 11. Karpeeva Yu.S., Novikova V.P., Khavkin A.I., Kovtun T.A., Makarkin D.V., Fedotova O.B. Microbiota and human diseases: dietary correction. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii* [Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics]. 2020; 65 (5): 116–25. DOI: <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-5-116-125> (in Russian)
 12. Prikhodchenko N.G., Shumatova T.A., Grigoryan L.A., Gordeets A.V. Tight intercellular contacts and zonulin in the formation of oral tolerance and food allergies. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal* [Pacific Medical Journal]. 2019; (4): 5–9. DOI: <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2019-4-5-9> (in Russian)
 13. Yu J., Shen Y., Zhou N. Advances in the role and mechanism of zonulin pathway in kidney diseases. *Int Urol Nephrol*. 2021; 53 (10): 2081–8. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11255-020-02756-9>
 14. Ulluwishewa D., Anderson R.C., McNabb W.C., Moughan P.J., Wells J.M., Roy N.C. Regulation of tight junction permeability by intestinal bacteria and dietary components. *J Nutr*. 2011; 141 (5): 769–76. DOI: <https://doi.org/10.3945/jn.110.135657>
 15. Groneberg D., Voussen B., Friebe A. Integrative control of gastrointestinal motility by nitric oxide. *Curr Med Chem*. 2016; 23 (24): 2715–35. DOI: <https://doi.org/10.2174/0929867323666160812150907>
 16. Revyakina V.A., Mukhortykh V.A., Lar'kova I.A., Sentsova T.B., Vorozhko I.V., Kuvshinova E.D. Evaluation of biomarkers of inflammation when using a multi-strain probiotic in the complex therapy of food allergies in children. *Pediatrics. Zhurnal imeni G.N. Speranskogo* [Pediatrics Journal named after G.N. Speransky]. 2020; 99 (2): 68–74. DOI: <https://doi.org/10.24110/0031-403X-2020-99-2-68-74> (in Russian)

Для корреспонденции

Сазонова Ольга Викторовна – доктор медицинских наук, профессор, директор Института профилактической медицины, заведующий кафедрой гигиены питания с курсом гигиены детей и подростков ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России
 Адрес: 443099, Российская Федерация, г. Самара, ул. Чапаевская, д. 89
 Телефон: (846) 374-10-04 (доб. 4748)
 E-mail: o.v.sazonova@samsmu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4130-492X>

Сазонова О.В., Гаврюшин М.Ю., Хамцова Р.В., Манахова С.С.

Анализ компонентного состава тела пациентов с нарушениями углеводного обмена

Analysis of the body composition of patients with impaired carbohydrate metabolism

Sazonova O.V., Gavryushin M.Yu., Hamtsova R.V., Manakhova S.S.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 443099, г. Самара, Российская Федерация

Samara State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, 443099, Samara, Russian Federation

Распространенность нарушений углеводного обмена, таких как сахарный диабет (СД) 2 типа и инсулинорезистентность (ИР), сопутствующих общемировой пандемии ожирения, ставит современное здравоохранение перед необходимостью совершенствования диагностического инструментария, направленного на раннее выявление и дальнейшую оценку эффективности лечебных мероприятий. В диетологии и эндокринологии в качестве современного диагностического инструмента выделяется биоимпедансометрия. При этом актуальным вопросом для изучения становятся различия компонентного состава тела, а также накопление жировой массы у пациентов с нарушениями углеводного обмена.

Цель исследования – сравнительный анализ компонентного состава тела пациентов с СД 2 типа и ИР.

Материал и методы. Проведен анализ данных медицинских карт 1003 пациентов (61,8% женщин), получавших индивидуальные консультации врача-диетолога и врача-эндокринолога на базах лечебно-профилактических и диагностических организаций Самары. Пациенты были разделены на 3 группы в зависимости от анамнеза заболевания: с диагностированным СД 2 типа ($n=288$); с клинически установленной ИР ($n=319$) и без нарушений углеводного

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция исследования – Сазонова О.В.; дизайн исследования, написание текста – Гаврюшин М.Ю., Хамцова Р.В.; сбор и обработка данных – Манахова С.С.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Сазонова О.В., Гаврюшин М.Ю., Хамцова Р.В., Манахова С.С. Анализ компонентного состава тела пациентов с нарушениями углеводного обмена // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 4. С. 76–85. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-76-85>

Статья поступила в редакцию 15.04.2025. **Принята в печать** 21.07.2025

Funding. The study had no sponsorship.

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

Contribution. Research concept – Sazonova O.V.; research design, writing – Gavryushin M.Yu., Hamtsova R.V.; data collection and processing – Manakhova S.S.; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Sazonova O.V., Gavryushin M.Yu., Hamtsova R.V., Manakhova S.S. Analysis of the body composition of patients with impaired carbohydrate metabolism. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (4): 76–85. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-76-85> (in Russian)

Received 15.04.2025. **Accepted** 21.07.2025.

обмена ($n=396$). Проанализированы данные анамнеза заболеваемости и результаты биоимпедансометрии.

Результаты. Статистически значимые различия компонентного состава между пациентами с СД 2 типа, ИР и без нарушений углеводного обмена выявлены для женщин по всем параметрам, кроме активной клеточной и скелетно-мышечной массы в килограммах и основного обмена, для мужчин – кроме доли жировой массы. У пациентов с СД 2 типа выявлены наиболее высокие медианные значения массы тела и индекса массы тела (ИМТ), жировой массы, общей воды организма при наименьших показателях активной клеточной и скелетно-мышечной массы относительно тощей массы тела, а также текущего уровня метаболизма (удельный основной обмен и фазовый угол). Результаты оценки компонентного состава у пациентов разного пола имели статистически значимые различия ($p<0,001$) у группы с ИР и СД 2 типа для всех показателей, кроме жировой массы в килограммах и ИМТ. При этом в группе пациентов без нарушений углеводного обмена статистически значимых различий не выявлено ни по одному из показателей, кроме фазового угла и жировой массы в килограммах, что может указывать на наличие определенных половых особенностей влияния нарушений углеводного обмена на компонентный состав тела. Выявлены достоверные различия по показателям жировой массы и доли жировой массы для пациентов с наличием и отсутствием нарушений углеводного обмена в зависимости от ИМТ.

Заключение. Биоимпедансометрия как метод анализа структуры тела и пищевого статуса пациентов представляет собой эффективный и удобный в применении инструмент, способный выявить отклонения в накоплении жировой ткани и метаболических процессах у пациентов с нарушениями углеводного обмена. Различия в жировом компоненте состава тела у лиц с избыточной массой тела и ожирением при наличии и отсутствии СД 2 типа и ИР подтверждают необходимость оценки компонентного состава тела у пациентов диетологического и эндокринологического профилей для раннего выявления указанных нарушений и контроля за ними ввиду диабетогенного влияния жировой ткани.

Ключевые слова: компонентный состав тела; углеводный обмен; ожирение; сахарный диабет 2 типа; инсулинорезистентность; диетология

The prevalence of carbohydrate metabolism disorders, such as type 2 diabetes mellitus and insulin resistance, associated with the global obesity pandemic, makes modern healthcare necessary to improve diagnostic tools aimed at early detection and further evaluation of the effectiveness of therapeutic measures. Bioimpedance is a modern diagnostic tool in dietetics and endocrinology. Differences in body composition, as well as the accumulation of fat mass in patients with impaired carbohydrate metabolism, become an urgent issue to study.

The purpose of the study was to conduct a comparative analysis of the body composition of patients with type 2 diabetes mellitus (DM2) and insulin resistance (IR).

Material and methods. The analysis of medical records of 1003 patients who received individual consultations from a dietitian and an endocrinologist at the bases of medical, preventive and diagnostic organizations in Samara has been carried out. The patients were divided into three groups depending on the disease history: with diagnosed DM2 (288 people); with clinically established IR (319 people) and without carbohydrate metabolism disorders (396 people). The data of the morbidity history and the results of bioimpedance have been analyzed.

Results. A significant difference in the component composition between patients with DM2, insulin resistance and without impaired carbohydrate metabolism was revealed in all parameters, except for active cellular and musculo-skeletal mass in kilograms and basal metabolism in women and except for the percentage of fat mass in men. DM2 patients were found to have the highest median values of body weight and body mass index (BMI), fat mass, total body water, and the lowest values of active cellular and skeletal muscle mass relative to lean body mass, as well as the current metabolic rate (specific basal metabolic rate and phase angle). The results of the component composition in patients of different sexes had a statistically significant difference ($p<0.001$) in patients with IR and DM2 for all indicators except body fat mass in kilograms and BMI. At the same time, in the group of patients without carbohydrate metabolism disorders, statistically significant differences were not found for any of the indicators, except for the phase angle and fat mass in kilograms, which may indicate the presence of certain gender-specific characteristics of the influence of carbohydrate metabolism disorders on the component composition of the body. Significant differences in fat mass and proportion of fat mass were found for patients with and without carbohydrate metabolism disorders depending

on the body mass index. There were also significant differences in fat mass and the fat mass available for patients with and without impaired carbohydrate metabolism, depending on BMI.

Conclusion. Bioelectrical impedance analysis as a method of analyzing the body structure and nutritional status of patients is an effective and easy-to-use tool capable of detecting abnormalities in the accumulation of adipose tissue and metabolic processes in patients with impaired carbohydrate metabolism. Differences in the fat component of body composition in individuals with excess body weight and obesity in the presence and absence of DM2 and IR confirm the need to assess the body composition in patients of dietary and endocrinological profiles for early detection of these disorders and their control in view of the diabetogenic effect of adipose tissue.

Keywords: body component composition; carbohydrate metabolism; obesity; type 2 diabetes mellitus; insulin resistance; dietetics

Актуальной и быстрорастущей медико-социальной проблемой современного здравоохранения является сахарный диабет (СД) 2 типа вследствие его широкой распространенности и высокой частоты смертности и инвалидизации по причине макро- и микрососудистых осложнений.

Согласно официальным данным Международной диабетической федерации, численность взрослых больных СД к концу 2021 г. достигла 534 млн человек и, по прогнозам, к 2030 г. превысит 634 млн, а к 2045 г. составит 783 млн человек по всему миру [1]. Численность пациентов с СД будет ежегодно увеличиваться на 10–11 млн человек за счет людей из зоны высокого риска, имеющих ожирение и нарушение толерантности к глюкозе (предиабет), которых на данный момент более 541 млн [1, 2]. По данным национального эпидемиологического кросс-секционного исследования, проведенного на территории РФ, распространенность предиабета варьирует от 10,3% в Северо-Кавказском федеральном округе до 22,0% в Центральном [3].

В Российской Федерации уровень заболеваемости СД, как и другими заболеваниями из группы болезней эндокринной системы, расстройств питания и нарушений обмена веществ, не только остается высоким, но и с 2020 г. имеет устойчивую тенденцию к росту: заболеваемость на 100 тыс. человек в 2020 г. составила 217,9, в 2021 г. – 235,0, в 2022 г. – 254,5, в 2023 – 292,4 [4]. Самарская область при этом входит в группу регионов с высокой распространенностью СД 2 типа – более 3000 случаев заболевания на 100 тыс. населения, что превышает средние показатели РФ на 4,3% [5].

СД 2 типа является причиной развития таких осложнений, как заболевания почек, ретинопатия, нейропатия, заболевания периферических артерий и трофические язвы стопы; он способствует развитию повышенного риска переломов [6, 7].

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в тех странах, где ведется статистический учет осложнений СД 2 типа, ежегодно проводится около 1 млн ампутаций нижних конечностей, регистрируется более 600 тыс. случаев потери зрения и около 500 тыс. случаев хронической почечной недостаточности [8].

В Российской Федерации динамика распространенности сосудистых осложнений СД 2 типа в 2018–2020 гг. показала прирост по всем патологиям, кроме диабетической

ретинопатии и цереброваскулярных болезней, диабетическая нефропатия при этом выросла на 97,8%, то есть практически в 2 раза [5]. В Самарской области прирост распространенности нефропатии составил 53,3%, цереброваскулярных болезней – 11,1%, ампутаций – 9,1%, инфаркта миокарда – 5,1%, а распространенность ретинопатии снизилась на 1,7% [5].

Начиная с 2000 г. неуклонно растет смертность от СД. За 2021 г. СД стал причиной 6,7 млн смертей по всему миру: 1 смерть каждые 5 с [1]. Около 11% смертей от заболеваний сердечно-сосудистой системы были вызваны высоким содержанием глюкозы в крови, еще 530 тыс. случаев смерти произошло по причине заболеваний почек, вызванных СД [5]. Сердечно-сосудистые события (инфаркт миокарда, сердечная недостаточность, нарушения мозгового кровообращения) являются основной причиной смерти более 60% пациентов с СД 2 типа [9]. Изучение медико-эпидемиологических показателей СД в Российской Федерации выявило значительный рост смертности пациентов с СД 2 типа в Самарской области, вероятно, связанный с пандемией COVID-19: 5547 случаев в 2020 г. по сравнению с 3854 в 2018 г., рост +44,6% [5]. Прирост коэффициента смертности в Российской Федерации составил 7,1%. При этом в структуре причин смерти преобладали болезни системы кровообращения.

Особую опасность представляет также тот факт, что истинная численность больных диабетом только в Российской Федерации превышает статистические данные в 3–4 раза: на каждого пациента с СД приходится несколько человек, у которых СД еще не диагностирован [2].

С увеличением численности пациентов с СД 2 типа неразрывно связана общемировая пандемия ожирения – у 90% людей с СД 2 типа также выявляется ожирение [10]. Риск развития СД увеличивается по мере увеличения избыточной массы тела даже при отсутствии генетической предрасположенности: ожирение I степени повышает шанс развития СД 2 типа в 2 раза, ожирение II степени – в 5 раз, III степени – более чем в 10 раз [11, 12]. При отягощенном семейном анамнезе ожирение увеличивает риски развития СД 2 типа в 15 раз [9].

Более 2 млрд человек в мире имеют избыточную массу тела, в России – каждый 2-й, при этом 29,7% россиян страдают ожирением [13]. По данным ВОЗ, рост

числа людей с избыточной массой тела является одной из основных проблем мирового здравоохранения, избыточная масса тела в экономически развитых странах наблюдается более чем у 50% населения, из них у 30% диагностируется ожирение, при этом треть всех выявленных в мире случаев ожирения приходится всего на 5 стран, в число которых входит и Россия [10, 14].

Кроме того, ожирение является одним из ведущих факторов риска развития инсулинорезистентности (ИР), которая, в свою очередь, становится центральным механизмом эволюции СД 2 типа и генерализованного метаболического синдрома (совокупность нарушений углеводного обмена, ожирения и факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний) [15–17]. Результаты исследований выявляют тесную взаимосвязь между ИР, гиперинсулинемией и артериальной гипертензией [13].

В совокупности с ожирением ИР становится фактором риска для сердечно-сосудистых заболеваний, болезней печени и нарушений репродуктивной функции у мужчин и женщин [13].

Ожирение, ИР и СД 2 типа, а также связанные с ними метаболические нарушения и возникающие на их фоне осложнения приводят к инвалидизации пациентов, что требует повышенного контроля со стороны здравоохранения, а также донозологического контроля. В связи с чрезвычайно высоким уровнем распространенности СД 2 типа возрастная планка начала обследования на нарушения углеводного обмена снизилась с 45 до 35 лет [14].

Актуальной темой для изучения становится анализ компонентного состава тела, в том числе жировой массы, у лиц с СД и ИР. Современным диагностическим методом, применяемым при комплексном подходе к лечению пациентов с избыточной массой тела и ожирением, является биоимпедансометрия (БИА) [18]. Данный метод позволяет не только получить данные для коррекции и оценки эффективности проводимых лечебных мероприятий, но и выявить скрытое ожирение, или ожирение при нормальной массе тела, – избыток жировой массы при нормальных показателях индекса массы тела (ИМТ), что играет важную роль для профилактики развития ИР на самых ранних этапах.

Цель исследования – сравнительный анализ компонентного состава тела пациентов с СД 2 типа и с ИР.

Материал и методы

Был проведен анализ данных медицинских карт 1003 пациентов, получавших индивидуальные консультации врача-диетолога и врача-эндокринолога на базах лечебно-профилактических и диагностических организаций Самары, среди них 620 (61,8%) женского пола и 383 (38,2%) мужского.

Пациенты были разделены на 3 группы в зависимости от анамнеза заболевания: 1-я группа – с диагностированным СД 2 типа ($n=288$), 2-я группа – с лабораторно установленной ИР ($n=319$), 3-я группа – без нарушений

углеводного обмена ($n=396$). Средний возраст пациентов составил $42,1 \pm 5,7$ года для лиц мужского пола, $40,6 \pm 4,4$ года – для лиц женского пола, статистически значимых различий между средним возрастом пациентов разных групп не выявлено.

Всем пациентам перед каждой консультацией измеряли длину и массу тела, а также обхват талии и бедер с использованием стандартной антропометрической методики, рассчитывали индекс талия/бедра. На основании данных антропометрии определяли ИМТ, классифицируемый согласно клиническим рекомендациям [19]: $<18,5 \text{ кг/м}^2$ – недостаточная масса тела; $18,5\text{--}24,9 \text{ кг/м}^2$ – нормальная масса тела; $25,0\text{--}29,9 \text{ кг/м}^2$ – избыточная масса тела; $30\text{--}34,99 \text{ кг/м}^2$ – ожирение I степени; $35\text{--}39,99 \text{ кг/м}^2$ – ожирение II степени; 40 кг/м^2 и более – ожирение III степени.

На первичном приеме всем пациентам проведена БИА. Компонентный состав тела определяли с помощью прибора ABC-01 «Медасс» по стандартной тетраполярной схеме с использованием одноразовых биоадгезивных электродов [20]. Проанализированы показатели компонентного состава тела: жировая масса (кг), доля жировой массы (%), тощая масса (кг), активная клеточная масса (АКМ, кг), процентная доля АКМ в тощей массе (%АКМ), скелетно-мышечная масса (СММ, кг), процентная доля СММ в тощей массе (%СММ) и общая вода организма (кг). Также проведена оценка уровня метаболизма: основной обмен (ккал) и удельный основной обмен (ккал/м²), фазовый угол (град.).

Первичные результаты антропометрии и компонентного состава тела пациентов с нарушениями углеводного обмена были зарегистрированы в форме базы данных [21].

Статистическую обработку первичных данных проводили в программе IBM SPSS Statistics 28 (IBM, США). Для определения нормальности распределения полученных результатов применяли критерий Шапиро–Уилка. Поскольку оценка нормальности распределения показала, что распределение показателей отличалось от нормального ($p < 0,001$), для оценки статистической значимости результатов применяли U -критерий Манна–Уитни и критерий Краскела–Уоллиса. Рассчитывали описательные статистики: медиану (Me) и межквартильные интервалы (25-й; 75-й перцентили). Для изучения степени корреляционной зависимости между показателями использовали коэффициент корреляции Спирмена. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Результаты проведенной оценки пищевого статуса по компонентному составу тела у пациентов с нарушениями углеводного обмена и без них показали статистически значимые различия.

В табл. 1 представлены результаты оценки антропометрических показателей компонентного состава тела

Таблица 1. Результаты биоимпедансометрии и антропометрии пациентов женского пола (*Me* [Q1; Q3])Table 1. Results of bioimpedance and anthropometry of female patients (*Me* [Q1; Q3])

Показатель / Indicator	Пациенты без нарушений углеводного обмена Patients without disorders of carbohydrate metabolism (n=288)	Пациенты с инсулино-резистентностью Patients with insulin resistance (n=180)	Пациенты с сахарным диабетом 2 типа Patients with type 2 diabetes mellitus (n=152)
Длина тела, см / Body length, cm	168,8 [152,0; 180,0]	166,3 [150,4; 177,2]	167,0 [161,3; 178,4]
Масса тела, кг / Body weight, kg	77,5* [70,8; 94,3]	86,4* [71,5; 106,6]	93,9* [80,4; 99,6]
Окружность талии, см / Waist circumference, cm	90,1* [74,0; 105,0]	96,2* [83,4; 111,2]	99,1* [90,0; 119,0]
Окружность бедер, см / Hip circumference, cm	114,9 [104,2; 121,6]	114,2 [106,0; 122,0]	115,4 [104,0; 120,0]
Индекс талия/бедра / Waist/hip ratio	0,9 [0,7; 1,0]	0,8 [0,7; 1,0]	0,9 [0,8; 1,0]
ИМТ, кг/см ² / Body mass index, kg/cm ²	27,6* [23,8; 32,35]	31,9* [27,6; 35,6]	37,5* [31,9; 41,7]
Основной обмен, ккал/сут / Basal metabolic rate, kcal/day	1453,0 [1362,5; 1588,5]	1455,0 [1405,0; 1530,0]	1473,0 [1418,0; 1571,0]
Удельный основной обмен, ккал/м ² Specific basal metabolic rate, kcal/m ²	796,0* [761,0; 836,0]	760,0* [725,0; 790,0]	747,0* [711,0; 768,0]
Фазовый угол, град. / Phase angle, degree	6,5* [6,0; 6,9]	6,4* [5,9; 6,7]	5,8* [5,3; 6,4]
Жировая масса, кг / Fat mass, kg	28,9* [21,7; 38,1]	38,0* [31,9; 47,6]	45,9* [36,3; 51,8]
Доля жировой массы, % / Percentage of fat mass, %	37,4* [31,5; 42,9]	44,1* [40,6; 47,8]	47,0* [41,9; 49,6]
Тощая масса, кг / Lean body mass, kg	47,5* [42,7; 55,35]	48,3* [45,5; 53,0]	51,9* [48,4; 56,7]
АКМ, кг / Active cell mass (ACM), kg	26,5 [23,6; 30,8]	26,6 [25,0; 28,9]	27,1 [25,4; 30,2]
Процентная доля АКМ в тощей массе Percentage of ACM in lean body mass	55,9* [53,9; 58,15]	53,6* [51,1; 57,2]	52,9* [49,9; 55,7]
СММ, кг / Skeletal muscle mass (SMM), kg	21,0 [18,9; 25,0]	21,0 [19,3; 22,6]	21,7 [20,0; 24,0]
Процентная доля СММ в тощей массе Percentage of SMM in lean body mass	45,1* [43,1; 47,5]	43,3* [41,7; 44,8]	41,8* [40,3; 43,2]
Общая вода организма, кг / Total body water, kg	34,8* [31,3; 40,5]	35,4* [33,3; 38,8]	38,0* [35,4; 41,5]

Примечание. Здесь и в табл. 2: * – статистически значимое ($p < 0,05$) отличие от аналогичного показателя во всех других группах сравнения. Расшифровка аббревиатур дана в тексте.

Note. Here and in table 2: * – statistically significant difference ($p < 0.05$) from the indicators in each group from similar indicators in all other groups.

для пациентов женского пола. Выявлены достоверные различия между группами пациенток таких результатов антропометрии, как масса тела, ИМТ и окружность талии, а также всех параметров компонентного состава, кроме АКМ и СММ в килограммах, и основного обмена. У пациентов с СД 2 типа выявлены наиболее высокие медианные значения массы тела и ИМТ, жировой массы и ее доли, общей воды организма при наименьших показателях АКМ и СММ относительно общей массы тела. Для пациентов с СД 2 типа также были характерны низкие значения таких показателей текущего уровня метаболизма, как удельный основной обмен и фазовый угол.

В табл. 2 представлены результаты для пациентов мужского пола. Статистически значимые различия были выявлены по антропометрии для массы тела, ИМТ и окружности талии, так же как и в группе пациентов женского пола, и между всеми показателями компонентного состава тела, кроме доли жировой массы. У пациентов с СД 2 типа выявлены самые высокие значения массы тела и ИМТ, жировой массы, а также общей воды организма. При этом показатели метаболически активных тканей (АКМ и СММ), а также текущего уровня метаболизма (основной и удельный основной обмен, фазовый угол) имели самые низкие значения в группе пациентов без нарушений углеводного обмена.

Результаты БИА для разного пола имели статистически значимые различия ($p < 0,001$) у пациентов с ИР и СД 2 типа для всех показателей, кроме жировой массы в килограммах и ИМТ. При этом в группе пациентов без нарушений углеводного обмена статистически значимых различий не выявлено ни по одному показателю, кроме фазового угла и жировой массы в килограммах, что может указывать на наличие определенных половых особенностей влияния нарушений углеводного обмена на компонентный состав тела.

Интерес представляет отсутствие у пациентов мужского и женского пола без патологии углеводного обмена статистически значимых различий между показателями СММ, которые выявляются при популяционных исследованиях компонентного состава тела населения РФ [22]. Несмотря на то что количественные значения данного показателя достоверных различий не имеют, полученные медианные значения СММ для пациентов мужского пола соответствуют очень низким показателям (ниже 3-го центиля), а для женщин – средним (от 25-го до 75-го центиля) относительно их возрастной группы [22].

Учитывая взаимосвязь заболеваемости ожирением, СД 2 типа и ИР, стоит подробно рассмотреть жировой компонент состава тела.

ИР является патогенетическим звеном развития нарушений углеводного обмена у пациентов с избыточной

Таблица 2. Результаты биоимпедансометрии и антропометрии пациентов мужского пола (Me [Q1; Q3])

Table 2. Results of bioimpedance and anthropometry of male patients (Me [Q1; Q3])

Показатель / Indicator	Пациенты без нарушений углеводного обмена Patients without disorders of carbohydrate metabolism (n=108)	Пациенты с инсулино-резистентностью Patients with insulin resistance (n=139)	Пациенты с сахарным диабетом 2 типа Patients with type 2 diabetes mellitus (n=136)
Длина тела, см / Body length, cm	178,4 [170,1; 187,4]	178,2 [169,3; 186,1]	180,9 [176,2; 187,1]
Масса тела, кг / Body weight, kg	92,7* [83,0; 120,0]	101,5* [86,3; 113,4]	109,0* [94,4; 121,2]
Окружность талии, см / Waist circumference, cm	95,0* [87,0; 115,0]	102,7* [90,0; 115,0]	107,5* [95,0; 121,0]
Окружность бедер, см / Hip circumference, cm	113,2 [105,0; 122,0]	110,0 [105,0; 116,0]	113,2 [106,0; 127,0]
Индекс талия/бедра / Waist/hip ratio	0,9 [0,7; 1,0]	0,9 [0,8; 1,0]	0,9 [0,8; 1,0]
ИМТ, кг/см ² / Body mass index, kg/cm ²	28,7* [24,5; 31,6]	32,7* [29,6; 36,5]	36,0* [31,7; 43,1]
Основной обмен, ккал/сут Basal metabolic rate, kcal/day	1470,0* [1375,7; 1584,5]	1890,5* [1745,0; 1997,7]	1926,0* [1826,0; 1987,0]
Удельный основной обмен, ккал/м ² Specific basal metabolic rate, kcal/m ²	789,0* [736,6; 832,0]	832,5* [805,0; 865,0]	824,0* [768,5; 863,0]
Фазовый угол, град. / Phase angle, degree	6,3* [5,9; 7,1]	7,1* [6,6; 7,5]	6,7* [6,0; 7,2]
Жировая масса, кг / Fat mass, kg	30,5* [24,0; 39,2]	38,1* [28,8; 48,4]	46,7* [33,1; 59,7]
Доля жировой массы, % / Percentage of fat mass, %	38,2 [33,5; 43,8]	35,6 [31,6; 40,3]	39,2 [32,5; 42,8]
Тошная масса, кг / Lean body mass, kg	48,9* [42,7; 55,6]	68,3* [61,2; 76,6]	71,4* [68,0; 78,0]
АКМ, кг / Active cell mass (ACM), kg	27,0* [24,0; 30,7]	40,3* [35,7; 43,7]	41,5* [38,3; 43,4]
Процентная доля АКМ в тошней массе Percentage of ACM in lean body mass	55,5* [53,2; 58,6]	58,8* [56,7; 60,5]	57,1* [54,0; 59,3]
СММ, кг / Skeletal muscle mass (SMM), kg	21,4* [18,6; 24,2]	32,4* [30,2; 35,6]	33,1* [30,5; 34,9]
Процентная доля СММ в тошней массе Percentage of SMM in lean body mass	44,6* [42,4; 47,5]	48,4* [46,7; 49,2]	46,5* [44,7; 47,6]
Общая вода организма, кг / Total body water, kg	35,8* [29,4; 40,7]	50,0* [44,8; 56,1]	52,2* [49,8; 57,0]

массой тела и ожирением на фоне гипертрофии и дисфункции жировых клеток. Современные исследования рассматривают жировую ткань как отдельный эндокринный орган, синтезирующий значительное количество гормонов и биологически активных веществ, а ожирение – одним из факторов развития нарушений углеводного обмена [13, 15].

Гипертрофия адипоцитов, сопровождающая ожирение, приводит к дисбалансу их секреторной деятельности и снижению плотности инсулиновых рецепторов, что и является одной из возможных причин развития ИР. Именно эти процессы становятся ключевыми факторами развития ИР. При этом возможна и обратная связь: на фоне ИР возникает компенсаторное увеличение производства инсулина поджелудочной железой – гиперинсулинемия, которая в свою очередь стимулирует дальнейшее накопление жировой ткани и развитие сопутствующих осложнений [13]. В результате замыкается порочный круг: ИР способствует накоплению жира, а избыточная масса тела усугубляет ИР. Таким образом, патогенез сопутствующих ожирению метаболических нарушений основывается на взаимосвязи дисфункции жировой ткани и ИР, что в свою очередь приводит к повышению риска развития СД 2 типа.

Результаты исследований диабетогенного влияния жировой ткани показывают, что размеры адипоцитов у пациентов с СД 2 типа в 1,5–2 раза больше, чем у пациентов без нарушений углеводного обмена [9]. Увеличе-

ние размеров жировых клеток у пациентов с СД также сопровождается инфильтрацией жировой ткани, особенно висцеральной, провоспалительными популяциями макрофагов, что в свою очередь способствует развитию ИР и дальнейшим нарушениям углеводного обмена [9]. Приведенное исследование показывает сложное взаимодействие генетических, клеточных и гормональных факторов у лиц с ожирением: ИР и СД 2 типа развиваются у группы пациентов с низкой экспрессией генов пролиферации и дифференцировки мезенхимальных стволовых клеток адипоцитов.

Кроме того, необходимо учитывать, что ряд сахароснижающих препаратов также способствует набору жировой массы тела и задержке жидкости [23].

Таким образом, актуален вопрос различий в жировом компоненте лиц с избыточной массой тела и ожирением при наличии и отсутствии нарушений углеводного обмена.

Показатели жирового компонента у групп пациентов с различными значениями ИМТ при наличии или отсутствии нарушений углеводного обмена представлены в табл. 3.

Помимо очевидной закономерности увеличения содержания жировой массы тела при увеличении ИМТ, результаты БИА показали определенные гендерные особенности и различия у групп пациентов. Статистически значимые различия ($p < 0,001$) жировой массы и доли жировой массы отмечаются у пациентов разного пола при сравнении групп пациентов с СД 2 типа и ИР с избы-

Таблица 3. Показатели жирового компонента у обследованных с различными значениями индекса массы тела (Me [Q1; Q3])

Table 3. Indicators of the fat component in the examined individuals with different body mass index values (Me [Q1; Q3])

Группа Group	Избыточная масса (ИМТ от 25 до 29,9 кг/м²) Overweight (BMI from 25 to 29,9 kg/m²)		Ожирение (ИМТ более 30 кг/м²) Obesity (BMI over 30 kg/m²)	
	жировая масса, кг fat mass, kg	доля жировой массы, % percentage of fat mass, %	жировая масса, кг fat mass, kg	доля жировой массы, % percentage of fat mass, %
Женщины / Female				
Пациенты с СД 2 типа Patients with type 2 diabetes mellitus	26,4*** [23,6; 32,3]	37,7* [33,7; 40,6]	48,0** [43,3; 52,8]	47,6* [45,3; 50,0]
	n=33		n=116	
Пациенты с ИР Patients with insulin resistance	30,8*** [27,4; 34,0]	40,6*** [37,2; 42,2]	44,2** [39,3; 52,4]	47,2* [43,9; 49,9]
	n=42		n=135	
Пациенты без нарушений углеводного обмена Without disorders of carbohydrate metabolism	28,4** [23,9; 31,9]	37,6 [33,6; 40,3]	41,4** [36,8; 48,1]	44,3** [39,9; 48]
	n=120		n=158	
Мужчины / Male				
Пациенты с СД 2 типа Patients with type 2 diabetes mellitus	20,8*** [17,0; 23,7]	25,6*** [23,6; 27,3]	49,2** [38,7; 60,2]	40,0*** [35,5; 43,2]
	n=30		n=104	
Пациенты с ИР Patients with insulin resistance	26,8*** [23,9; 28,8]	29,3*** [27,7; 32,6]	42,8 [34,4; 53,9]	38,9*** [35,0; 42,6]
	n=30		n=106	
Пациенты без нарушений углеводного обмена Without disorders of carbohydrate metabolism	30,0** [25,7; 33,6]	38,9** [35,5; 41,9]	41,4 [35,8; 51,9]	44,5** [38,3; 48,4]
	n=36		n=69	

Примечание. Статистически значимое ($p < 0,001$) различие между показателями: * – у пациентов мужского и женского пола; ** – у пациентов разных групп; *** – как среди пациентов разного пола, так и по выделенным группам. Расшифровка аббревиатур дана в тексте.

Note. Statistically significant difference ($p < 0,001$): * – in indicators in male and female patients; ** – in patients of different groups; *** – both between female and male patients and in selected groups.

точной массой тела, а также для доли жировой массы в этих же группах при ИМТ, соответствующему ожирению. Не выявлено статистически значимых различий для пациентов без нарушений углеводного обмена как при избыточной массе тела, так и при ожирении. При этом более высокие значения жирового компонента выявляются у пациентов женского пола.

У женщин наиболее высокие результаты оценки жирового компонента определяются в группе с ИР при избыточной массе тела, а в группе с ожирением – у пациентов с СД 2 типа. У мужчин с избыточной массой тела и ожирением наиболее высокие значения жирового компонента выявляются у пациентов без нарушений углеводного обмена за исключением величины жировой массы при ИМТ более 30 кг/м².

При сравнении разных групп пациентов в рамках одной половой группы как для мужчин, так и для женщин выявляются статистически значимые различия по всем показателям, кроме следующих: у женщин не выявлено достоверных различий по доле жировой массы у лиц с избыточной массой тела при сравнении пациентов с СД 2 типа и без нарушений углеводного обмена, с ожирением – при сравнении пациентов с СД 2 типа и ИР. У лиц мужского пола не выявлено достоверных различий по жировой массе среди пациентов с ИР и без нарушений углеводного обмена при ИМТ более 30 кг/м².

Учитывая диабетогенное влияние жировой ткани на организм, а также прочие связанные с ее избытком заболевания, контроль за жировой массой особенно

важен для пациентов с высоким риском развития эндокринопатий как диагностический критерий и как показатель эффективности проводимых диетологических программ. Исследования показывают, что снижение массы тела на 5–10% от начальной значительно снижает риск для здоровья, вызванный ожирением, и приводит к снижению кардиореспираторного риска и риска развития СД 2 типа на 58% [23].

Необходимо учитывать, что достижение клинически значимого результата затрудняется ввиду гормональных и метаболических нарушений у пациентов с наличием СД 2 типа и ИР, а также приема препаратов, снижающих сахар и ассоциированных с набором массы тела [23]. Даже при достаточном снижении массы тела при качественном изменении образа жизни в долгосрочной перспективе эффект ускользает [24].

БИА, получившая широкое применение в диетологии в последнее время, продолжает активно внедряться в клиническую практику для диагностики различных патологий и состояний: сердечно-сосудистых заболеваний и патологий сосудов, заболеваний органов брюшной полости, почек и легких [18]. Существует опыт применения БИА для отслеживания динамики течения метаболического синдрома у пациентов на фоне санаторно-курортного лечения [25].

Несмотря на широкое применение БИА как дополнительного метода диагностики и отслеживания динамики при терапии пациентов с ожирением, исследований по применению данного метода диагностики при ведении пациентов с нарушениями углеводного обмена в науч-

ных электронных библиотеках практически не представлено. Исследование связи БИА абдоминальной области с морфологическими и биохимическими признаками показало наличие корреляции результатов локального импеданса и маркеров риска кардиометаболических заболеваний (в числе которых абдоминальное ожирение, ИР и доля жировой массы), которые в теории позволяют рассматривать данный метод как один из критериев для оценки нарушений углеводного обмена [26]. БИА также применялась в исследовании влияния полиморфных маркеров генов, ответственных за метаболизм жиров и углеводов, на эффективность диетотерапии при нарушениях углеводного обмена, которое показало, что уменьшение жирового компонента способствует повышению чувствительности тканей к инсулину и снижению риска развития СД 2 типа [27].

Данные зарубежных исследований показывают перспективность внедрения методов оценки распределения жировой ткани в организме, особенно для пациентов с высокими рисками развития СД и сердечно-сосудистых заболеваний [28]. При этом метаболическим фактором, влияющим на развитие сопутствующих заболеваний, выделяют адипоциты висцеральной жировой ткани и эктопические жировые отложения [29, 30]. Результаты Фремингемского исследования сердца показали, что для женщин количественная оценка висцерального жира позволяет более точно оценить кардиометаболические риски, чем антропометрические показатели, в то время как у мужчин ИМТ продемонстрировал ту же взаимосвязь с сердечно-сосудистым риском, что и результаты оценки компонентного состава тела [31].

Заключение

Ожирение и СД 2 типа являются опасными пандемическими заболеваниями, имеющими негативные тенденции в общемировом масштабе. Несмотря на прикла-

даваемые современным здравоохранением усилия по предупреждению, диагностике и лечению данных патологий, рост избыточной массы тела и патологий углеводного обмена наблюдается во всех развитых странах мира.

Понимание особенностей пищевого статуса таких пациентов позволит разработать более эффективные стратегии лечения в целом и диетотерапии в частности, в том числе комплексные, включающие применение аппаратных и инструментальных методик, а также выявить факторы риска, определение которых необходимо для ранней диагностики основного и сопутствующих заболеваний.

В этих условиях особую актуальность имеет совершенствование диагностического инструментария, направленного на раннее выявление нарушений, вызванных метаболическими процессами, которые запускаются ИР и избытком жировой массы. БИА как метод оценки компонентного состава тела и пищевого статуса пациентов является эффективным и простым в использовании инструментом для врачей диетологического и эндокринологического профиля, позволяя оценить не только антропометрические показатели (ИМТ, индекс талия/бедро), но и жировой компонент.

Избыток жировой ткани способствует хроническому воспалительному процессу в организме, нарушает чувствительность тканей к инсулину, что ведет к дальнейшему усугублению дисбаланса углеводного обмена. Оценка жировой массы с помощью БИА позволяет не только выявить избыточное накопление жировых отложений, но и провести более точный анализ структуры массы тела, что важно для индивидуализации лечебно-профилактических мероприятий у пациентов с СД 2 типа и ИР.

Для наиболее продуктивного использования этого метода в практическом поле необходимо дальнейшее изучение влияния нарушений углеводного обмена на здоровье человека, а также имеющихся половых различий в накоплении жировой массы тела.

Сведения об авторах

ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России (Самара, Российская Федерация):

Сазонова Ольга Викторовна (Olga V. Sazonova) – доктор медицинских наук, профессор, директор Института профилактической медицины, заведующий кафедрой гигиены питания с курсом гигиены детей и подростков

E-mail: o.v.sazonova@samsmu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4130-492X>

Гаврюшин Михаил Юрьевич (Mikhail Yu. Gavryushin) – кандидат медицинских наук, доцент, заместитель директора Института профилактической медицины, доцент кафедры гигиены питания с курсом гигиены детей и подростков

E-mail: m.yu.gavryushin@samsmu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0897-7700>

Хамцова Регина Викторовна (Regina V. Hamtsova) – ассистент кафедры гигиены питания с курсом гигиены детей и подростков

E-mail: r.v.hamtsova@samsmu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6747-5954>

Манахова Софья Сергеевна (Sofia S. Manakhova) – студент IV курса Института профилактической медицины

E-mail: s.s.manakhova@samsmu.ru

<https://orcid.org/0009-0003-1599-8619>

Литература

1. IDF Diabetes Atlas [Электронный ресурс]. URL: <https://diabetesatlas.org> (дата обращения: 20.03.2025).
2. Шестакова М.В., Викулова О.К., Железнякова А.В., Дедов И.И., Мокрышева Н.Г. Сахарный диабет 2-го типа: клинические рекомендации против реальной клинической практики // Терапевтический архив. 2023. Т. 95, № 10. С. 833–838. DOI: <https://doi.org/10.26442/00403660.2023.10.202424>
3. Дедов И.И., Шестакова М.В., Галстян Г.Р. Распространенность сахарного диабета 2 типа у взрослого населения России (исследование NATION) // Сахарный диабет. 2016. Т. 19, № 2. С. 104–112. DOI: <https://doi.org/10.14341/DM2004116-17>
4. Федеральная служба государственной статистики. Здравоохранение. Заболеваемость населения по основным классам болезней. 2024. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13721> (дата обращения: 20.03.2025).
5. Первышин Н.А., Галкин Р.А., Булгакова С.В., Суслин С.А., Лебедева Е.А. Анализ динамики медицинского статуса взрослых пациентов с сахарным диабетом в Самарской области за период с 2018 по 2020 г. // Профилактическая медицина. 2023. Т. 26, № 5. С. 23–30. DOI: <https://doi.org/10.17116/profmed20232605123>
6. Lu X., Xie Q., Pan X., Zhang R., Zhang X., Peng G. et al. Type 2 diabetes mellitus in adults: pathogenesis, prevention and therapy // Signal Transduct. Target. Ther. 2024. Vol. 9, N 1. P. 262. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41392-024-01951-9>
7. Bathina S., Armamento-Villareal R. The complex pathophysiology of bone fragility in obesity and type 2 diabetes mellitus: therapeutic targets to promote osteogenesis // Front. Endocrinol. (Lausanne). 2023. Vol. 14. Article ID 1168687. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1168687>
8. Всемирная организация здравоохранения. Диабет [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/diabetes> (дата обращения: 20.03.2025).
9. Шестакова М.В., Шестакова Е.А., Скляник И.А., Стафеев Ю.С. Ожирение и сахарный диабет – всегда ли вместе? // Терапевтический архив. 2022. Т. 94, № 10. С. 1131–1135. DOI: <https://doi.org/10.26442/00403660.2022.10.201880>
10. Всемирная организация здравоохранения. Ожирение и избыточный вес [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (дата обращения: 20.03.2025).
11. Popkin B.M., Adair L.S., Ng S.W. Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries // Nutr. Rev. 2012. Vol. 70, N 1. P. 3–21. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2011.00456.x>
12. Barazzoni R., Gortan Cappellari G., Ragni M., Nisoli E. Insulin resistance in obesity: an overview of fundamental alterations // Eat. Weight Disord. 2018. Vol. 23, N 2. P. 149–157. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40519-018-0481-6>
13. Лавренова Е.А., Драпкина О.М. Инсулинорезистентность при ожирении: причины и последствия // Ожирение и метаболизм. 2020. Т. 17, № 1. С. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.14341/omet9759>
14. Алферова В.И., Мустафина С.В. Распространенность ожирения во взрослой популяции Российской Федерации (обзор литературы) // Ожирение и метаболизм. 2022. Т. 19, № 1. С. 96–105. DOI: <https://doi.org/10.14341/omet12809>
15. Майоров А.Ю. Инсулинорезистентность в патогенезе сахарного диабета 2 типа // Сахарный диабет. 2011. № 1. С. 35.
16. Каштанова Е.В., Полонская Я.В., Шербакова Л.В., Стахнева Е.М., Шрамко В.С., Мустафина С.В. и др. Ассоциации уровней адипоциткинов и метаболических гормонов у молодых людей 25–44 лет с сахарным диабетом 2 типа и абдоминальным ожирением // Ожирение и метаболизм. 2024. Т. 21, № 1. С. 14–23. DOI: <https://doi.org/10.14341/omet12974>
17. Полонская Я.В., Каштанова Е.В., Стахнева Е.М., Шрамко В.С., Садовский Е.В., Ледовских С.Р. и др. Уровень метаболических гормонов у молодых людей с артериальной гипертензией на фоне абдоминального ожирения // Бюллетень сибирской медицины. 2023. Т. 22, № 3. С. 74–79. DOI: <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2023-3-74-79>
18. Чепель Т.В., Ладная А.А. Биоимпедансометрия: достижения и клинические возможности (обзор литературы) // Дальневосточный медицинский журнал. 2020. № 2. С. 86–95. DOI: <https://doi.org/10.35177/1994-5191-2020-2-86-95>
19. Дедов И.И., Мокрышева Н.Г., Мельниченко Г.А., Трошина Е.А., Мазурина Н.В., Ершова Е.В. и др. Ожирение. Клинические рекомендации // Consilium Medicum. 2021. Т. 23, № 4. С. 311–325. DOI: <https://doi.org/10.26442/20751753.2021.4.200832>
20. Николаев Д.В., Щелыкалина С.П. Лекции по биоимпедансному анализу состава тела: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Ташкент: Луна-принт, 2022. 156 с. ISBN: 978-5-906159-06-9.
21. Сазонова О.В., Гаврюшин М.Ю., Хамцова Р.В. и др. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025621577 Российская Федерация. «Результаты антропометрии и компонентного состава тела пациентов с нарушениями углеводного обмена»: № 2025621577: заявл. 31.03.2025: опубл. 08.04.2025.
22. Руднев С.Г. Биоимпедансное исследование состава тела населения России. Москва: РИО ЦНИИОИЗ, 2014. 493 с.
23. Галстян Г.Р., Шестакова Е.А., Скляник И.А. Ожирение и сахарный диабет 2 типа: поиск компромиссного терапевтического решения // Сахарный диабет. 2017. Т. 20, № 4. С. 270–278.
24. The Look AHEAD Research Group. Cardiovascular effects of intensive lifestyle intervention in type 2 diabetes // N. Engl. J. Med. 2013. Vol. 369, N 2. P. 145–154.
25. Бариева Ю.Б., Уварова Н.Г., Ботвинева Л.А., Албасова А.В., Рожкова Н.А., Северова И.А. Анализ показателей биоимпедансометрии у пациентов с метаболическим синдромом на фоне лечения в санатории «Дубовая роща» // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2015. № 1. С. 56–58.
26. Бондарева Э.А., Леонов Г.Е., Парфентьева О.И., Арутюнян А.А., Бевзюк Н.А., Ковалева О.Н. и др. Связь локальной биоимпедансометрии в абдоминальной области с ее морфологическими и биохимическими признаками // Вестник Российского государственного медицинского университета. 2024. № 4. С. 55–63. DOI: <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2024.030>
27. Валеева Ф.В., Медведева М.С., Киселева Т.А., Хасанова К.Б., Габидина Г.Ф. Ассоциация полиморфных маркеров rs7903146 tcf7l2, rs1042714 ADRB2 с изменением жирового компонента тела пациентов при различных вариантах терапии ранних нарушений углеводного обмена // Ожирение и метаболизм. 2022. Т. 19, № 1. С. 7–18.
28. Kang P.S., Neeland I.J. Body Fat distribution, diabetes mellitus, and cardiovascular disease: an update // Curr. Cardiol. Rep. 2023. Vol. 25, N 11. P. 1555–1564. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11886-023-01969-5>
29. Britton K.A., Massaro J.M., Murabito J.M., Kregar B.E., Hoffmann U., Fox C.S. Body fat distribution, incident cardiovascular disease, cancer, and all-cause mortality // J. Am. Coll. Cardiol. 2013. Vol. 62, N 10. P. 921–925. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.06.027>
30. Chartrand D.J., Murphy-Després A., Alméras N., Lemieux I., Larose E., Després J.P. Overweight, obesity, and CVD risk: a focus on visceral/ectopic fat // Curr. Atheroscler. Rep. 2022. Vol. 24, N 4. P. 185–195. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11883-022-00996-x>
31. Kammerlander A.A., Lyass A., Mahoney T.F., Massaro J.M., Long M.T., Vasan R.S. et al. Sex differences in the associations of visceral adipose tissue and cardiometabolic and cardiovascular disease risk: the Framingham Heart Study // J. Am. Heart Assoc. 2021. Vol. 10, N 11. Article ID e019968. DOI: <https://doi.org/10.1161/JAHA.120.019968>

References

1. IDF Diabetes Atlas [Electronic resource]. URL: <https://diabetesatlas.org> (date of access March 20, 2025).
2. Shestakova M.V., Vikulova O.K., Zheleznyakova A.V., Dedov I.I., Mokrysheva N.G. Type 2 diabetes mellitus: clinical recommendations against real clinical practice. Terapevticheskiy arkhiv [Therapeutic Archive]. 2023;95(10): 833–8. DOI: <https://doi.org/10.26442/00403660.2023.10.202424> (in Russian)
3. Dedov I.I., Shestakova M.V., Galstyan G.R. Prevalence of type 2 diabetes in the adult population of Russia (NATION Study). Sakharnyi diabet [Diabetes Mellitus]. 2016; 19 (2): 104–12. DOI: <https://doi.org/10.14341/DM2004116-17> (in Russian)
4. Federal State Statistics Service. Healthcare. Incidence of Population by Main Disease Classes. 2024. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13721> (date of access March 20, 2025). (in Russian)
5. Pervyshin N.A., Galkin R.A., Bulgakova S.V., Suslin S.A., Lebedeva E.A. Analysis of the dynamics of the medical status of adult patients with diabetes in the Samara Region for the period from 2018 to 2020. Profilakticheskaya meditsina [Preventive Medicine]. 2023; 26 (5): 23–30. DOI: <https://doi.org/10.17116/profmed20232605123> (in Russian)
6. Lu X., Xie Q., Pan X., Zhang R., Zhang X., Peng G., et al. Type 2 diabetes mellitus in adults: pathogenesis, prevention and therapy. Signal

- Transduct Target Ther. 2024; 9 (1): 262. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41392-024-01951-9>
7. Bathina S., Armamento-Villareal R. The complex pathophysiology of bone fragility in obesity and type 2 diabetes mellitus: therapeutic targets to promote osteogenesis. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2023; 14: 1168687. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1168687>
8. World Health Organization. Diabetes [Electronic resource]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/diabetes> (date of access March 20, 2025).
9. Shestakova M.V., Shestakova E.A., Sklyanik I.A., Stafeyev Y.S. Obesity and diabetes: are they always together? *Terapevticheskiy arkhiv [Therapeutic Archive]*. 2022; 94 (10): 1131–5. DOI: <https://doi.org/10.26442/0403660.2022.10.201880> (in Russian)
10. World Health Organization. Obesity and Overweight [Electronic resource]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (date of access March 20, 2025).
11. Popkin B.M., Adair L.S., Ng S.W. Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. *Nutr Rev*. 2012; 70 (1): 3–21. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2011.00456.x>
12. Barazzoni R., Gortan Cappellari G., Ragni M., Nisoli E. Insulin resistance in obesity: an overview of fundamental alterations. *Eat Weight Disord*. 2018; 23 (2): 149–57. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40519-018-0481-6>
13. Lavrenova E.A., Drapkina O.M. Insulin resistance in obesity: causes and consequences. *Ozhirenie i metabolizm [Obesity and Metabolism]*. 2020; 17 (1): 48–55. DOI: <https://doi.org/10.14341/omet9759> (in Russian)
14. Alferova V.I., Mustafina S.V. Prevalence of obesity in the adult population of the Russian Federation (literature review). *Ozhireniye i metabolizm [Obesity and Metabolism]*. 2022; 19 (1): 96–105. DOI: <https://doi.org/10.14341/omet12809> (in Russian)
15. Mayorov A.Y. Insulin resistance in the pathogenesis of type 2 diabetes mellitus. *Sakharniy diabet [Diabetes Mellitus]*. 2011; (1): 35. (in Russian)
16. Kashtanova E.V., Polonskaya Ya.V., Shcherbakova L.V., Stakhneva E.M., Shramko V.S., Mustafina S.V., et al. Associations of adipocytokine levels and metabolic hormones in young people aged 25–44 years with type 2 diabetes mellitus and abdominal obesity. *Ozhireniye i metabolizm [Obesity and Metabolism]*. 2024; 21 (1): 14–23. DOI: <https://doi.org/10.14341/omet12974> (in Russian)
17. Polonskaya Ya.V., Kashtanova E.V., Stakhneva E.M., Shramko V.S., Sadovsky E.V., Ledovskikh S.R., et al. The level of metabolic hormones in young people with arterial hypertension on the background of abdominal obesity. *Byulleten' sibirskoy meditsiny [Bulletin of Siberian Medicine]*. 2023; 22 (3): 74–9. DOI: <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2023-3-74-79> (in Russian)
18. Chepel; T.V., Ladnaya A.A. Bioimpedance analysis: achievements and clinical applications (literature review). *Dal'nevostochniy meditsinskiy zhurnal [Far Eastern Medical Journal]*. 2020; (2): 86–95. DOI: <https://doi.org/10.35177/1994-5191-2020-2-86-95> (in Russian)
19. Dedov I.I., Mokrysheva N.G., Mel'nicenko G.A., Troshina E.A., Mazurina N.V., Ershova E.V., et al. Obesity: clinical guidelines. *Consilium Medicum*. 2021; 23 (4): 311–5. DOI: <https://doi.org/10.26442/20751753.2021.4.200832> (in Russian)
20. Nikolaev D.V., Shchelykhalina S.P. Lectures on Bioimpedance Analysis of Body Composition. 2nd ed., revised and enlarged. Tashkent: Luna-print, 2022: 156 p. ISBN: 978-5-906159-06-9. (in Russian)
21. Sazonova O.V., Gavryushin M.Yu., Hamtsova R.V., et al. Certificate of State registration of the database No. 2025621577 Russian Federation. «Results of anthropometry and body composition of patients with impaired carbohydrate metabolism»: No. 2025621577: appl. 31.03.2025: publ. 08.04.2025. (in Russian)
22. Rudnev S.G. Bioimpedance Study of Body Composition in the Population of Russia. Moscow: RIO TsNIIOIZ, 2014: 493 p. (in Russian)
23. Galstyan G.R., Shestakova E.A., Sklyanik I.A. Obesity and type 2 diabetes: seeking a compromise therapeutic solution. *Sakharniy diabet [Diabetes Mellitus]*. 2017; 20 (4): 270–8. (in Russian)
24. The Look AHEAD Research Group. Cardiovascular effects of intensive lifestyle intervention in type 2 diabetes. *N Engl J Med*. 2013; 369 (2): 145–54.
25. Barieva Yu.B., Uvarova N.G., Botvineva L.A., Albasova A.V., Rozhkova N.A., Severova I.A. Analysis of bioimpedance indicators in patients with metabolic syndrome during treatment at the sanatorium «Dubovaya Roshcha». *Kremlevskaya meditsina. Klinicheskiy vestnik [Kremlin Medicine. Clinical Bulletin]*. 2015; (1): 56–8. (in Russian)
26. Bondareva E.A., Leonov G.E., Parfent'eva O.I., Arutyunyan A.A., Bevyuk N.A., Kovaleva O.N. et al. Association of local bioimpedance analysis in the abdominal area with its morphological and biochemical features. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta [Bulletin of Russian State Medical University]*. 2024; (4): 55–63. DOI: <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2024.030> (in Russian)
27. Valeeva F.V., Medvedeva M.S., Kiseleva T.A., Khasanova K.B., Gabidinova G.F. Association of polymorphic markers rs7903146 tcf7l2, rs1042714 ADRB2 with changes in the body fat component of patients with various treatment options for early disorders of carbohydrate metabolism. *Ozhirenie i metabolizm [Obesity and Metabolism]*. 2022; 19 (1): 7–18. (in Russian)
28. Kang P.S., Neeland I.J. Body Fat distribution, diabetes mellitus, and cardiovascular disease: an update. *Curr Cardiol Rep*. 2023; 25 (11): 1555–64. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11886-023-01969-5>
29. Britton K.A., Massaro J.M., Murabito J.M., Kreger B.E., Hoffmann U., Fox C.S. Body fat distribution, incident cardiovascular disease, cancer, and all-cause mortality. *J Am Coll Cardiol*. 2013; 62 (10): 921–5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.06.027>
30. Chartrand D.J., Murphy-Després A., Alméras N., Lemieux I., Larose E., Després J.P. Overweight, obesity, and CVD risk: a focus on visceral/ectopic fat. *Curr Atheroscler Rep*. 2022; 24 (4): 185–95. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11883-022-00996-x>
31. Kammerlander A.A., Lyass A., Mahoney T.F., Massaro J.M., Long M.T., Vasan R.S., et al. Sex differences in the associations of visceral adipose tissue and cardiometabolic and cardiovascular disease risk: the Framingham Heart Study. *J Am Heart Assoc*. 2021; 10 (11): e019968. DOI: <https://doi.org/10.1161/JAHA.120.019968>

Для корреспонденции

Штаборов Вячеслав Анатольевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологической иммунологии Института физиологии природных адаптаций ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН
 Адрес: 163061, Российская Федерация, г. Архангельск, пр-кт Ломоносова, д. 249
 Телефон: (8182) 65-29-95
 E-mail: schtaborov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1142-4410>

Штаборов В.А., Патракеева В.П., Самодова А.В.

Уровни IgG к пищевым антигенам в зависимости от характера питания и интенсивности общего воспаления у практически здоровых и лиц с метаболическим синдромом

IgG levels to food antigens depend on nutrition and levels of general inflammation in healthy persons and individuals with metabolic syndrome

Shtaborov V.A., Patrakeeva V.P., Samodova A.V.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, 163061, г. Архангельск, Российская Федерация

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 163061, Arkhangelsk, Russian Federation

Слизистая оболочка кишечника избирательно пропускает пищевые антигены, являющиеся чужеродными агентами, но при этом не провоцирующими ответную иммунную реакцию в кишечнике. На повышение проницаемости кишечного барьера влияют хроническое вялотекущее воспаление, дефицит иммуноглобулинов IgA, нарушение парацеллюлярного транспорта и частота употребления продуктов.

Цель исследования – дать сравнительную количественную оценку уровней антител класса IgG к пищевым антигенам у больных с метаболическим синдромом и практически здоровых людей в зависимости от характера питания и уровней общего воспаления.

Финансирование. Исследования проведены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 24-25-20062, <https://rscf.ru/project/24-25-20062/>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Патракеева В.П., Штаборов В.А.; получение данных – все авторы; статистическая обработка, анализ и интерпретация данных – Патракеева В.П., Штаборов В.А.; написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Штаборов В.А., Патракеева В.П., Самодова А.В. Уровни IgG к пищевым антигенам в зависимости от характера питания и интенсивности общего воспаления у практически здоровых и лиц с метаболическим синдромом // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 4. С. 86–96. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-86-96>

Статья поступила в редакцию 22.04.2025. **Принята в печать** 21.07.2025

Funding. The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, project No. 24-25-20062, <https://rscf.ru/project/24-25-20062/>

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Contribution. Research concept and design – Patrakeeva V.P., Shtaborov V.A.; data acquisition – all authors; statistical processing, analysis and interpretation of data – Patrakeeva V.P., Shtaborov V.A.; text writing, editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Shtaborov V.A., Patrakeeva V.P., Samodova A.V. IgG levels to food antigens depend on nutrition and levels of general inflammation in healthy persons and individuals with metabolic syndrome. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (4): 86–96. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-86-96> (in Russian)

Received 22.04.2025. **Accepted** 21.07.2025.

Материал и методы. В рамках проспективного когортного исследования у 230 человек, среди которых 110 пациентов с метаболическим синдромом (средний возраст $33,9 \pm 1,1$ года), было проведено сравнение клинических и биохимических показателей: содержание в сыворотке крови общего холестерина, липопротеинов низкой и высокой плотности, триглицеридов и глюкозы, концентрации цитокинов [интерлейкин (ИЛ) 1β , ИЛ-10, интерферон γ], С-реактивного белка, катехоламинов (адреналин, норадреналин, дофамин, серотонин), уровни апоптоза и некроза лимфоцитов, а также уровни специфических IgG к пищевым антигенам. Проведен анализ анкетных данных характера питания (частота употребления продуктов) и наследственной предрасположенности к метаболическому синдрому.

Результаты. У родителей обследованных лиц с метаболическим синдромом в 2 раза чаще, чем у практически здоровых из группы сравнения, выявляется ожирение и сахарный диабет 2 типа (соответственно у 73,3 и 36,4% против 36,7 и 23,3%, $p < 0,05$). Характер питания лиц с метаболическим синдромом отличается более частым употреблением продуктов с содержанием рафинированных углеводов, соли, насыщенных и транс-изомеров жирных кислот, более низким уровнем растительных продуктов, клетчатки, полиненасыщенных жирных кислот и сложных углеводов. Повышение уровней IgG ко всем группам пищевых антигенов примерно в 3 раза ассоциируется с более высокой концентрацией в сыворотке периферической крови ($p < 0,05$) содержания провоспалительных цитокинов (ИЛ- 1β – $8,99 \pm 1,05$ против $1,99 \pm 0,30$ пг/мл у лиц из группы сравнения, интерферона γ – $22,21 \pm 6,50$ против $7,59 \pm 0,96$ пг/мл, ИЛ-10 – $13,90 \pm 1,96$ против $5,03 \pm 0,81$ пг/мл), С-реактивного белка ($1,96 \pm 0,31$ против $4,47 \pm 0,61$ мг/мл), норадреналина ($168,4 \pm 6,8$ против $131,3 \pm 2,8$ нг/мл), не компенсируемого адреналином ($52,3 \pm 9,3$ против $54,3 \pm 2,4$ нг/мл).

Заключение. На фоне нарушения гомеостаза глюкозы и липидов при метаболическом синдроме и более высоких уровней общего воспаления формируется эпителиальная дисфункция, в результате чего увеличивается проницаемость для антигенов через кишечный барьер. Изменение уровня антител к пищевым антигенам при метаболическом синдроме неспецифично, что отражается в повышении уровней IgG ко всем группам пищевых продуктов и не зависит от частоты их употребления.

Ключевые слова: IgG; пищевые антигены; метаболический синдром; воспаление; рацион питания

The intestinal mucosa selectively passes food antigens, which are foreign agents but do not provoke an immune response in the intestine. The increased permeability of the intestinal barrier is affected by chronic sluggish inflammation, deficiency of IgA, impaired paracellular transport and the frequency of food consumption.

The aim of the study was to provide a comparative quantitative assessment of IgG class antibodies to food antigens in patients with metabolic syndrome and practically healthy people, depending on the type of diet and levels of general inflammation.

Material and methods. In the prospective cohort study in 230 people, including 110 patients with metabolic syndrome (average age 33.9 ± 1.1 years), clinical and biochemical parameters: total cholesterol, low and high density lipoproteins, triglycerides and glucose, cytokines: IL-1b, IFN- γ , IL-10, C-reactive protein, levels of apoptosis and necrosis of lymphocytes, catecholamines: adrenaline, noradrenaline, dopamine, serotonin, as well as levels of specific IgG to food antigens in blood serum have been compared. The analysis of personal data on the nutrition (frequency of food consumption) and hereditary predisposition to metabolic syndrome was carried out.

Results. It was found that the parents of the examined individuals with metabolic syndrome are twice as likely to have obesity and type 2 diabetes mellitus (correspondingly in 73.3 and 36.4% vs 36.7 and 23.3% in healthy persons, $p < 0.05$). The diet of people with metabolic syndrome is characterized by more frequent consumption of foods containing refined carbohydrates, salt, saturated and trans-isomers of fatty acids, with low levels of plant products, dietary fiber, polyunsaturated fatty acids and complex carbohydrates. A 3-fold increase in IgG levels to food antigens in patients with metabolic syndrome was associated with a higher ($p < 0.05$) blood serum level of pro-inflammatory cytokines (IL- 1β – 8.99 ± 1.05 vs 1.99 ± 0.30 pg/ml in healthy persons, IFN- γ – 22.21 ± 6.50 vs 7.59 ± 0.96 pg/ml), IL-10 (13.90 ± 1.96 vs 5.03 ± 0.81 pg/ml), C-reactive protein (1.96 ± 0.31 vs 4.47 ± 0.61 mg/ml), noradrenaline (168.4 ± 6.8 vs 131.3 ± 2.8 ng/ml), which was not compensated by adrenaline (52.3 ± 9.3 vs 54.3 ± 2.4 ng/ml).

Conclusion. Against the background of impaired glucose and lipid homeostasis in metabolic syndrome and higher levels of general inflammation, epithelial dysfunction is formed, resulting in increased permeability to antigens through the intestinal barrier. Changes in the level of antibodies to food antigens in metabolic syndrome are non-specific, which is reflected in an increase in IgG levels for all food groups independent from the frequency of their consumption.

Keywords: IgG; food antigens; metabolic syndrome; inflammation; diet

Слизистая оболочка кишечника избирательно пропускает пищевые антигены, являющиеся чужеродными агентами, но при этом не провоцирующими ответной иммунной реакции в кишечнике [1]. В системе желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) пищевые антигены расщепляются до пептидов и аминокислот, однако небольшая их часть может достигать иммунной системы, расположенной под эпителием кишечника, в неизменном виде и взаимодействовать с антиген-презентирующими клетками, что приводит к нарушению иммунной толерантности. У практически здоровых людей снижение толерантности к пищевым антигенам связано с дефицитом IgA [2]. Секреторный IgA (sIgA) и муцин способствуют образованию биопленки, усиливая адгезивный рост агглютинированной кишечной флоры: sIgA стимулирует агглютинацию бактерий, а муцин связывает эти бактерии со слоем слизи, что может способствовать избирательной адгезии нормальной микрофлоры на эпителиальном слое кишечника [3].

Микробиота, населяющая ЖКТ, также играет значительную роль в развитии процессов воспаления, нарушения иммунной толерантности и на общее состояние иммунной системы кишечника [4]. Пребиотики позитивно влияют на иммунную толерантность к пищевым антигенам. Диета, богатая непережевываемыми, но ферментируемыми углеводами, усиливая рост полезных групп бактерий и уменьшая количество бактерий, вырабатывающих токсины, способствует улучшению процессов метаболизма при ожирении независимо от основных причин его развития: избыток калорий, гиподинамия, наследственные факторы, инсулинорезистентность, общее воспаление [5, 6].

Короткоцепочечные жирные кислоты, которые образуются в результате бактериальной ферментации непережевываемых пищевых волокон, необходимы для формирования толерантности к пище. Хотя механизмы, с помощью которых микробиота кишечника оказывает влияние на иммунную толерантность к пищевым антигенам, до конца не изучены, исследования показали, что состав микробиоты кишечника, метаболиты, вырабатываемые кишечными бактериями, и колонизация особыми функциональными бактериями являются важными факторами, влияющими на толерантность кишечника к пищевым антигенам [7].

Действие антигенов является дозозависимым. Низкие концентрации, посредством антиген-специфичных Тreg-клеток, индуцируют развитие пищевой толерантности. Высокие уровни антигенов приводят к анархии и делеции антиген-специфичных Т-клеток, что ведет к усилению воспалительных реакций. Частота регистрации повышенных концентраций IgG к пищевым продуктам выше при дефиците IgA или низком уровне ответа со стороны иммуноглобулинов данного класса [8].

Воспалительные процессы в ЖКТ нарушают парацеллюлярный транспорт в слизистой оболочке кишечника из-за снижения экспрессии белков плотных контактов и адгезионных соединений в эпителиальных клетках, что еще больше усиливает проницаемость кишечника

и интенсивность иммунного ответа [9]. При метаболическом синдроме с его более интенсивными общими воспалительными процессами, повышающими проницаемость кишечного барьера и, как следствие, провоцирующими более активное поступление пищевых антигенов, также происходит усиление ответа иммунной системы в целом и рост уровней антител к пищевым антигенам в частности [10].

Показано, что чем выше индекс массы тела, тем более выражен дисбиоз микробиоты кишечника, который, в частности, характеризуется снижением количества *Prevotella*, *Akkermansia muciniphila*, *Faecalibacterium prausnitzii* и ростом числа *Bacteroides* [11, 12].

Несмотря на то что на данный момент нет единого понимания физиологических границ референтного уровня содержания в периферической крови антител к пищевым антигенам, в современной литературе появляются попытки определить эти рамки. В частности, высказано мнение, что 7,5 мкг/мл является верхней границей референсных пределов содержания IgG к пищевым продуктам в периферической крови [13].

Цель исследования – дать сравнительную количественную оценку уровней антител класса IgG к пищевым антигенам у пациентов с метаболическим синдромом и практически здоровых лиц в зависимости от характера питания и уровня общего воспаления.

Материал и методы

В рамках проспективного когортного исследования было проведено сравнение клинических и биохимических показателей, а также уровня специфических IgG к пищевым антигенам у 230 человек, среди которых 110 пациентов с метаболическим синдромом, в том числе 71 женщина и 39 мужчин (средний возраст $33,9 \pm 1,1$ года). Критерием включения было наличие клинических признаков метаболического синдрома в соответствии с классификацией Международной федерации диабета (IDF, 2005). Согласно IDF для определения метаболического синдрома у пациента должно быть висцеральное ожирение, а также любые 2 из следующих 4 факторов: повышенный уровень триглицеридов, пониженный уровень холестерина липопротеинов высокой плотности (ЛПВП), повышенное артериальное давление и повышенный уровень глюкозы в плазме крови натощак. Диагноз подтвержден клинико-биохимическими исследованиями. В группу сравнения вошли 120 практически здоровых людей, из них 100 женщин и 20 мужчин, средний возраст составил $41,9 \pm 1,1$ года. Исследование проводили после получения информированного письменного согласия у добровольцев. На проведение исследования получено разрешение этической комиссии ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (протокол № 8 от 20 декабря 2023 г.).

Согласно анкете ни у кого из обследованных не было пищевой аллергии. Использовали анкетирование для определения характера питания, наследственной пред-

Таблица 1. Клинико-биохимические показатели обследованных лиц ($M \pm m$)Table 1. Clinical and biochemical parameters of the examined individuals ($M \pm m$)

Показатель Parameter	Практически здоровые лица Practically healthy individuals ($n=120$)	Пациенты с метаболическим синдромом Patients with metabolic syndrome ($n=110$)
Окружность живота, см (мужчины/женщины) Abdominal circumference, cm (men/women)	79,5 $\pm$ 1,5 / 69,1 $\pm$ 1,5	106,7 $\pm$ 1,8*** / 98,5 $\pm$ 2,6***
Систолическое артериальное давление, мм рт.ст. Systolic blood pressure, mmHg	124,6 $\pm$ 2,0	132,5 $\pm$ 2,9**
Диастолическое артериальное давление, мм рт.ст. Diastolic blood pressure, mmHg	75,9 $\pm$ 1,4	82,6 $\pm$ 2,4*
Глюкоза натощак, ммоль/л / Fasting glucose, mmol/l	4,20 $\pm$ 0,13	5,90 $\pm$ 0,14*
Триглицериды, ммоль/л / Triglycerides, mmol/l	1,43 $\pm$ 0,05	1,93 $\pm$ 0,28**
Общий холестерин, ммоль/л / Total cholesterol, mmol/l	4,35 $\pm$ 0,11	5,08 $\pm$ 0,21*
Холестерин липопротеинов низкой плотности, ммоль/л Low-density lipoprotein cholesterol, mmol/l	1,96 $\pm$ 0,10	3,31 $\pm$ 0,19*

Пр и м е ч а н и е. Здесь и в табл. 2–5: * – статистически значимое отличие ($p < 0,05$) от показателя лиц из группы сравнения.

Note. Here in tables 2–5: statistical significance of differences: * – $p < 0.05$.

расположенности к ожирению. Анкета включала неколичественный опросник по частоте употребления продуктов (FFQ).

У всех пациентов в обеих группах были оценены рост, масса тела, окружность живота и обхват бедер и их соотношение. Систолическое и диастолическое артериальное давление измеряли утром, после того как обследованные находились в расслабленном состоянии не менее 10 мин. Забор крови проводился квалифицированным медицинским персоналом утром после 8–12-часового голодания.

Содержание общего холестерина, липопротеинов низкой плотности, ЛПВП, триглицеридов и глюкозы («Вектор-Бест», Россия) определяли в сыворотке крови на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu, Япония). Уровень апоптоза и некроза лимфоцитов определяли на проточном цитофлуориметре Epics XL (Beckman Coulter, США) методом двойного окрашивания аннексином-V (AnV) и пропиридиумом йодидом (PI), с учетом не менее 5000 клеток. Оценку результатов проводили по окрашиванию клеток: живые клетки – AnV-/PI-, апоптоз – AnV+/PI-, некроз – AnV-/PI+. Концентрацию специфических антител IgG к 90 пищевым аллергенам (Biomerica, США), высокочувствительного С-реактивного белка (AccuBind, США), цитокинов: интерлейкина (ИЛ), ИЛ-10, ИЛ-1 β , интерферона γ (ИФН- γ) (RayBiotech, США) и катехоламинов: адреналин, норадреналин, дофамин, серотонин (IBL, Германия) – определяли в сыворотке крови с помощью иммуноферментного анализа, используя микропланшетный спектрофотометр Multiskan FC (Thermo Fisher Scientific, США). В соответствии с инструкциями по определению IgG (Biomerica, IgG Allerquant, IgG Food) концентрация менее 50 Ед/мл считается физиологической. Определение изучаемых в работе показателей проводили однократно.

Статистический анализ данных проводили с помощью программы Statistica 6 (StatSoft, США). Нормальность распределения количественных показателей про-

веряли с помощью теста Шапиро–Уилка. Полученные данные описывали с помощью среднего и стандартной ошибки среднего. Статистически значимые различия между количественными характеристиками групп выявляли с помощью параметрического t -критерия Стьюдента для независимых выборок, а также непараметрического критерия Манна–Уитни; различия долей – на основе F -критерия Фишера. Статистически значимыми различия считали при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

По данным анкетирования, для 63,5% добровольцев с метаболическим синдромом характерна гиподинамия, т.е. менее 4 ч физической активности в неделю. Такая частота гиподинамии фактически в 2 раза выше, чем в группе практически здоровых лиц (30,0%, $p < 0,05$). Пациенты с метаболическим синдромом в 2 раза чаще отмечали у себя повышенный аппетит – в 40,9% случаев, в группе сравнения – 19,2% ($p < 0,05$). Одним из факторов риска развития метаболического синдрома является наследственный фактор. Установлено, что у 73,3% обследованных лиц с метаболическим синдромом хотя бы у одного из родителей индекс массы тела выше 30 кг/м², у 36,4% – сахарный диабет 2 типа. В группе практически здоровых лиц частота их выявления составила соответственно 36,7 и 23,3% ($p < 0,05$). Сравнение клинико-биохимических показателей добровольцев из обследованных групп представлено в табл. 1.

Средние уровни глюкозы в группе обследуемых с метаболическим синдромом и в группе практически здоровых лиц статистически значимо различались ($p < 0,05$), что согласуется с результатами ранее проведенных нами исследований [10].

Концентрация общего холестерина периферической крови, холестерина липопротеинов низкой плотности и триглицеридов у лиц с метаболическим синдромом

Таблица 2. Уровень катехоламинов в сыворотке периферической крови у обследованных лиц ($M \pm m$)Table 2. Blood catecholamine levels in the examined individuals ($M \pm m$)

Катехоламин <i>Catecholamine</i>	Практически здоровые лица <i>Practically healthy individuals</i> ($n=120$)	Пациенты с метаболическим синдромом <i>Patients with metabolic syndrome</i> ($n=110$)
Норадреналин, нг/мл / <i>Noradrenaline, ng/ml</i>	131,27 $\pm$ 2,78	168,35 $\pm$ 6,83*
Адреналин, нг/мл / <i>Adrenaline, ng/ml</i>	54,27 $\pm$ 2,42	52,33 $\pm$ 9,31
Дофамин, нг/мл / <i>Dopamine, ng/ml</i>	17,65 $\pm$ 1,99	12,86 $\pm$ 1,86*
Серотонин, нг/мл / <i>Serotonin, ng/ml</i>	84,79 $\pm$ 13,36	61,19 $\pm$ 6,87*

была выше, чем у лиц из группы сравнения ($p < 0,05$), при этом уровень триглицеридов незначительно превышал референсные значения. Частота повышенных концентраций триглицеридов у лиц с метаболическим синдромом составила 36,4%, а у практически здоровых – 16,7% ($p < 0,05$).

Гомеостаз организма, в том числе и иммунитет, зависит от нормального обратного транспорта холестерина, поскольку холестерин является важным компонентом клеточных мембран клеток. Нарушение этого процесса может привести к дисфункции иммунных клеток, в частности лимфоцитов и макрофагов, что может способствовать развитию воспалительных заболеваний и аутоиммунных реакций [14, 15]. Уровень холестерина может регулироваться посредством АТФ-связывающих кассетных переносчиков, трансмембранных белков, которые широко распространены во всех клетках организма. АТФ-связывающие кассетные переносчики (ABC-транспортеры) особенно активно экспрессируются в раковых клетках и клетках, перерабатывающих липиды, таких как макрофаги. Под действием АТФ ABC-транспортеры способны переносить через мембраны различные вещества: небольшие неорганические или органические молекулы, стеролы, ионы металлов, полипептиды и белки. ABC-транспортеры локализованы на плазматической мембране, участвуют в поглощении, биосинтезе, хранении и внутриклеточном транспорте холестерина для поддержания его гомеостаза [16, 17]. Белок ABCA1 (ATP binding cassette subfamily A member 1), который участвует в процессах обратного транспорта холестерина, динамично перераспределяет холестерин в липидных рафтах. Эти микродомены имеют уникальную структуру, которая позволяет им запускать сигнальные каскады, связанные с фагоцитозом и апоптозом [14, 18]. Нарушение функционирования ABC-транспортеров может привести к избытку токсичного для клеток свободного холестерина, способствующего активации реакции на повреждение белков и иницированию апоптоза [19, 20]. Нами показано, что в группе обследованных лиц с метаболическим синдромом процентное содержание лимфоцитов, меченных к апоптозу (AnV+/PI-), было выше и составило 5,90 против 3,88% у лиц в группе сравнения ($p < 0,05$). Процент лимфоцитов, подверженных некрозу (AnV-/PI+), не имел достоверных различий и составил 0,41 и 0,48% соответственно.

Анализ содержания катехоламинов в периферической крови показал, что у пациентов с метаболическим

синдромом выше уровень норадреналина, ниже содержание дофамина и серотонина. Средняя концентрация адреналина в группе лиц с метаболическим синдромом и группе сравнения не имеет статистически значимых различий (табл. 2).

По данным литературы, отмечено, что у пациентов с метаболическим синдромом регистрируется достоверное повышение уровня всех фракций катехоламинов, особенно норадреналина, в периферической крови [21]. Норадреналин посредством стимуляции адренорецепторов участвует в гидролизе триглицеридов жировой ткани, а также вызывает гипертензию за счет вазоконстрикции периферических сосудов. При этом длительная стимуляция адренорецепторов приводит к снижению их сигнальных функций [22].

Норадреналин опосредованно ингибирует выброс серотонина, также активно участвующего в энергетическом гомеостазе. Синтез серотонина в основном происходит в кишечнике, однако пища, богатая простыми углеводами, увеличивает синтез серотонина и в центральной нервной системе. С учетом того, что серотонин не способен преодолеть гематоэнцефалический барьер, следует рассматривать серотонин в периферической крови и в мозге независимо. Психосоматические свойства серотонина часто влекут за собой передачу и, как следствие, ожирение. Адипоциты также способны синтезировать серотонин вне зависимости от кишечника. Серотонин оказывает влияние на инсулинорезистентность через серотониновый рецептор 2B в жировой ткани за счет уменьшения липолиза в висцеральных адипоцитах. Он повышает чувствительность к инсулину и улучшает метаболизм глюкозы путем серотонирования малой ГТФазы Rab4 в клетках скелетных мышц L6. Снижение уровня серотонина при метаболическом синдроме может повышать риск возникновения инсулинорезистентности. Подавление передачи сигналов серотонина (5-гидрокситриптамина) снижает инсулинорезистентность [23, 24].

Низкие концентрации дофамина локально снижают выработку инсулина и активность кишечника, однако он в значительной степени влияет на выработку других нейромедиаторов, в том числе норадреналина и серотонина посредством антагонистического действия на адренорецепторы [25].

Адреналин противодействует метаболическому синдрому. Стимуляция всех α - и β -адренорецепторов вызы-

Таблица 3. Уровень регуляторных цитокинов и С-реактивного белка в сыворотке периферической крови обследованных лиц ($M \pm m$)**Table 3.** The level of regulatory cytokines and C-reactive protein in peripheral blood of the examined individuals ($M \pm m$)

Цитокин <i>Cytokine</i>	Практически здоровые лица <i>Practically healthy individuals</i> (<i>n</i> =120)	Пациенты с метаболическим синдромом <i>Patients with metabolic syndrome</i> (<i>n</i> =110)
ИЛ-1 β , пг/мл / <i>IL-1β, pg/ml</i>	1,99 $\pm$ 0,30	8,99 $\pm$ 1,05*
ИФН- γ , пг/мл / <i>IFN-γ, pg/ml</i>	7,59 $\pm$ 0,96	22,21 $\pm$ 6,50*
ИЛ-10, пг/мл / <i>IL-10, pg/ml</i>	5,03 $\pm$ 0,81	13,90 $\pm$ 1,96*
С-реактивный белок, мг/мл / <i>C-reactive protein, mg/ml</i>	1,96 $\pm$ 0,31	4,47 $\pm$ 0,61*

Расшифровка аббревиатур дана в тексте.

The abbreviations are explained in the text.

вает кратковременную систолическую гипертензию, гипергликемию и другие проявления метаболического синдрома. Острая инфузия адреналина увеличивает сердечный выброс и вызывает резистентность к инсулину. В долгосрочной перспективе адреналин предотвращает гипертонию во время стресса и улучшает толерантность к глюкозе. Гипергликемическое действие адреналина непродолжительно. Хроническое введение адреналина и других β_2 -агонистов улучшает поглощение глюкозы клетками и метаболизм [26].

Анализ содержания про- и противовоспалительных цитокинов в периферической крови показал, что средние уровни изучаемых цитокинов выше у лиц с метаболическим синдромом, чем в группе сравнения (табл. 3). Уровень С-реактивного белка периферической крови, используемого нами в качестве маркера общего воспаления, у лиц с метаболическим синдромом в 30,0% случаев превышал физиологическую норму (6,8% обследуемых в группе практически здоровых, $p < 0,05$). Содержание в периферической крови противовоспалительного цитокина ИЛ-10 при метаболическом синдроме было достоверно выше с превышением референсных значений в 20% случаев.

Ранее нами было показано, что при метаболическом синдроме выше уровень ИЛ-6 и фактора некроза опухоли альфа. Данные цитокины, оказывая воздействие на барьерные функции кишечного эпителия, способствуют его проницаемости, что, в свою очередь, инициирует каскад воспалительных реакций в слизистой оболочке кишечника [10]. Тем самым повышенные в 2 раза и более концентрации провоспалительных цитокинов и С-реактивного белка указывают на более высокую интенсивность иммунного ответа при метаболическом синдроме. Провоспалительные цитокины и С-реактивный белок снижают чувствительность клеток к инсулину, повышают воспалительные реакции сосудистого эндотелия, нарушают плотные контакты между эпителиальными клетками кишечника, таким образом инициируя формирование инсулинорезистентности, дисфункции эндотелия и повышения проницаемости кишечного барьера для пищевых антигенов.

Анализ данных анкет (табл. 4) показал, что рацион питания лиц с метаболическим синдромом отличается более высокой частотой в течение недели употребле-

ния мяса, в том числе продуктов глубокой переработки, таких как мясные полуфабрикаты, колбасы, а также майонеза, сливочного масла, куриных яиц, сахара, соли, быстрорастворимого кофе, а также частотой приемов пищи, что выражается в профиците энергии, повышенном поступлении холестерина, насыщенных жиров, соли, рафинированных углеводов. Следует учитывать, что при таких способах приготовления пищи, как жарка, приготовление на гриле, запекание и выпечка, могут образовываться опасные побочные продукты, в том числе полициклические ароматические углеводороды, гетероциклические амины, акриламид, конечные продукты гликирования, фуран, акролеин, нитрозамины, 5-гидроксиметилфурфурол и транс-изомеры жирных кислот, что влечет за собой потенциальные риски для здоровья, такие как канцерогенность, генотоксичность, нейротоксичность и негативное воздействие на сердечно-сосудистую систему [27]. Рацион питания с высоким содержанием соли вызывает длительное бессимптомное воспаление и усугубляет повреждение тканей, оказывает негативное действие на микробиоту кишечника [28, 29]. В группе сравнения выявлено более частое употребление каш, бобовых, зерновых, креветок и витаминных комплексов, что повышает поступление неперевариваемой клетчатки, полиненасыщенных жирных кислот и некоторых других микронутриентов. Увеличение в рационе продуктов растительного происхождения сопровождается увеличением поступления полифенолов, включая флавоноиды, оказывающих антиоксидантное действие и положительно влияющих на микробиоту кишечника [30].

На уровни специфических IgG к пищевым антигенам влияет частота употребления продуктов. Однообразное питание с включением в рацион одного и того же продукта 4 и более раз в неделю ассоциировано с увеличением средних концентраций и частоты регистрации повышенных уровней антител к данному продукту [2]. Согласно анкетным данным ежедневное употребление отдельных пищевых продуктов значительно различается в обеих обследуемых группах. Установлено, что ежедневно употребляют яйца 27,3% обследуемых с метаболическим синдромом против 5,8% в группе сравнения ($p < 0,05$); выпечку и мучные изделия – 17,3 против 9,2%; переработанное мясо (полуфабрикаты, сосиски, кол-

Таблица 4. Частота употребления продуктов (в неделю)

Table 4. Frequency of food consumption (per week)

Продукт <i>Food</i>	Практически здоровые лица <i>Practically healthy individuals</i> (n=120)	Пациенты с метаболическим синдромом <i>Patients with metabolic syndrome</i> (n=110)
Мясо (говядина, свинина, баранина) / <i>Meat (beef, pork, lamb)</i>	3,6±0,3	4,1±0,4*
Переработанное мясо / <i>Processed meat</i>	2,9±0,4	4,2±0,4*
Колбасные изделия / <i>Sausages</i>	1,9±0,3	2,4±0,3*
Замороженные полуфабрикаты <i>Frozen meat semi-finished products</i>	1,9±0,2	2,1±0,2
Мясной фарш, котлета мясная / <i>Minced meat, meat patty</i>	4,4±0,4	4,7±0,3
Мясные субпродукты / <i>Meat offal</i>	2,1±0,3	1,9±0,2
Консервированное мясо / <i>Canned meat</i>	1,9±0,3	1,8±0,2
Удаление видимого жира с мяса / <i>Removing visible fat from meat</i>	1,9±0,1	1,5±0,1
Куриное мясо / <i>Chicken meat</i>	6,0±0,3	6,0±0,3
Мясной бульон / <i>Meat broth</i>	4,0±0,4	4,4±0,5
Яйцо куриное, шт. / <i>Chicken egg, pcs.</i>	3,0±0,4	4,1±0,4*
Рыба и морепродукты / <i>Fish and seafood</i>	1,1±0,2	1,1±0,1
Креветки / <i>Shrimp</i>	0,55±0,05	0,37±0,10*
Молоко жирностью выше 3,2% <i>Milk with a fat content above 3.2%</i>	1,3±0,2	1,4±0,2
Молоко жирностью 1,5–3,2% / <i>Milk, fat content 1.5–3.2%</i>	2,1±0,2	1,9±0,2
Обезжиренное молоко, жирностью до 1,5% <i>Skimmed milk, up to 1.5% fat content</i>	1,2±0,1	1,1±0,1
Йогурт / <i>Yogurt</i>	2,4±0,3	2,8±0,3
Творог и творожные изделия <i>Cottage cheese and cottage cheese products</i>	3,1±0,3	2,9±0,3
Сыр / <i>Cheese</i>	1,57±0,18	1,50±0,20
Сливочное масло / <i>Butter</i>	4,1±0,36	3,8±0,38
Зерновые, овсяные хлопья, мюсли / <i>Cereals, oat flakes, muesli</i>	1,6±0,2	1,4±0,1*
Каши / <i>Porridge</i>	4,1±0,4	3,2±0,4*
Рис / <i>Rice</i>	3,1±0,2	2,6±0,2*
Макароны / <i>Pasta</i>	3,5±0,2	3,6±0,2
Выпечка, мучные кондитерские изделия <i>Bakery, flour confectionery</i>	3,6±0,3	4,0±0,3
Пшеничный хлеб / <i>Wheat bread</i>	2,4±0,2	2,4±0,3
Ржаной (черный) хлеб / <i>Rye bread</i>	2,2±0,2	2,1±0,3
Хлеб из муки грубого помола, цельнозерновой <i>Bread made from coarse flour, whole grain</i>	1,6±0,2	1,3±0,1*
Сухие хлебцы / <i>Crispbread</i>	1,5±0,2	1,6±0,2
Овощи / <i>Vegetables</i>	4,8±0,2	5,0±0,3
Фрукты / <i>Fruit</i>	4,7±0,3	4,6±0,3
Бобовые / <i>Legume</i>	2,0±0,2	1,6±0,2*
Чай (чашек в день) / <i>Tea (per day)</i>	3,9±0,3	3,8±0,2
Сваренный кофе (чашек в день) / <i>Brewed coffee (per day)</i>	2,4±0,3	1,8±0,3
Быстрорастворимый кофе (чашек в день) <i>Instant coffee (per day)</i>	1,7±0,3	2,1±0,2*
Пакетированные соки, газированные напитки <i>Packaged juices, carbonated drinks</i>	2,0±0,2	1,7±0,2
Среднее количество кусков сахара в напитки (в одну чашку) <i>The average number of sugar cubes in drinks (in one cup)</i>	1,1±0,5	2,0±0,5*
Конфеты, шоколад / <i>Candy, chocolate</i>	4,0±0,3	3,9±0,3
Варенье, джем, мед / <i>Jam, honey</i>	1,2±0,1	1,3±0,2
Быстрое питание (фастфуд) / <i>Fast food</i>	1,9±0,2	1,6±0,1
Майонез / <i>Mayonnaise</i>	1,4±0,2	2,0±0,2*
Добавление соли в готовую еду / <i>Adding salt to prepared food</i>	1,6±0,2	1,8±0,2*
Витаминно-минеральные комплексы <i>Vitamin and mineral complexes</i>	3,7±0,4	2,9±0,4*
Количество приемов пищи в день / <i>Number of meals per day</i>	3,4±0,2	3,9±0,2*

басу, котлеты и пр.) – 20 против 6,7% ($p < 0,05$); майонез – 65 против 43% ($p < 0,05$); не удаляют видимый жир с мяса при приготовлении 52,7 против 31,7% в группе сравнения ($p < 0,05$). Обследованные лица без метаболического синдрома на 22% чаще включают в рацион злаки и сваренный кофе.

В рационе питания при метаболическом синдроме, согласно анкетным данным, чаще присутствуют пакетированные соки – более 3 раз в неделю у 45,6% (в группе сравнения – 21,1%, $p < 0,05$); пациенты на 22% чаще добавляют сахар, в среднем в напиток они используют $2,0 \pm 0,5$ куска (чайные ложки) сахара (в группе сравнения – $1,1 \pm 0,5$ куска). Научные данные о взаимосвязи сердечно-сосудистых заболеваний, а также нарушений метаболических процессов и употребления различных видов углеводов неоднозначны. В проспективном эпидемиологическом исследовании в Иране установлена положительная связь между инсультом и потреблением крахмала (отношение шансов 1,108; 95% доверительный интервал 1,005–1,220; $p = 0,039$), но выявлена сильная отрицательная связь между инсультом и потреблением сахарозы (отношение шансов 0,97; 95% доверительный интервал 0,94–0,99; $p = 0,037$) [31]. Умеренное употребление сахарозы может не вызвать столь значительного скачка уровня глюкозы в крови, что, в свою очередь, может уменьшить вероятность возникновения инсулинорезистентности и последующих проблем с сердечно-сосудистой системой [31]. Несколько исследований показали, что употребление углеводов с низким гликемическим индексом приводит к снижению уровня глюкозы и инсулина после приема пищи, повышению чувствительности к инсулину и улучшению липидного профиля. Диета с высоким гликемическим индексом может способствовать липогенезу и приводить к увеличению размера адипоцитов, в то время как диеты с низким гликемическим индексом предотвращают эти реакции [32, 33]. Более высокое потребление свободных сахаров было связано с повышением частоты сердечно-сосудистых заболеваний и концентрации триглицеридов во всех липопротеинах. Ежедневное включение в рацион клетчатки, замена рафинированного крахмала и свободных сахаров цельнозерновым крахмалом и несвободными сахарами могут быть использованы в качестве профилактики сердечно-сосудистых заболеваний и метаболического синдрома [34].

Не установлено значимых различий в частоте употребления снеков и продукции фастфуд (картофельные чипсы, картофель фри, соленый арахис, сушеная рыба и кальмары). Более частое употребление высококалорийных продуктов глубокой переработки может привести к ожирению, которое, в свою очередь, является базовой основой для развития метаболического синдрома. Рацион питания с частым употреблением мяса глубокой переработки (колбасы, сосиски, мясные консервы и другие полуфабрикаты, которые богаты калориями, солью, насыщенными жирами, а также могут содержать красители, подсластители, консерванты, эмульгаторы, стабилизаторы) способствует изменению состояния

микрофлоры и далее может быть ассоциирован с метаболическими нарушениями. Избыточное потребление калорий и западный тип питания усугубляют развитие метаболического синдрома. Показано, что употребление мяса, особенно переработанного, более 4 раз в неделю положительно связано с повышенным риском развития рака, особенно толстой кишки, а также ожирения и сахарного диабета 2 типа, а потребление молока и молочных продуктов отрицательно связано с этими заболеваниями [35]. Холин, содержащийся в куриных яйцах, нормализует синтез ЛПВП. Однако необходимо учитывать, что холин также перерабатывается комменсальными бактериями кишечника в метаболит триметиламин-N-оксид – фактор риска атеросклероза, повышающий экспрессию молекул адгезии, усиливающий общее воспаление и усугубляющий дисфункцию сосудистого эндотелия [36].

Не установлено достоверных различий в частоте употребления молочных и кисломолочных продуктов лицами из разных групп обследования. Роль молочных продуктов в формировании иммунной толерантности, их позитивном влиянии на липидный профиль при метаболическом синдроме неоднозначна, но показано, что потребление большинства молочных продуктов не связано с ухудшением гликемического статуса [37].

Воспалительные процессы, инициированные жировой тканью, характерные для метаболического синдрома, провоцируют нарушение пищевой толерантности и способствуют, как правило, троекратному росту уровней антител к пищевым антигенам. В соответствии с инструкцией (Allerquant IgG Food ELISA, Biomerica, США) концентрации $\text{IgG} \leq 50$ Ед/мл считаются физиологическими. Сравнительный анализ уровней специфических IgG у обследованных разных групп показал, что средние уровни антител к группам пищевых антигенов в периферической крови у лиц с метаболическим синдромом были в 3 раза выше, чем у практически здоровых добровольцев (табл. 5). При метаболическом синдроме концентрация IgG к фруктам и овощам в среднем не превышает физиологического уровня, но у соответственно 20,0 и 30,0% обследованных были выявлены повышенные концентрации, тогда как в группе сравнения повышенных уровней специфических IgG ни к фруктам, ни к овощам не было зарегистрировано. При этом частота употребления продуктов у добровольцев с метаболическим синдромом не оказывала решающего влияния на уровни специфических IgG.

Заключение

При метаболическом синдроме в рационе питания значительную часть составляют продукты с содержанием рафинированных углеводов, соли, насыщенных и транс-изомеров жирных кислот при низком уровне поступления продуктов растительного происхождения, полиненасыщенных жирных кислот, клетчатки и сложных углеводов. На фоне нарушения гомеостаза глюкозы

Таблица 5. Уровни IgG к группам пищевых антигенов в сыворотке периферической крови обследуемых ($M \pm m$, МЕ/мл)Table 5. Levels of IgG to food antigen groups in the peripheral blood of the surveyed subjects ($M \pm m$, IU/ml)

Группа антител к пищевым антигенам <i>Group of antibodies to food antigens</i>	Практически здоровые лица <i>Practically healthy individuals</i> (n=120)	Пациенты с метаболическим синдромом <i>Patients with metabolic syndrome</i> (n=110)
Мясные продукты / <i>Meat products</i>	14,40±1,45	54,47±11,75*
Рыба и морепродукты / <i>Fish and seafood</i>	20,72±1,71	76,21±13,42*
Зерновые / <i>Cereals</i>	24,26±2,91	62,73±7,13*
Молочные продукты / <i>Dairy products</i>	24,32±3,58	75,60±12,77*
Фрукты / <i>Fruit</i>	10,59±1,00	40,11±4,87*
Овощи / <i>Vegetables</i>	14,55±1,57	47,41±5,41*

и липидов при метаболическом синдроме, более высоком уровне общего воспаления формируется эпителиальная дисфункция, в результате чего увеличивается проницаемость для антигенов пищи через кишечный барьер. Изменение проницаемости для пищевых антигенов при метаболическом синдроме неспецифично, что отражается в повышении уровней IgG ко всем группам пищевых продуктов. У практически здоровых лиц частота употребления определенных видов продук-

тов влияет на уровни специфичных к ним IgG, остающихся в физиологических пределах благодаря развитию состояния иммунной толерантности. Таким образом, введение элиминационной диеты при метаболическом синдроме должно быть направлено на снижение уровня общего воспаления, восстановление функции кишечного эпителия. Маркером (скорее одним из маркеров) эффективности диеты может быть снижение уровня IgG к пищевым антигенам.

Сведения об авторах

ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (Архангельск, Российская Федерация):

Штаборов Вячеслав Анатольевич (*Vyacheslav A. Shtaborov*) – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологической иммунологии Института физиологии природных адаптаций

E-mail: shtaborov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1142-4410>

Патракеева Вероника Павловна (*Veronika P. Patrakeeva*) – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией экологической иммунологии Института физиологии природных адаптаций

E-mail: patrakeeva.veronika@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6219-5964>

Самодова Анна Васильевна (*Anna V. Samodova*) – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией регуляторных механизмов иммунитета Института физиологии природных адаптаций

E-mail: annapoletaeva2008@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9835-8083>

Литература

- Groschwitz K.R., Hogan S.P. Intestinal barrier function: molecular regulation and disease pathogenesis // *J. Allergy Clin. Immunol.* 2009. Vol. 124, N 1. P. 3–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2009.05.038>
- Добродеева Л.К., Штаборов В.А. Риски формирования нарушения толерантности к пищевым антигенам // *Вопросы питания.* 2023. Т. 92, № 1. С. 55–62. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-55-62>
- Seikrit C., Pabst O. The immune landscape of IgA in the gut // *Semin. Immunopathol.* 2021. Vol. 43, N 5. P. 627–637.
- Sarkar A., Yoo J.Y., Dutra S.V.O., Morgan K.H., Groer M. The association between early-life gut microbiota and long-term health and diseases // *J. Clin. Med.* 2021. Vol. 10, N 3. P. 459. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm10030459>
- Zhang C., Yin A., Li H., Wang R., Wu G., Shen J. et al. Dietary modulation of gut microbiota contributes to alleviation of both genetic and simple obesity in children // *EBioMedicine.* 2015. Vol. 2, N 8. P. 968–984. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2015.07.007>
- Tsuda M., Arakawa H., Ishii N., Ubukata C., Michimori M., Noda M. et al. Dietary fructo-oligosaccharides attenuate early activation of CD4(+) T cells which produce both Th1 and Th2 cytokines in the intestinal lymphoid tissues of a murine food allergy model // *Int. Arch. Allergy Immunol.* 2017. Vol. 174, N 3–4. P. 121–132. DOI: <https://doi.org/10.1159/000481984>
- Stefka A.T., Feehley T., Tripathi P., Qiu J., McCoy K., Mazmanian S.K. et al. Commensal bacteria protect against food allergen sensitization // *Proc. Natl Acad. Sci. USA.* 2014. Vol. 111, N 36. P. 13 145–13 150. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1412008111>
- Добродеева Л.К., Штаборов В.А., Меньшикова Е.А. Толерантность к пищевым антигенам. Вестник уральской медицинской академической науки. 2017. Т. 14, № 4. С. 341–354. DOI: <https://doi.org/10.22138/2500-0918-2017-14-4-341-354>
- Fries W., Belvedere A., Vetrano S. Sealing the broken barrier in IBD: intestinal permeability, epithelial cells and junctions // *Curr. Drug Targets.* 2013. Vol. 14, N 12. P. 1460–1470. DOI: <https://doi.org/10.2174/1389450111314120011>
- Патракеева В.П., Добродеева Л.К., Самодова А.В., Штаборов В.А. Оценка содержания специфических IgG к пищевым антигенам у пациентов с метаболическим синдромом // *Вопросы питания.*

2023. T. 92, № 6. C. 98–106. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-6-98-106>.
11. Deehan E.C., Duar R.M., Armet A.M., Perez-Muñoz M.E., Jin M., Walter J. Modulation of the gastrointestinal microbiome with nondigestible fermentable carbohydrates to improve human health // *Microbiol. Spectr.* 2017. Vol. 5. P. 5. DOI: <https://doi.org/10.1128/microbiol-spec.bad-0019-2017>
12. Guevara-Cruz M., Flores-López A.G., Aguilar-López M., Sánchez-Tapia M., Medina-Vera I., Díaz D. et al. Improvement of lipoprotein profile and metabolic endotoxemia by a lifestyle intervention that modifies the gut microbiota in subjects with metabolic syndrome // *J. Am. Heart Assoc.* 2019. Vol. 8, N 17. Article ID e012401. DOI: <https://doi.org/10.1161/JAHA.119.012401>
13. Karakula-Juchnowicz H., Gałęcka M., Rog J., Bartnicka A., Łukaszewicz Z., Krukow P. et al. The food-specific serum IgG reactivity in major depressive disorder patients, irritable bowel syndrome patients and healthy controls // *Nutrients.* 2018. Vol. 10, N 5. P. 548. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10050548>
14. Котляров С.Н., Котлярова А.А. Участие ABCA1 транспортера в развитии хронической обструктивной болезни легких // *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова.* 2020. Т. 28, № 3. С. 360–370.
15. Harris M.T., Hussain S.S., Inouye C.M., Castle A.M., Castle J.D. Reinterpretation of the localization of the ATP binding cassette transporter ABCG1 in insulin-secreting cells and insights regarding its trafficking and function // *PLoS One.* 2018. Vol. 13. Article ID e0198383.
16. Котляров С.Н. Нарушения регуляции легочного липидного обмена при курении и ХОБЛ // *Гены и клетки.* 2019. Т. 14, № 3. С. 83–84. DOI: <https://doi.org/10.23868/gcl22408>
17. Chen W.M., Sheu W.H., Tseng P.C., Lee T.S., Lee W.J., Chang P.J. et al. Modulation of microRNA expression in subjects with metabolic syndrome and decrease of cholesterol efflux from macrophages via microRNA-33-mediated attenuation of ATP-binding cassette transporter A1 expression by statins // *PLoS One.* 2016. Vol. 11. Article ID e0154672.
18. Ye Z., Lu Y., Wu T. The impact of ATP-binding cassette transporters on metabolic diseases // *Nutr. Metab. (Lond.).* 2020. Vol. 17. P. 61. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12986-020-00478-4>
19. Драпкина О.М., Шепель Р.Н., Деева Т.А. Изучение степени апоптоза у пациентов с метаболическим синдромом путем оценки уровня каспазы-8 в плазме крови // *Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски.* 2017. Т. 1, № 1. С. 78–82.
20. Cho W., Kang J.L., Park Y.M. Corticotropin-releasing hormone (CRH) promotes macrophage foam cell formation via reduced expression of ATP binding cassette transporter-1 (ABCA1) // *PLoS One.* 2015. Vol. 10, N 6. Article ID e0130587.
21. Узбекова Н.Р., Хужамбердиев М.А., Таштемирова И.М. К вопросу о взаимосвязи активности симпатико-адреналовой системы и медиаторов иммунных нарушений у больных метаболическим синдромом // *Российский кардиологический журнал.* 2014. № 3 (107). С. 72–75.
22. Kajimura S., Spiegelman B. M., Seale P. Brown and beige fat: physiological roles beyond heat generation // *Cell Metab.* 2015. Vol. 22, N 4. P. 546–559. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2015.09.007>
23. Hoch J., Burkhard N., Zhang S., Rieder M., Marchini T., Geest V. et al. Serotonin transporter-deficient mice display enhanced adipose tissue inflammation after chronic high-fat diet feeding // *Front. Immunol.* 2023. Vol. 13, N 14. Article ID 1184010. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1184010>
24. Al-Zoairy R., Pedrini M.T., Khan M.I., Engl J., Tschoner A., Ebenbichler C. et al. Serotonin improves glucose metabolism by serotonylation of the small GTPase Rab4 in L6 skeletal muscle cells // *Diabetol. Metab. Syndr.* 2017. Vol. 9. P. 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13098-016-0201-1>
25. Aslanoglu D., Bertera S., Sánchez-Soto M., Benjamin Free R., Lee J., Zong W. et al. Dopamine regulates pancreatic glucagon and insulin secretion via adrenergic and dopaminergic receptors // *Transl. Psychiatry.* 2021. Vol. 11, N 1. P. 59. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41398-020-01171-z>
26. Ziegler M.G., Elayan H., Milic M., Sun P., Gharaibeh M. Epinephrine and the metabolic syndrome // *Curr. Hypertens. Rep.* 2012. Vol. 14, N 1. P. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11906-011-0243-6>
27. Vignesh A., Amal T.C., Vasanth K. Food contaminants: impact of food processing, challenges and mitigation strategies for food security // *Food Res. Int.* 2024. Vol. 191. Article ID 114739. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114739>
28. Lin T.Y., Jiang D., Chen W.R., Lin J.S., Zhang X.Y., Chen C.H. et al. Trained immunity induced by high-salt diet impedes stroke recovery // *EMBO Rep.* 2023. Vol. 24, N 12. Article ID e57164. DOI: <https://doi.org/10.15252/embr.202357164>
29. Wang X., Lang F., Liu D. High-salt diet and intestinal microbiota: influence on cardiovascular disease and inflammatory bowel disease // *Biology (Basel).* 2024. Vol. 13, N 9. P. 674. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology13090674>
30. Ray S.K., Mukherjee S. Evolving interplay between dietary polyphenols and gut microbiota—an emerging importance in healthcare // *Front. Nutr.* 2021. Vol. 8. Article ID 634944. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.634944>
31. Beheshti N., Tavakoli A., Saeedirad Z., Mousavi Z., Nooriani N., Mobarakeh K.A. et al. The link between the risk of cardiovascular diseases and the intake of different types of dietary carbohydrates in Iranian adults // *Cardiovasc. Endocrinol. Metab.* 2024. Vol. 13, N 4. Article ID e00311. DOI: <https://doi.org/10.1097/XCE.0000000000000311>
32. Morris K.L., Zemel M.B. Glycemic index, cardiovascular disease, and obesity // *Nutr. Rev.* 1999. Vol. 57. P. 273–276. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1999.tb01810.x>
33. Hung T., Sievenpiper J.L., Marchie A., Kendall C.W., Jenkins D.J. Fat versus carbohydrate in insulin resistance, obesity, diabetes and cardiovascular disease // *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care.* 2003. Vol. 6, N 2. P. 165–176. DOI: <https://doi.org/10.1097/00075197-200303000-00005>
34. Kelly R.K., Tong T.Y.N., Watling C.Z., Reynolds A., Piernas C., Schmidt J.A. et al. Associations between types and sources of dietary carbohydrates and cardiovascular disease risk: a prospective cohort study of UK Biobank participants // *BMC Med.* 2023. Vol. 21, N 1. P. 34. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12916-022-02712-7>
35. Jun S., Ha K., Chung S., Joung H. Meat and milk intake in the rice-based Korean diet: impact on cancer and metabolic syndrome // *Proc. Nutr. Soc.* 2016. Vol. 75, N 3. P. 374–384. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0029665116000112>
36. Benson T.W., Conrad K.A., Li X.S., Wang Z., Helsley R.N., Schugar R.C. et al. Gut microbiota-derived trimethylamine N-oxide contributes to abdominal aortic aneurysm through inflammatory and apoptotic mechanisms // *Circulation.* 2023. Vol. 147, N 14. P. 1079–1096. DOI: <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.122.060573>
37. Slurink I.A.L., Kupper N., Smeets T., Soedamah-Muthu S.S. Dairy consumption and risk of prediabetes and type 2 diabetes in the Fennland study // *Clin. Nutr.* 2024. Vol. 43, N 11. P. 69–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2024.09.026>

References

1. Groschwitz K.R., Hogan S.P. Intestinal barrier function: molecular regulation and disease pathogenesis. *J Allergy Clin Immunol.* 2009; 124 (1): 3–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2009.05.038>
2. Dobrodeeva L.K., Shtaborov V.A. Risks of developing impaired tolerance to food antigens. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition].* 2023; 92 (1): 55–62. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-55-62> (in Russian)
3. Seikrit C., Pabst O. The immune landscape of IgA in the gut. *Semin Immunopathol.* 2021; 43 (5): 627–37.
4. Sarkar A., Yoo J.Y., Dutra S.V.O., Morgan K.H., Groer M. The association between early-life gut microbiota and long-term health and diseases. *J Clin Med.* 2021; 10 (3): 459. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm10030459>
5. Zhang C., Yin A., Li H., Wang R., Wu G., Shen J., et al. Dietary modulation of gut microbiota contributes to alleviation of both genetic and simple obesity in children. *EBioMedicine.* 2015; 2 (8): 968–84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2015.07.007>
6. Tsuda M., Arakawa H., Ishii N., Ubukata C., Michimori M., Noda M., et al. Dietary fructo-oligosaccharides attenuate early activation of CD4(+) T cells which produce both Th1 and Th2 cytokines in the intestinal lymphoid tissues of a murine food allergy model. *Int Arch Allergy Immunol.* 2017; 174 (3–4): 121–32. DOI: <https://doi.org/10.1159/000481984>
7. Stefa A.T., Feehley T., Tripathi P., Qiu J., McCoy K., Mazmanian S.K., et al. Commensal bacteria protect against food allergen sensitization. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2014; 111 (36): 13 145–50. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1412008111>
8. Dobrodeeva L.K., Shtaborov V.A., Men'shikova E.A. Tolerance to food antigens. *Vestnik Vestnik Ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki [Bulletin of the Ural Medical Academic Science].* 2017; 14 (4): 341–4. DOI: <https://doi.org/10.22138/2500-0918-2017-14-4-341-354> (in Russian)
9. Fries W., Belvedere A., Vetrano S. Sealing the broken barrier in IBD: intestinal permeability, epithelial cells and junctions. *Curr Drug Targets.* 2013; 14 (12): 1460–70. DOI: <https://doi.org/10.2174/1389450111314120011>

10. Patrakeeva V.P., Dobrodeeva L.K., Samodova A.V., Shtaborov V.A. Assessment of specific IgG content to food antigens in patients with metabolic syndrome. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2023; 92 (6): 98–106. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-6-98-106> (in Russian)
11. Deehan E.C., Duar R.M., Armet A.M., Perez-Muñoz M.E., Jin M., Walter J. Modulation of the gastrointestinal microbiome with nondigestible fermentable carbohydrates to improve human health. *Microbiol Spectr*. 2017; 5: 5. DOI: <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.bad-0019-2017>
12. Guevara-Cruz M., Flores-López A.G., Aguilar-López M., Sánchez-Tapia M., Medina-Vera I., Díaz D., et al. Improvement of lipoprotein profile and metabolic endotoxemia by a lifestyle intervention that modifies the gut microbiota in subjects with metabolic syndrome. *J Am Heart Assoc*. 2019; 8 (17): e012401. DOI: <https://doi.org/10.1161/JAHA.119.012401>
13. Karakula-Juchnowicz H., Gałęcka M., Rog J., Bartnicka A., Łukaszewicz Z., Krukow P., et al. The food-specific serum IgG reactivity in major depressive disorder patients, irritable bowel syndrome patients and healthy controls. *Nutrients*. 2018; 10 (5): 548. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10050548>
14. Kotlyarov S.N., Kotlyarova A.A. Participation of ABCA1 transporter in development of chronic obstructive pulmonary disease. *Rossiyskiy mediko-biologicheskii vestnik imeni akademika I.P. Pavlova* [Russian Medical and Biological Bulletin named after academician I.P. Pavlov]. 2020; 28 (3): 360–70. DOI: <https://doi.org/10.23888/PAV-LOVJ2020283360-370> (in Russian)
15. Harris M.T., Hussain S.S., Inouye C.M., Castle A.M., Castle J.D. Reinterpretation of the localization of the ATP binding cassette transporter ABCG1 in insulin-secreting cells and insights regarding its trafficking and function. *PLoS One*. 2018; 13: e0198383.
16. Kotlyarov S.N. Disorders of regulation of pulmonary lipid metabolism in smoking and COPD. *Geny i kletki* [Genes and Cells] 2019; 14 (3): 83–4. DOI: <https://doi.org/10.23868/gc122408> (in Russian)
17. Chen W.M., Sheu W.H., Tseng P.C., Lee T.S., Lee W.J., Chang P.J., et al. Modulation of microRNA expression in subjects with metabolic syndrome and decrease of cholesterol efflux from macrophages via microRNA-33-mediated attenuation of ATP-binding cassette transporter A1 expression by statins. *PLoS One*. 2016; 11: e0154672.
18. Ye Z., Lu Y., Wu T. The impact of ATP-binding cassette transporters on metabolic diseases. *Nutr Metab (Lond)*. 2020; 17: 61. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12986-020-00478-4>
19. Drapkina O.M., Shepel' R.N., Deeva T.A. Study of the degree of apoptosis in patients with metabolic syndrome by assessing the level of caspase-8 in blood plasma. *Neotlozhnaya Neotlozhnaya kardiologiya i kardiovaskulyarnye riski* [Emergency Cardiology and Cardiovascular Risks]. 2017; 1 (1): 78–82. (in Russian)
20. Cho W., Kang J.L., Park Y.M. Corticotropin-releasing hormone (CRH) promotes macrophage foam cell formation via reduced expression of ATP binding cassette transporter-1 (ABCA1). *PLoS One*. 2015; 10 (6): e0130587.
21. Uzbekova N.R., Khuzhamberdiev M.A., Tashtemirova I.M. On the relationship between the activity of the sympathoadrenal system and mediators of immune disorders in patients with metabolic syndrome. *Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Cardiology]. 2014; 3 (107): 72–5. DOI: <https://doi.org/10.1159/000054508> (in Russian)
22. Kajimura S., Spiegelman B. M., Seale P. Brown and beige fat: physiological roles beyond heat generation. *Cell Metab*. 2015; 22 (4): 546–59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2015.09.007>
23. Hoch J., Burkhard N., Zhang S., Rieder M., Marchini T., Geest V., et al. Serotonin transporter-deficient mice display enhanced adipose tissue inflammation after chronic high-fat diet feeding. *Front Immunol*. 2023; 13 (14): 1184010. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1184010>
24. Al-Zoairy R., Pedrini M.T., Khan M.I., Engl J., Tschoner A., Ebenbichler C. et al. Serotonin improves glucose metabolism by serotonylation of the small GTPase Rab4 in L6 skeletal muscle cells. *Diabetol Metab Syndr*. 2017; 9: 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13098-016-0201-1>
25. Aslanoglu D., Bertera S., Sánchez-Soto M., Benjamin Free R., Lee J., Zong W., et al. Dopamine regulates pancreatic glucagon and insulin secretion via adrenergic and dopaminergic receptors. *Transl Psychiatry*. 2021; 11 (1): 59. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41398-020-01171-z>
26. Ziegler M.G., Elayan H., Milic M., Sun P., Gharaibeh M. Epinephrine and the metabolic syndrome. *Curr Hypertens Rep*. 2012; 14 (1): 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11906-011-0243-6>
27. Vignesh A., Amal T.C., Vasanth K. Food contaminants: impact of food processing, challenges and mitigation strategies for food security. *Food Res Int*. 2024; 191: 114739. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114739>
28. Lin T.Y., Jiang D., Chen W.R., Lin J.S., Zhang X.Y., Chen C.H., et al. Trained immunity induced by high-salt diet impedes stroke recovery. *EMBO Rep*. 2023; 24 (12): e57164. DOI: <https://doi.org/10.15252/embr.202357164>
29. Wang X., Lang F., Liu D. High-salt diet and intestinal microbiota: influence on cardiovascular disease and inflammatory bowel disease. *Biology (Basel)*. 2024; 13 (9): 674. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology13090674>
30. Ray S.K., Mukherjee S. Evolving interplay between dietary polyphenols and gut microbiota—an emerging importance in healthcare. *Front Nutr*. 2021; 8: 634944. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.634944>
31. Beheshti N., Tavakoli A., Saeedirad Z., Mousavi Z., Nooriani N., Mobarakeh K.A., et al. The link between the risk of cardiovascular diseases and the intake of different types of dietary carbohydrates in Iranian adults. *Cardiovasc Endocrinol Metab*. 2024; 13 (4): e00311. DOI: <https://doi.org/10.1097/XCE.0000000000000311>
32. Morris K.L., Zemel M.B. Glycemic index, cardiovascular disease, and obesity. *Nutr Rev*. 1999; 57: 273–6. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1999.tb01810.x>
33. Hung T., Sievenpiper J.L., Marchie A., Kendall C.W., Jenkins D.J. Fat versus carbohydrate in insulin resistance, obesity, diabetes and cardiovascular disease. *Curr Opin Clin Nutr Metab. Care*. 2003; 6 (2): 165–76. DOI: <https://doi.org/10.1097/00075197-200303000-00005>
34. Kelly R.K., Tong T.Y.N., Watling C.Z., Reynolds A., Piernas C., Schmidt J.A., et al. Associations between types and sources of dietary carbohydrates and cardiovascular disease risk: a prospective cohort study of UK Biobank participants. *BMC Med*. 2023; 21 (1): 34. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12916-022-02712-7>
35. Jun S., Ha K., Chung S., Joung H. Meat and milk intake in the rice-based Korean diet: impact on cancer and metabolic syndrome. *Proc Nutr Soc*. 2016; 75 (3): 374–84. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0029665116000112>
36. Benson T.W., Conrad K.A., Li X.S., Wang Z., Helsley R.N., Schugar R.C., et al. Gut microbiota-derived trimethylamine N-oxide contributes to abdominal aortic aneurysm through inflammatory and apoptotic mechanisms. *Circulation*. 2023; 147 (14): 1079–96. DOI: <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.122.060573>
37. Slurink I.A.L., Kupper N., Smeets T., Soedamah-Muthu S.S. Dairy consumption and risk of prediabetes and type 2 diabetes in the Fenland study. *Clin Nutr*. 2024; 43 (11): 69–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2024.09.026>

Для корреспонденции

Выборная Ксения Валерьевна – научный сотрудник
лаборатории антропонутициологии и спортивного питания
ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Адрес: 109240, Российская Федерация, г. Москва,
Устьинский проезд, д. 2/14

Телефон: (495) 698-53-26

E-mail: dombim@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4010-6315>

Выборная К.В.¹, Раджабкадиев Р.М.¹, Шурова З.М.¹, Селедкова Ю.А.¹, Мангушев Т.А.²,
Никитюк Д.Б.^{1, 3, 4}

Потребность в энергии и макронутриентах спортсменов, занимающихся синхронным катанием на коньках

Energy and macronutrient requirements of female athletes engaged in synchronous skating

Vybornaya K.V.¹, Radzhabkadiyev R.M.¹,
Shurova Z.M.¹, Seledkova Yu.A.¹,
Mangushev T.A.², Nikityuk D.B.^{1, 3, 4}

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, 109240, г. Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», 121059, г. Москва, Российская Федерация

³ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», 117198, г. Москва, Российская Федерация

⁴ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) Министерства здравоохранения Российской Федерации, 119991, г. Москва, Российская Федерация

¹ Federal Research Centre for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 109240, Moscow, Russian Federation

² Clinical Center of Sports Medicine and Rehabilitation, 121059, Moscow, Russian Federation

³ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, 117198, Moscow, Russian Federation

⁴ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Ministry of Health of the Russian Federation, 119991, Moscow, Russian Federation

Потребности спортсменов в энергии и пищевых веществах рассчитываются с учетом индивидуальных энергозатрат и показателей компонентного состава тела. При этом учитывают разное соотношение белков, жиров и углеводов, рекомендуемое для видов спорта различной направленности физической нагрузки,

Финансирование. Поисково-аналитическая работа по подготовке рукописи проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания FGMP-2025-0002.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Никитюк Д.Б., Выборная К.В.; организация исследования – Никитюк Д.Б., Мангушев Т.А.; сбор данных – Выборная К.В., Раджабкадиев Р.М., Селедкова Ю.А.; обработка данных – Выборная К.В., Раджабкадиев Р.М., Шурова З.М.; написание текста – Выборная К.В.; редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Выборная К.В., Раджабкадиев Р.М., Шурова З.М., Селедкова Ю.А., Мангушев Т.А., Никитюк Д.Б. Потребность в энергии и макронутриентах спортсменок, занимающихся синхронным катанием на коньках // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 4. С. 97–108. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-97-108>

Статья поступила в редакцию 29.04.2025. **Принята в печать** 27.06.2025.

а также изменяющееся соотношение макронутриентов в зависимости от коэффициента физической активности.

Цель работы – оценить потребность в энергии и пищевых веществах спортсменок, занимающихся синхронным катанием на коньках, на основании результатов оценки морфологических показателей и суточных энергозатрат.

Материал и методы. В обследовании приняли участие спортсменки ($n=22$, возраст $21,4 \pm 4,5$ года), специализирующиеся в синхронном катании на коньках, которые были разделены на 3 группы согласно спортивным званиям (8 кандидаток в мастера спорта, 10 мастеров спорта России и 4 мастера спорта России международного класса). Оценивали габаритные размеры методом антропометрии, компонентный состав тела и величину основного обмена методом биоимпедансометрии, обмен покоя – методом непрямой калориметрии, проводили дозированный нагрузочный тест на велоэргометре, осуществляли суточный мониторинг частоты сердечных сокращений, хронометраж суточной активности спортсменок осуществляли методом саморегистрации.

Результаты. Выявлены изменения морфологических показателей, происходящие при переходе спортсменок из одной группы спортивного мастерства в другую, более высокую. С ростом спортивного мастерства спортсменки становятся более рослыми и массивными, у них увеличиваются показатели метаболически активных тканей (тощей и скелетно-мышечной) при сохранении уровня жировой массы. В целом по группе величина основного обмена у спортсменок составила 1426 [1382; 1486] ккал/сут, суточные энергозатраты – 3177 [2788; 3507] ккал/сут. Суточные энергозатраты различались значительно и зависели как от тренировочной, так и от нетренировочной деятельности спортсменок. Проведенный расчет потребности в пищевых веществах и энергии соответствует требованиям МР 2.3.1.0253-21, а также рекомендациям по соотношению долей макронутриентов в рационе для спортсменок сложнокоординационных видов спорта анаэробной направленности и при коэффициенте физической активности (КФА) 2,4; 2,6 и 2,8 проводился из принципа не превышать потребности в макронутриентах на 1 кг массы тела: в белках – не более 1,96 г на 1 кг массы тела; в жирах – не более 1,66 г на 1 кг массы тела; в углеводах – по остаточному принципу.

Заключение. При расчете потребности в белках, жирах и углеводах и их долевом вкладе в калорийность рациона для спортсменок, чьи потребности превышают регламентируемые нормы при КФА более 2,2 (по МР 2.3.1.0253-21), следует изменять процентное соотношение макронутриентов в зависимости от потребности в граммах на 1 кг массы тела.

Ключевые слова: синхронное катание на коньках; потребность в энергии и макронутриентах; состав тела; суточные энергозатраты; структура энергозатрат

The athletes' energy and nutrient requirements are calculated based on individual energy expenditure and body composition indicators. This takes into account the different ratios of proteins, fats and carbohydrates recommended for sports with different physical activity levels, as well as the changing ratio of macronutrients depending on the physical activity coefficient.

The purpose of the research was to assess the energy and nutrient requirements of female athletes involved in synchronized skating based on the results of assessing morphological indicators and daily energy expenditure.

Material and methods. The study involved female athletes ($n=22$, age 21.4 ± 4.5 years) specializing in synchronized skating, who were divided into three groups according to their sports ranks (8 candidates for master of sports, 10 masters of sports of Russia and 4 masters of sports of Russia of international class). Overall dimensions were assessed using anthropometry, body composition and basal metabolic rate were assessed using bioimpedancemetry, resting metabolic rate was assessed using indirect calorimetry, a dosed load test was performed on a bicycle ergometer, daily heart rate monitoring was performed, and athletes' daily activity was recorded using self-registration.

Funding. The research was carried out using subsidies for the implementation of a state task (No. FGMF-2025-0002).

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

Contribution. Concept and design of the study – Nikityuk D.B., Vybornaya K.V.; organization of the study – Nikityuk D.B., Mangushev T.A.; data collection – Vybornaya K.V., Radzhabkadiyev R.M., Seledkova Yu.S.; data processing – Vybornaya K.V., Radzhabkadiyev R.M., Shurova Z.M.; writing the text – Vybornaya K.V.; editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Vybornaya K.V., Radzhabkadiyev R.M., Shurova Z.M., Seledkova Yu.A., Mangushev T.A., Nikityuk D.B. Energy and macronutrient requirements of female athletes engaged in synchronous skating. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (4): 97–108. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-97-108> (in Russian)

Received 29.04.2025. **Accepted** 27.06.2025.

Results. Changes in morphological indices were revealed that occur when female athletes move from one athletic skill group to another, higher one. With the growth of athletic skill, female athletes become taller and more massive, their indices of metabolically active tissues (lean and skeletal-muscular) increase while maintaining the level of fat mass. In general, the basal metabolic rate of female athletes in the group was 1426 [1382; 1486] kcal/day, daily energy expenditure was 3177 [2788; 3507] kcal/day. Daily energy expenditure varied significantly and depended on both the training and non-training activities of the athletes. The calculation of the need for nutrients and energy complies with the requirements of MR 2.3.1.0253-21, as well as recommendations for the ratio of macronutrient shares in the diet of female athletes in complex coordination anaerobic sports, and with a Physical Activity Coefficients (PA Values) of 2.4, 2.6 and 2.8 was made based on the principle of not exceeding the need for macronutrients per 1 kg of body weight: in proteins – no more than 1.96 g/kg body weight; in fats – no more than 1.66 g/kg body weight; in carbohydrates – on a residual basis.

Conclusion. For athletes whose requirements exceed the regulated norms with PA Values of more than 2.2 (according to MR 2.3.1.0253-21), when calculating the need for proteins, fats and carbohydrates, and their share contribution to the calorie content of the diet, the percentage ratio of macronutrients should be changed depending on the need in grams per 1 kilogram of body weight.

Keywords: synchronized skating; energy and macronutrient requirements; body composition; daily energy expenditure; energy expenditure structure

Пригодность спортсмена для занятия конкретным видом спорта оценивается комплексно и включает в себя, как один из компонентов системы, соотношение индивидуальных морфологических признаков спортсмена с морфологической моделью для конкретного вида спорта. К морфологическим признакам относятся габаритные размеры тела, компонентный состав и тип телосложения. Состав тела в спорте имеет широкое информационное значение и затрагивает возрастные и квалификационные различия. Спортсмены более высоких спортивных разрядов и званий обладают более высокими величинами тощей и скелетно-мышечной и низкими величинами жировой массы тела (ЖМТ), чем менее квалифицированные спортсмены [1].

Синхронное катание на коньках является относительно молодым, но довольно популярным видом спорта как среди зрителей и болельщиков, так и среди спортсменов. Данных о морфологических характеристиках спортсменок, специализирующихся в этом виде спорта, практически нет. Так, при обследовании синхронисток, являющихся представительницами 6 команд США по синхронному катанию на коньках, соревновавшихся на международном уровне в сезоне 1998 г., были измерены только габаритные показатели тела, и было показано, что средняя масса тела (МТ) в группе спортсменок 14–18 лет ($n=89$) составляла $58,2 \pm 6,0$ кг, длина тела (ДТ) – $163,7 \pm 6,0$ см и индекс массы тела (ИМТ) – $21,0 \pm 2,0$ кг/м²; старшие спортсменки (19–30 лет, $n=34$), имеющие более высокие спортивные звания, отличались от более младших незначительно и имели показатели МТ $61,1 \pm 7,2$ кг, ДТ – $163,6 \pm 6,7$ см и ИМТ – $22,1 \pm 2,9$ кг/м² [2]. При этом данные по составу тела синхронисток также единичны, и, по результатам исследования М.Е. Bower и соавт., выборка спортсменок 18–20 лет ($n=27$) при показателях МТ $59,5 \pm 6,8$ кг и ДТ $164,5 \pm 6,2$ см имела показатель ЖМТ $23,2 \pm 3,9\%$ [3]. При сравнении синхронисток с представительницами других дисциплин было показано, что они имеют меньшие показатели тощей и скелетно-мышеч-

ной МТ и большие – жирового компонента МТ по сравнению с фигуристками-парницами, но имеют схожие показатели компонентного состава тела с девушками, специализирующимися в танцах на льду [3].

Суточные энергопотребности спортсменов зависят от вида спорта, компонентного состава тела, величины основного обмена (ВОО), обусловленного содержанием в организме метаболически активных тканей, а также энерготрат (ЭТ), обусловленных физической активностью (ФА) и перевариванием пищи (пищевой термогенез). Расчетные методы оценки ЭТ уступают методам непосредственной регистрации. При расчетном методе для оценки ВОО используют прогностические уравнения на основании габаритных размеров тела, пола и возраста либо на основе показателя тощей массы тела (ТМТ) [4]; для оценки суточных ЭТ – метод расчета суточной активности по дневникам поминутной регистрации видов физической нагрузки (ФН) с последующим расчетом ЭТ по таблице ФН [5]. Для непосредственной регистрации суточных ЭТ используют непрямую калориметрию, нагрузочное тестирование и суточную пульсометрию [6].

В зависимости от ЭТ спортсменов и их компонентного состава тела рассчитываются потребности в энергии и пищевых веществах (макро- и микронутриентах) как индивидуальные, так и групповые для конкретного вида спорта. При расчете среднegrupповых потребностей в макронутриентах определяют их удельные значения на килограмм МТ и/или долю (%) от калорийности рациона. При необходимости коррекции состава тела рекомендации формируют в индивидуальном порядке. При избыточной МТ за счет жирового компонента применяют способ редуцирования энергетической ценности (ЭЦ) рациона на 10% от общей суточной калорийности с обязательным контролем уровня ФН и включением в тренировочный процесс аэробных упражнений. При необходимости наращивания мышечной массы увеличивают долю белка в рационе с обязательным конт-

ролем уровня ФН и включением в тренировочный процесс силовых упражнений для роста мышечной массы. При ожирении с нормальной массой тела (скрытом ожирении), когда жировая масса выше, а мышечная – ниже рекомендованных значений, а величина ИМТ находится в пределах границ нормальных значений, ЭЦ рациона не редуцируют, изменяя соотношение макронутриентов в рационе в сторону увеличения белка; в тренировочный процесс включают как анаэробные силовые, так и аэробные упражнения. В связи с тем, что причиной скрытого ожирения в сложнокоординационных эстетических видах спорта служат такие факторы питания, как сниженная по сравнению с рекомендуемой ЭЦ рациона (зачастую ниже уровня основного обмена) и неправильное распределение приемов пищи в течение дня, следует следить не только за калорийностью рациона и соотношением макроэлементов, но и за кратностью приемов пищи и интервалами между ними.

Современных данных о морфологических показателях, а именно о габаритных размерах и компонентном составе тела взрослых спортсменок различных уровней спортивного мастерства, специализирующихся в синхронном катании на коньках, в российской и зарубежной литературе не найдено. Также отсутствуют данные оценки ВОО и суточных ЭТ спортсменок, на основании которых можно было бы рассчитать рекомендованные уровни потребности в энергии и пищевых веществах в зависимости от уровня спортивного мастерства и тренировочной деятельности.

В связи с этим **целью** исследования было оценить потребность в энергии и пищевых веществах спортсменок, занимающихся синхронным катанием на коньках, на основании результатов оценки морфологических показателей и суточных ЭТ.

Материал и методы

На базе Республиканской спортивной школы олимпийского резерва по фигурному катанию на коньках и шорт-треку (Казань, Республика Татарстан) было проведено обследование спортсменок команды «Татарстан» – членов сборной России по синхронному фигурному катанию. Спортсменки ($n=22$, возраст $21,4 \pm 4,5$ года) были разделены на 3 группы согласно спортивным званиям: группу КМС (кандидаты в мастера спорта) составили 8 спортсменок в возрасте $18,7 \pm 0,6$ года (от 17,4 до 19,3 года), группу МС (мастера спорта России) – 10 спортсменок в возрасте $20,2 \pm 1,8$ года (от 17,7 до 23,1 года), группу МСМК (мастера спорта России международного класса) – 4 спортсменки в возрасте $29,5 \pm 4,6$ года (от 25,9 до 36,2 года).

Габаритные и обхватные размеры тела измеряли методом антропометрии по стандартной методике [7]. Компонентный состав тела и соматотипологический профиль по схеме Хит–Картера определяли методом биоимпедансометрии с помощью анализатора ABC-01 Медасс (НТЦ «Медасс», Россия). За границы попу-

ляционной нормы взяты значения из программного обеспечения биоимпедансного анализатора (БИ-анализатора) ABC-01 Медасс [8, 9]. Показатели ВОО оценивали с помощью биоимпедансометрии. Фактические показатели обмена покоя измеряли методом непрямой калориметрии на эргоспирометре Охусон Mobile (Jaeger, Германия). С помощью дозированного нагрузочного пошагового теста на велоэргометре Cyclus2 (RBM Elektronik-Automation GmbH, Германия) оценивали повышение частоты сердечных сокращений (ЧСС) и ЭТ спортсменов. Суточный мониторинг ЧСС проводили с помощью кистевого пульсометра Polar M200 (Финляндия) [6]. Калибровочную зависимость ЧСС и персональных ЭТ рассчитывали с помощью уравнения линейной регрессии методом наименьших квадратов [10]. Параллельно осуществляли хронометраж суточной активности спортсменов методом саморегистрации (заполнение дневника с описанием времени и характера выполняемой нагрузки во время тренировки, вне тренировочной деятельности, периода досуга и сна). Данные хронометража и суточного мониторинга ЧСС использовали для расчета ЭТ конкретных видов деятельности.

Статистические расчеты проводили с помощью пакета Statistica 12 (StatSoft, США) и программы Microsoft Excel. Нормальность распределения оценивали с помощью критерия Шапиро–Уилка. Достоверность различий определяли с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни (U -тест), поскольку половина полученных данных имела распределение, отличное от нормального. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$. Данные представлены в виде медианы (Me) и межквартильных интервалов [нижний квартиль (Q_{25}); верхний квартиль (Q_{75})].

Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены результаты сравнительной оценки габаритных размеров, индексов физического развития и показателей состава тела спортсменок, занимающихся синхронным катанием на коньках по группе в целом и при разделении на группы по уровню спортивного мастерства.

Группы обследованных КМС и МС достоверно отличались друг от друга по ДТ, МТ, обхвату талии (ОТ), показателям ТМТ и скелетно-мышечной массы (СММ). КМС и МСМК отличались друг от друга по этим же показателям, однако различия в ДТ и СММ не достигали уровня статистической значимости, по-видимому, вследствие незначительного количества обследованных МСМК. МС и МСМК не различались между собой достоверно ни по одному из габаритных показателей и показателей состава тела.

Представительницы группы КМС менее рослые и менее массивные, имеют меньшие показатели ОТ, обхвата бедер (ОБ), ТМТ, активной клеточной массы (АКМ) и СММ, чем представительницы групп МС и МСМК.

Таблица 1. Основные габаритные размеры, индексы физического развития и показатели состава тела спортсменок, занимающихся синхронным катанием на коньках

Table 1. Main dimensions, physical development indices and body composition indicators of female athletes engaged in synchronized skating

Показатель Parametr		Кандидат в мастера спорта Candidate for Master of Sports (n=8)	Мастер спорта Master of Sports (n=10)	Мастер спорта меж- дународного класса Master of Sports of International Class (n=4)	Все обследован- ные All examined (n=22)
Длина тела, см Body length, cm	Me	158,9	168,5 ¹	169,5	165,0
	[Q25; Q75]	[157,0; 164,8]	[164,2; 170,0]	[164,3; 172,0]	[160,5; 170,0]
	Min–Max	156,5–172,0	161,5–177,0	160,5–173,0	156,5–177,0
Масса тела, кг Body weight, kg	Me	56,9	63,2 ¹	62,8 ¹	60,6
	[Q25; Q75]	[51,3; 59,8]	[58,1; 64,8]	[61,3; 63,8]	[55,5; 63,6]
	Min–Max	50,0–60,5	51,2–78,9	60,6–64,0	50,0–78,9
Обхват талии (ОТ), см Waist circumference, cm	Me	68,5	75,5 ¹	76,0 ¹	72,0
	[Q25; Q75]	[67,0; 70,0]	[69,0; 78,0]	[73,5; 78,5]	[68,0; 77,0]
	Min–Max	66,0–73,0	66,0–84,0	73,0–79,0	66,0–84,0
Обхват бедер (ОБ), см Hip circumference, cm	Me	92,5	94,5	96,5	94,5
	[Q25; Q75]	[88,5; 95,5]	[92,0; 98,0]	[94,5; 100,0]	[92,0; 98,0]
	Min–Max	86,0–98,0	89,5–105,0	94,0–102,0	86,0–105,0
Индекс отношения ОТ к ОБ Waist-to-hip ratio	Me	0,74	0,78	0,78	0,76
	[Q25; Q75]	[0,74; 0,76]	[0,73; 0,81]	[0,76; 0,81]	[0,74; 0,78]
	Min–Max	0,73–0,78	0,73–0,83	0,74–0,83	0,73–0,83
ИМТ, кг/м ² Body mass index, kg/m ²	Me	21,3	22,6	21,5	21,7
	[Q25; Q75]	[20,4; 22,2]	[19,7; 23,4]	[21,3; 23,1]	[20,4; 23,4]
	Min–Max	19,7–24,1	19,0–25,4	21,2–24,7	19,0–25,4
Жировая масса тела (ЖМТ), кг Body fat mass, kg	Me	14,4	17,7	15,6	15,6
	[Q25; Q75]	[12,5; 15,6]	[12,9; 18,4]	[14,1; 18,3]	[12,9; 18,0]
	Min–Max	12,1–16,6	10,4–26,6	13,8–19,7	10,4–26,6
Доля ЖМТ, % Proportion of fat mass, %	Me	25,1	27,9	24,7	26,1
	[Q25; Q75]	[24,4; 26,3]	[22,2; 29,1]	[23,0; 28,6]	[24,1; 28,0]
	Min–Max	24,1–27,6	20,3–37,1	22,8–31,0	20,3–37,1
Тощая масса тела (ТМТ), кг Lean body mass (LBM), kg	Me	42,2	45,1 ¹	47,0 ¹	44,8
	[Q25; Q75]	[38,9; 44,1]	[44,6; 46,5]	[45,4; 47,5]	[41,5; 46,5]
	Min–Max	37,8–44,8	40,3–55,7	43,9–47,7	37,8–55,7
Активная клеточная масса тела (АКМ), кг Active cell mass, kg	Me	24,5	25,9	26,8	25,7
	[Q25; Q75]	[22,8; 25,8]	[25,2; 28,4]	[26,0; 27,4]	[24,3; 27,5]
	Min–Max	21,8–27,6	23,2–32,8	25,6–27,6	21,8–32,8
Доля АКМ, % в ТМТ Proportion of active cell mass, % in LBM	Me	59,5	58,4	57,7	58,4
	[Q25; Q75]	[57,5; 60,7]	[56,8; 59,3]	[56,6; 58,4]	[56,9; 59,7]
	Min–Max	53,0–61,7	56,2–62,8	56,3–58,4	53,0–62,8
Скелетно-мышечная масса (СММ), кг Skeletal muscle mass, kg	Me	21,1	22,8 ¹	23,4	22,3
	[Q25; Q75]	[19,1; 22,0]	[21,8; 23,6]	[22,1; 24,0]	[20,7; 23,6]
	Min–Max	17,8–22,8	20,1–26,5	21,1–24,3	17,8–26,5
Доля СММ, % в ТМТ Proportion of skeletal muscle mass, % in LBM	Me	50,1	50,5	49,7	50,1
	[Q25; Q75]	[48,7; 50,3]	[50,0; 50,7]	[48,7; 50,5]	[49,3; 50,5]
	Min–Max	47,2–50,9	47,7–51,0	48,0–51,0	47,2–51,0

¹ – достоверные отличия от группы кандидатов в мастера спорта.

¹ – reliable differences from Candidate for Master of Sports group.

Скорее всего, с ростом спортивного мастерства, при переходе из группы КМС в группу МС и далее в группу МСМК, спортсменки практически не изменяют свою жировую массу и наращивают ТМТ, АКМ и СММ.

Практически все синхронистки имеют показатели СММ в абсолютных и относительных показателях в пределах границ популяционных значений, что недоста-

точно для группы высококвалифицированных спортсме-
нок [1, 9]. Как правило, эти показатели у спортсменок
высокой квалификации находятся выше 60-го центиль-
ного интервала популяционных значений.

Таким образом, выявлены изменения морфологиче-
ских показателей, происходящие при переходе спорт-
сменок из одной группы спортивного мастерства

Таблица 2. Показатели энергетического обмена спортсменов, занимающихся синхронным катанием на коньках

Table 2. Indicators of energy metabolism of athletes engaged in synchronized skating

Показатель Parametr		Кандидат в мастера спорта Candidate for Master of Sports (n=8)	Мастер спорта Master of Sports (n=10)	Мастер спорта меж- дународного класса Master of Sports of International Class (n=4)	Все обследо- ванные All examined (n=22)
Величина основного обмена (ВОО), ккал/сут Basal metabolic rate (BMR), kcal/day	Me	1371	1433	1473	1426
	[Q25; Q75]	[1334; 1446]	[1412; 1514]	[1443; 1476]	[1382; 1486]
	Min–Max	1304–1487	1349–1652	1426–1488	1304–1652
Удельная ВОО, ккал/кг массы тела (MT) Specific BMR, kcal/kg body weight (BW)	Me	24,5	23,4	23,7	23,7
	[Q25; Q75]	[23,5; 25,8]	[22,7; 24,3]	[23,0; 23,7]	[23,0; 23,1]
	Min–Max	22,8–26,4	19,7–26,7	23,2–23,9	19,7–26,7
Удельная ВОО, ккал/кг тощей массы тела (TMT) / Specific BMR, kcal/kg lean body mass (LBM)	Me	32,9	32,0	30,9	32,1
	[Q25; Q75]	[32,3; 34,1]	[31,5; 32,9]	[30,9; 31,2]	[31,5; 33,3]
	Min–Max	31,1–35,0	29,6–33,6	30,8–31,5	29,6–35,0
Обмен покоя, ккал/сут Rest metabolic rate, kcal/day	Me	1656	1563	1628	1562
	[Q25; Q75]	[1434; 1822]	[1475; 1778]	[1478; 1628]	[1439; 1770]
	Min–Max	1359–2359	1350–1994	1434–2604	1350–2604
Энерготраты (ЭТ), ккал/сут Energy expenditure (EE), kcal/day	Me	2663	3193	3457	3177
	[Q25; Q75]	[2425; 3158]	[2875; 3396]	[3457; 3840]	[2788; 3507]
	Min–Max	2107–4080	2039–3590	2100–4049	2039–4080
Удельные ЭТ, ккал/сут на 1 кг MT Specific EE, kcal/day 1 kg BW	Me	47,7	50,6	55,45	50,6
	[Q25; Q75]	[42,7; 52,6]	[45,6; 53,8]	[55,4; 61,0]	[46,3; 55,5]
	Min–Max	36,1–81,6	34,8–61,7	33,0–65,3	33,0–81,6
Удельные ЭТ, ккал/сут на 1 кг TMT Specific EE, kcal/day 1 kg LBM	Me	63,2	72,4	73,5 ¹	70,6
	[Q25; Q75]	[57,3; 72,1]	[62,2; 75,9]	[73,5; 80,9]	[61,9; 76,6]
	Min–Max	49,2–107,9	49,3–79,7	47,8–84,8	47,8–107,9
Удельные ЭТ, ккал/сут на 1 кг скелетно- мышечной массы тела Specific EE, kcal/day 1 kg skeletal muscle mass	Me	130,0	143,2	147,9 ¹	141,0
	[Q25; Q75]	[113,7; 145,3]	[122,6; 152,2]	[147,9; 160,2]	[123,9; 153,4]
	Min–Max	98–229,2	98,9–164,6	99,5–166,6	98–229,2
Коэффициент физической активности Physical activity coefficient	Me	1,55	1,81	2,53 ¹	1,85
	[Q25; Q75]	[1,41; 1,96]	[1,60; 2,27]	[2,21; 2,59]	[1,30; 2,6]
	Min–Max	1,30–2,32	1,48–2,46	1,89–2,65	1,30–2,65

в другую, более высокую. С ростом спортивного мастерства спортсменки становятся более рослыми и массивными, у них увеличиваются показатели метаболически активных тканей (TMT и CMM) при сохранении уровня ЖМТ.

В табл. 2 представлены показатели энергетического обмена обследованных спортсменов.

Показатели ВОО, измеренные с помощью БИ-анализатора на основе значений АКМ по формуле Хрущевой и соавт. [11], варьировали в пределах 1304–1652 ккал/сут и, хоть и не достоверно, но увеличивались от группы КМС к группе МСМК, что сопряжено с увеличением массы метаболически активных тканей в организме спортсменок более высокого спортивного звания. При этом медиана удельной ВОО по всей группе обследованных при расчете на килограмм MT составила 23,7 ккал, а на килограмм TMT – 32,1 ккал; удельные значения ВОО не различались значительно между спортсменками 3 групп спортивного мастерства (см. табл. 2).

Фактические показатели обмена покоя, измеренные с помощью метабологафа, отличались от показателей ВОО в 1,04–1,85 раза и составили 1350–2604 ккал/сут.

Выявленные различия согласуются с данными литературы о влиянии множества внешних факторов, таких как обстановка в помещении во время измерения, возбужденное состояние нервной системы, наличие минимальной ФН перед измерением и прочее, на показатели обмена покоя [6]. Выявленный широкий диапазон различий между показателями ВОО и ОП показывает на необходимость измерения ВОО, так как его значения являются отправной точкой расчета суточных ЭТ с использованием коэффициента физической активности (КФА) различных видов деятельности и определения индивидуальных суточных ЭТ.

Суточные ЭТ варьировали в широком диапазоне, различаясь практически в 2 раза (см. табл. 2). В группе МСМК ЭТ были самыми высокими, в группе КМС – самыми низкими (хотя различия не достигали уровня статистической значимости), что связано в основном с внутренировочной деятельностью, которая различается у спортсменок, принадлежащих к различным уровням спортивного мастерства (см. табл. 2, 3).

Удельные ЭТ, рассчитанные на 1 кг MT ($p>0,05$), TMT и CMM ($p<0,05$), также различались у спортсменок, при-

Таблица 3. Структура суточных энергозатрат спортсменов, занимающихся синхронным катанием на коньках

Table 3. The structure of daily energy expenditure of athletes engaged in synchronized skating

Показатель <i>Parameter</i>		Кандидат в мастера спорта <i>Candidate for Master of Sports (n=8)</i>	Мастер спорта <i>Master of Sports (n=10)</i>	Мастер спорта меж- дународного класса <i>Master of Sports of International Class (n=4)</i>	Все обследованные <i>All examined (n=22)</i>
Энерготраты (ЭТ) тренировки по общей физической подготовке (ОФП), ккал <i>Energy expenditure (EE) of training general physical fitness, kcal</i>	<i>Me</i>	287,1	295,6	372	301,3
	[Q25; Q75]	[169; 302,6]	[249; 364,1]	[336,5; 433,6]	[259,9; 346,3]
	Min–Max	121,7–337,8	100–484,2	301–495,3	100–495,3
Коэффициент физической активности (КФА) <i>Physical activity coefficient of general physical fitness</i>	<i>Me</i>	3,1	3,4	3,9 ¹	3,4
	[Q25; Q75]	[2,8; 3,1]	[3,1; 3,9]	[3,4; 5,2]	[3,1; 4]
	Min–Max	1,3–4,1	1,4–4,2	2,9–6,5	1,3–6,5
Удельные ЭТ ОФП, ккал/кг тощей массы тела (ТМТ) <i>Specific EE of general physical fitness, kcal/kg lean body mass (LBM)</i>	<i>Me</i>	6,4	6,5	7,9	6,9
	[Q25; Q75]	[3,9; 7,5]	[5,0; 7,9]	[7,1; 9,1]	[5,3; 8,1]
	Min–Max	3,1–7,9	2,2–10,4	6,3–10,3	2,2–10,4
ЭТ тренировки на льду, ккал <i>EE of training on ice, kcal</i>	<i>Me</i>	420	478,6	467,9	458,8
	[Q25; Q75]	[300,2; 555,1]	[431,6; 491,7]	[413,6; 522,2]	[370; 536,8]
	Min–Max	212,4–760,2	380,8–575,9	359–576	212,4–760,2
КФА тренировки на льду <i>Physical activity coefficient of training on ice</i>	<i>Me</i>	3,4	4,3	5,1	4,2
	[Q25; Q75]	[2,8; 4,7]	[3,8; 4,7]	[4,4; 5,7]	[3,6; 5,0]
	Min–Max	2,6–5,2	3,0–6,1	3,7–6,4	2,6–6,4
Удельные ЭТ тренировки на льду, ккал/кг ТМТ <i>Specific EE of training on ice, kcal/kg LBM</i>	<i>Me</i>	9,3	10,2	9,8	9,7
	[Q25; Q75]	[7,5; 12,6]	[8,9; 10,9]	[8,7; 11,0]	[8,3; 11,5]
	Min–Max	4,9–20,1	7,6–12,7	7,5–12,2	4,9–20,1
ЭТ сна, ккал <i>EE of sleep, kcal</i>	<i>Me</i>	681,2	695,9	655,5	680,8
	[Q25; Q75]	[624,7; 716]	[585; 773,4]	[607,1; 872,4]	[598; 761,7]
	Min–Max	306,4–801	534,8–818,3	558,7–1089,3	306,4–1089,3
ЭТ на внутренировочную деятельность, ккал <i>EE of non-training activities, kcal</i>	<i>Me</i>	1435,7	1885,9	2105,7 ¹	1811,6
	[Q25; Q75]	[1313,9; 1666,4]	[1610; 2123]	[2102,3; 2228,8]	[1444,7; 2120,4]
	Min–Max	1132,4–2217	1282,2–2256,6	2098,9–2352	1132,4–2352
КФА внутренировочной деятельности <i>Physical activity coefficient of non-training activities</i>	<i>Me</i>	1,7	2,3	2,4 ¹	2,1
	[Q25; Q75]	[1,5; 2,2]	[1,7; 2,4]	[2,2; 2,5]	[1,8; 2,3]
	Min–Max	1,3–2,3	1,5–2,7	2,1–2,6	1,3–2,7
Удельные ЭТ внутренировочной деятельности, ккал/кг ТМТ <i>Specific EE of non-training activities, kcal/kg LBM</i>	<i>Me</i>	33,7	42,2	44,4 ¹	40,1
	[Q25; Q75]	[32,1; 38,4]	[34,5; 47,2]	[44,3; 47,3]	[36,9; 44,3]
	Min–Max	25,2–58,6	23,0–49,9	44,1–50,2	25,2–50,2

надлежащих к разным уровням спортивного мастерства (см. табл. 2), и увеличивались от группы КМС к группе МСМК, что связано как с различной интенсивностью внутренировочной деятельности (см. табл. 3), так и с различиями в компонентном составе тела (см. табл. 1).

В табл. 3 представлена структура ЭТ синхронисток с учетом основных видов деятельности в течение суток: тренировок по общей физической подготовке (ОФП) и на льду, а также внутренировочной деятельности и сна.

Время тренировок по ОФП и на льду было одинаковым и составило 1 ч 20 мин. Медиана ЭТ тренировки по ОФП, тренировки на льду и внутренировочной деятельности составила в целом по группе обследованных спортсменок 301,3; 458,8 и 1811,6 ккал. При разделении спортсменок на группы спортивного мастерства самые высокие ЭТ тренировки по ОФП и внутренировочной деятельности как в абсолютных значениях, так и удельные, рас-

считанные на 1 кг МТ, были выше в группе МСМК, самые низкие – в группе КМС. Более высокие ЭТ тренировки на льду были зарегистрированы у спортсменок группы МС и МСМК по сравнению с таковыми у КМС, однако различия не достигали уровня статистической значимости.

КФА спортсменок с учетом сна, ЭТ тренировочной и внутренировочной деятельности составил 1,3–2,65 (см. табл. 2). Самый высокий КФА за сутки был выявлен у спортсменок группы МСМК и составил 2,53 (от 2,21 до 2,59) (см. табл. 2), достоверно отличаясь от КФА спортсменок других групп спортивного мастерства, что было связано с наличием дополнительной ФН, связанной не с тренировочной деятельностью, а с рабочими и бытовыми домашними делами. Самый низкий КФА был выявлен в группе КМС (1,55), у которых внутренировочная деятельность была менее интенсивной, чем у более взрослых спортсменок.

Таблица 4. Потребность в пищевых веществах и энергии спортсменок, специализирующихся в синхронном катании на коньках, в зависимости от уровня энерготрат

Table 4. Nutritional and energy requirements of female athletes specializing in synchronized figure skating, depending on the level of energy expenditure

Коэффициент физической активности <i>Physical activity (PA) coefficient</i>	Энерготраты, ккал/сут <i>Energy expenditure, kcal/day</i>	Потребность / <i>Requirements</i>			
		условное обозначение <i>symbol</i>	белки <i>proteins</i>	жиры <i>fats</i>	углеводы <i>carbohydrates</i>
1,2	1680	%	15,5	28	56,5
		ккал / <i>kcal</i>	260	470,4	942,2
		г / <i>g</i>	65,1	52,2	237
		г/кг МТ / <i>g/kg BW</i>	1,08	0,87	3,95
1,4 1-я группа ФА <i>Group 1 of PA</i>	1960	%	15	27	58
		ккал / <i>kcal</i>	294	529,2	1136
		г / <i>g</i>	73,5	58,8	282
		г/кг МТ / <i>g/kg BW</i>	1,22	0,98	4,73
1,6 2-я группа ФА <i>Group 2 of PA</i>	2240	%	14,5	26	59,5
		ккал / <i>kcal</i>	324,8	582,4	1332
		г / <i>g</i>	81,2	64,7	333
		г/кг МТ / <i>g/kg BW</i>	1,35	1,07	5,55
1,7	2380	%	14	25	61
		ккал / <i>kcal</i>	333,2	595	1451
		г / <i>g</i>	83,3	66,1	362
		г/кг МТ / <i>g/kg BW</i>	1,38	1,1	6,05
1,9 3-я группа ФА <i>Group 3 of PA</i>	2660	%	13,5	25	61,5
		ккал / <i>kcal</i>	359,1	665	163,5
		г / <i>g</i>	89,7	73,8	408
		г/кг МТ / <i>g/kg BW</i>	1,49	1,23	6,81
2,2 4-я группа ФА <i>Group 4 of PA</i>	3080	%	13	24	63
		ккал / <i>kcal</i>	359,1	739	1940
		г / <i>g</i>	89,7	82,1	485
		г/кг МТ / <i>g/kg BW</i>	1,49	1,36	8,08
2,4	3360	%	12,5	24	63,5
		ккал / <i>kcal</i>	420	806	2133
		г / <i>g</i>	105	89,4	533
		г/кг МТ / <i>g/kg BW</i>	1,75	1,49	8,89
2,6	3640	%	12,5	23	64,5
		ккал / <i>kcal</i>	455	837	2347
		г / <i>g</i>	113,7	93	586
		г/кг МТ / <i>g/kg BW</i>	1,89	1,55	9,7
2,8	3920	%	12	23	65
		ккал / <i>kcal</i>	470,4	901	2548
		г / <i>g</i>	117,6	100,1	637
		г/кг МТ / <i>g/kg BW</i>	1,96	1,66	10,61

Расшифровка аббревиатур дана в тексте.

The abbreviations are explained in the text.

Медиана КФА тренировок по ОФП и на льду продолжительностью соответственно 1 ч 20 мин и 1 ч 40 мин составила 3,4 и 4,2 по группе у всех обследованных спортсменок. Значения КФА обоих видов тренировок отличались при разделении спортсменок на группы спортивного мастерства: самые высокие значения КФА были зарегистрированы у спортсменок группы МСМК, самые низкие – у спортсменок группы КМС (см. табл. 3).

КФА вне тренировочной деятельности были выше в группе МС и МСМК и ниже в группе КМС по сравнению с КФА целого дня, так как спортсменки группы КМС имеют большую физическую активность в основном за

счет тренировок, тогда как спортсменки высших разрядов тратят значительное количество энергии и за счет вне тренировочной деятельности.

Потребность в энергии и макронутриентах

На основании полученных данных о компонентном составе тела, суточных ЭТ и их структуре можно оценить потребность в энергии и пищевых веществах для спортсменок, специализирующихся в синхронном катании на коньках, как по группе в целом, так и в зависимости от уровня спортивного мастерства.

При расчете были использованы рекомендации по оптимальному соотношению долей макронутриентов

в калорийности рациона женщин согласно Методическим рекомендациям МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» (далее – МР 2.3.1.0253-21) [12], рекомендации по нормам физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах (макронутриентах) в абсолютных количествах по МР 2.3.1.0253-21, а также рекомендации по соотношению долей макронутриентов в рационе для спортсменок сложнокоординационных видов спорта анаэробной направленности [13].

В соответствии с рекомендациями по оптимальному соотношению долей макронутриентов и калорийности рациона потребность в белке в возрастной группе женщин 18–29 лет уменьшается с повышением КФА и составляет 14% для 1-й, 13% – для 2-й, 12,5% – для 3-й и 12% – для 4-й группы ФА, которым соответствуют КФА 1,4, 1,6, 1,9 и 2,2. При этом потребность в углеводах увеличивается с повышением КФА и составляет 56, 57, 57,5 и 58% для 1–4-й групп ФА, а потребность в жирах для всех групп ФА составляет 30% от калорийности рациона.

В соответствии с рекомендациями по нормам физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах (макронутриентах) в абсолютных количествах для женщин 18–29 лет с повышением КФА потребность в белке увеличивается и составляет 67, 72, 81 и 90 г для 1–4-й групп ФА (для женщины с МТ 60,8 кг в пересчете на 1 кг МТ это соответствует 1,10; 1,18; 1,33 и 1,48 г/кг МТ); потребность в жирах увеличивается и составляет 63, 73, 87 и 100 г для 1–4-й групп ФА (для женщины 60,8 кг в пересчете на 1 кг МТ – это 1,00; 1,18; 1,43 и 1,64 г/кг МТ); потребность в углеводах увеличивается и составляет 266, 314, 374 и 435 г для 1–4-й групп ФА (для женщины 60,8 кг в пересчете на 1 кг МТ – это 4,37; 5,16; 6,15 и 7,15 г/кг МТ). При этом соотношение белков, жиров и углеводов (Б : Ж : У) в рационе изменяется с повышением КФА и составляет 1:1:4 при КФА 1,4, 1:1:4,3 при КФА 1,6, 0,9:1:4,3 при КФА 1,9 и 0,9:1:4,35 при КФА 2,2.

Однако при расчете потребностей в энергии и пищевых веществах для спортсменок, специализирующихся в синхронном катании на коньках, следует ориентироваться на соотношение Б : Ж : У в рационе, рекомендованное для спортсменов сложнокоординационных видов спорта анаэробной направленности, которое соответствует в среднем соотношению 1:0,7:4 (15%:24%:61%), но варьирует в узких пределах при различном КФА и уровне ФН, что обусловлено необходимостью соблюдения минимальных и максимальных величин потребления макронутриентов (белков и жиров) на 1 кг МТ, а также увеличением доли углеводов в рационе при сверхвысоких физических нагрузках (КФА выше 2,2) [13].

В табл. 4 представлен расчет потребностей в пищевых веществах и энергии в соответствии с уровнем ЭТ, КФА

и минимальными и максимальными величинами потребления макронутриентов на 1 г МТ. За ВОО взято значение 1400 ккал/сут; расчет удельного потребления проведен на МТ = 60 кг.

С учетом фактических значений КФА спортсменок, специализирующихся в синхронном фигурном катании, полученных при оценке ЭТ тренировочного дня с 2 тренировками, спортсменкам группы КМС рекомендуется придерживаться калорийности и Б : Ж : У, рассчитанных для КФА 1,2–2,2, спортсменкам группы МС – для КФА 1,4–2,4 и спортсменкам группы МСМК – для КФА 1,9–2,6. При этом следует ориентироваться на свои индивидуальные показатели ЭТ, измеренные аппаратными методами (метод биоимпедансометрии или непрямой калориметрии для оценки ВОО, метод пульсометрии – для оценки суточных ЭТ в дни с различной ФА).

Также для коррекции МТ следует пользоваться следующими рекомендациями:

- спортсменкам с хорошо развитой мышечной и с избыточной ЖМТ рекомендовано снизить калорийность рациона на 10% при сохранении рекомендуемого количества и соотношения белков, жиров и углеводов (Б : Ж : У);
- спортсменкам с нормальным количеством жировой и пониженным количеством мышечной массы, а также с повышенным количеством жировой и пониженным количеством мышечной массы (скрытое ожирение, fat skinny) следует придерживаться рекомендованной калорийности рациона при изменении соотношения Б : Ж : У в сторону незначительного увеличения количества белка за счет незначительного уменьшения количества углеводов.

Обсуждение

Одним из противоречий рекомендаций по питанию спортсменов является несоответствие рекомендуемого долевого вклада белков, жиров и углеводов в общую калорийность рациона и рекомендуемого потребления белков, жиров и углеводов на 1 кг МТ при сверхвысоких ЭТ спортсменов.

В нормативной документации 2008 г., пересмотренной в 2021 г. [12], при разделении лиц по группам ФА спортсмены высокой квалификации в тренировочный период были отнесены к IV (высокая ФА; женщины; КФА 2,2) и V (очень высокая ФА; мужчины; КФА 2,5) группам ФА. В пересмотренном документе отсутствуют V группа ФА, а также спортсмены, в том числе высоких квалификаций, так как их ЭТ варьируют в широких пределах, зависят от возраста, вида спорта, тренировочного периода и игрового амплуа, и КФА в различные периоды может составлять от 1,4 до 3,0 и выше¹ [14].

¹ Приказ Минспорта России от 24.10.2012 № 325 «О методических рекомендациях по организации спортивной подготовки в Российской Федерации» (<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70147632/>).

Так, при обследовании юношей и девушек, занимающихся 14 видами спорта различной направленности и интенсивности [14], было показано, что суточные ЭТ различались в течение недели. В дни, свободные от тренировок, средние показатели суточных ЭТ юношей превышали основной обмен в 1,45–1,5 раза, девушек – в 1,38–1,43 раза (КФА юношей – 1,5; КФА девушек – 1,4). В дни с минимальной продолжительностью тренировок (1,5 ч) средние показатели суточных ЭТ юношей увеличивались с возрастом и составляли около 2500–2700 ккал в 12–13 лет, 2800–3000 ккал – в 14–15 лет, 3100 ккал – в 16–17 лет и превышали основной обмен в 1,68–1,76 раза (КФА юношей – 1,68–1,76); в группе девушек суточные ЭТ также увеличивались с возрастом и составляли около 2100–2200 ккал в 12–13 лет, 2300 ккал – в 14–17 лет и превышали основной обмен в 1,59–1,65 раза (КФА девушек – 1,59–1,65). В дни с максимальной продолжительностью тренировок (4,5 ч) средние показатели суточных ЭТ юношей увеличивались с возрастом и составляли около 3300–3500 ккал в 12–13 лет, 3600–3800 ккал – в 14–15 лет, 3900–4000 ккал – в 16–17 лет и превышали основной обмен в 2,15–2,32 раза (КФА юношей – 2,15–2,32); в группе девушек суточные ЭТ также увеличивались с возрастом и составляли около 2700–2800 ккал в 12–13 лет, 2900 ккал – в 14–17 лет и превышали основной обмен в 2,03–2,11 раза (КФА девушек – 2,03–2,11).

Согласно приказу Минспорта России от 24.10.2012 № 325 «О методических рекомендациях по организации спортивной подготовки в Российской Федерации», организация питания спортсменов осуществляется в соответствии с рационами питания, разрабатываемыми и устанавливаемыми непосредственно учреждениями в зависимости от индивидуальной потребности спортсмена в энергии и основных компонентах пищи, а также от интенсивности, продолжительности и цикла тренировочной и соревновательной нагрузки. При этом при составлении рационов питания спортсменов по видам спорта рекомендуется использовать деление видов спорта в зависимости от длительности и интенсивности физических нагрузок и ориентироваться на средние ЭТ для 3 спортивных групп. Для видов спорта, связанных с кратковременными, но значительными физическими нагрузками ЭТ составляют 3750 ккал/сут. Для видов спорта, характеризующихся большим объемом и интенсивностью физической нагрузки, ЭТ составляют 4750 ккал/сут. Для видов спорта, связанных с длительными и напряженными физическими нагрузками, ЭТ составляют 5500 ккал/сут. КФА спортсменов в дни с высокой интенсивностью ФН может достигать 3,0 и более.

Сведения об авторах

Выборная Ксения Валерьевна (Kseniya V. Vybornaya) – научный сотрудник лаборатории антропонутициологии и спортивного питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)
E-mail: dombim@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4010-6315>

Но данные рекомендации не учитывают выходные дни без тренировок, а также дни с низкоинтенсивными тренировками.

При этом в соответствии с МР 2.3.1.0253-21 потребность в белке у женщин группы 18–29 лет должна уменьшаться от 14 до 12%, в углеводах – увеличиваться от 56 до 58% с повышением КФА от 1,4 до 2,2, а потребность в жирах для всех групп ФА должна оставаться одинаковой на уровне 30% от калорийности рациона. В соответствии с рекомендациями по нормам физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах (макронутриентах) в абсолютных количествах для женщин 18–29 лет с повышением КФА потребность в белке должна увеличиваться и составлять в пересчете на 1 кг МТ от 1,1 до 1,48 г; потребность в жирах – увеличиваться и составлять в пересчете на 1 кг МТ от 1,0 до 1,64 г; потребность в углеводах – увеличиваться и составлять в пересчете на 1 кг МТ от 4,37 до 7,15 г).

Проведенный нами расчет потребности в пищевых веществах и энергии спортсменов, специализирующихся в синхронном катании на коньках (см. табл. 4), соответствует требованиям МР 2.3.1.0253-21 и при КФА 2,4, 2,6 и 2,8 производился из принципа не превышать потребности в макронутриентах на 1 кг МТ (в белках – не более 1,96 г; в жирах – не более 1,66 г; в углеводах – по остаточному принципу).

Заключение

Выявлены изменения морфологических показателей, происходящие при переходе спортсменов из одной группы спортивного мастерства в другую, более высокую. Показано, что с ростом спортивного мастерства спортсменки становятся более рослыми и массивными, у них увеличиваются показатели метаболически активных тканей (ТМТ и СММ) при сохранении уровня ЖМТ. Различия в компонентном составе тела, а также различия в ЭТ внетренировочной деятельности спортсменов, выражающиеся более высокими ЭТ у спортсменов группы МСМК, отразились на результатах оценки суточных ЭТ и на результатах расчета удельных ЭТ. Было выявлено увеличение суточных и удельных ЭТ с повышением уровня спортивного мастерства от группы КМС к группе МСМК.

При расчете потребности в белках, жирах и углеводах и их долевом вкладе в калорийность рациона для спортсменов, чьи потребности превышают регламентируемые нормы при КФА более 2,2 (по МР 2.3.1.0253-21), следует изменять процентное соотношение макронутриентов в зависимости от потребности в граммах на 1 кг МТ.

Раджабканиев Раджабканиев Магомедович (Radzhabkadi M. Radzhabkadiyev) – научный сотрудник лаборатории антропологии и спортивного питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)
E-mail: 89886999800@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3634-8354>

Шурова Злата Михайловна (Zlata M. Shurova) – младший научный сотрудник лаборатории антропологии и спортивного питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: zlata.shurova@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0000-7270-198X>

Селедкова Юлия Андреевна (Yulia A. Seledkova) – младший научный сотрудник лаборатории антропологии и спортивного питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: yuliaseledkova0304@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0349-1688>

Мангушев Тагир Абдуллоевич (Tagir A. Mangushev) – врач спортивной медицины ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: Mangushev@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1970-7754>

Никитюк Дмитрий Борисович (Dmitry B. Nikityuk) – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», профессор кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), профессор кафедры экологии и безопасности пищи Института экологии ФГАОУ ВО РУДН им. П. Лумумбы (Москва, Российская Федерация)

E-mail: dimitrynik@mail.ru

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

Литература

- Абрамова Т.Ф., Никитина Т.М., Кочеткова Н.И. Морфологические критерии – показатели пригодности, общей физической подготовленности и контроля текущей и долговременной адаптации к тренировочным нагрузкам : учебно-методическое пособие. Москва : ТВТ Дивизион, 2010. 104 с. ISBN: 978-5-98724-082-3.
- Ziegler P.J., Kannan S., Jonnalagadda S.S., Krishnakumar A., Tak-sali S.E., Nelson J.A. Dietary intake, body image perceptions, and weight concerns of female us international synchronized figure skating teams // Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab. 2005. Vol. 15, N 5. P. 550–566. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsnem.15.5.550>
- Bower M.E., Kraemer W.J., Potteiger J.A., Volek J.S., Hatfield D.A., Vingren J.L. et al. Relationship between off-ice testing variables and on-ice speed in women's collegiate synchronized figure skaters: implications for training // J. Strength Cond. Res. 2010. Vol. 24, N 3. P. 831–839. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a59a5c>
- Раджабканиев Р.М., Выборная К.В., Соколов А.И., Никитюк Д.Б. Сравнительная оценка величины основного обмена спортсменов с различным уровнем физической активности на основе прогностических уравнений // Вопросы питания. 2024. Т. 93, № 5. С. 35–42. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-5-35-42>
- Большев А.С., Сидоров Д.Г., Овчинников С.А., Волкова И.В., Шукин В.М. Питание и физическая нагрузка. Методы расчета общего и физического метаболизма : учебно-методическое пособие. Нижний Новгород : ННГАСУ, 2021. 28 с. URL: <https://bibl.nngasu.ru/electronicresources/uch-metod/sports/874662.pdf>
- Раджабканиев Р.М., Выборная К.В., Соколов А.И., Крикун Е.Н., Никитюк Д.Б. Суточные энергозатраты спортсменов-баскетболистов в зависимости от игрового амплуа // Наука и спорт: современные тенденции. 2023. Т. 11, № 5. С. 25–32. DOI: <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2023-11-5-25-32>
- Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Бурляева Е.А., Выборная К.В., Лавриненко С.В. Использование метода комплексной антропометрии в спортивной и клинической практике : методические рекомендации. Москва : Спорт, 2018. 64 с. ISBN: 978-5-9500179-9-5.
- Мартыросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г. Технологии и методы определения состава тела человека. Москва : Наука, 2006. 248 с. ISBN: 5-02-035624-7.
- Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. Москва : Наука, 2009. 392 с. ISBN: 978-5-02-036696-1.
- Пат. 2699953 Российская Федерация, МПК А61В 5/02 (2006.01). Способ определения персонализированных суточных энергозатрат путем пульсометрии / Соколов А.И., Лавриненко С.В., Раджабканиев Р.М., Выборная К.В., Кобелькова И.В., Семенов М.М. и др.; заявитель и патентообладатель: г. Москва. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи». № 2019121540; заявл. 10.07.19; опубл. 11.09.19.
- Николаев Д.В., Щелыкалина С.П. Лекции по биоимпедансному анализу состава тела человека : учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Тверь : Луна-принт, 2022. 156 с. ISBN: 978-5-906159-06-9. URL: https://medass.su/wp-content/uploads/2022/02/Лекции_блок_изд-2022.pdf
- 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>
- Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Батуринов А.К., Баева В.С., Бурляева Е.А., Бекетова Н.А. и др. Технология профилактики нарушений обмена веществ и разработка рационов питания спортсменов различных групп спорта : методическое пособие. Москва : Минута Принт Медиа, 2020. 125 с. ISBN: 978-5-6042132-9-2.
- Пластунова О.Б., Няньковский С.Л. Расчетные оценки суточных энергозатрат как основа для обоснования норм питания юных спортсменов // Здоровье ребенка. 2018. Т. 13, № 6. С. 545–552. DOI: <https://doi.org/10.22141/2224-0551.13.6.2018.143156>

References

- Abramova T.F., Nikitina T.M., Kochetkova N.I. Morphological criteria - indicators of fitness, general physical fitness and control of current and long-term adaptation to training loads: educational and methodical manual. Moscow: TVT Division. 2010: 104 p. ISBN: 978-5-98724-082-3. (in Russian)
- Ziegler P.J., Kannan S., Jonnalagadda S.S., Krishnakumar A., Tak-sali S.E., Nelson J.A. Dietary intake, body image perceptions, and weight concerns of female us international synchronized figure skating teams. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2005; 15 (5): 550–6. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsnem.15.5.550>

3. Bower M.E., Kraemer W.J., Potteiger J.A., Volek J.S., Hatfield D.A., Vingren J.L., et al. Relationship between off-ice testing variables and on-ice speed in women's collegiate synchronized figure skaters: implications for training. *J Strength Cond Res.* 2010; 24 (3): 831–9. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a59a5c>
4. Radzhabkadiy R.M., Vybornaya K.V., Sokolov A.I., Nikityuk D.B. Comparative assessment of the basal metabolic rate in athletes with different level of physical activity based on prediction equations. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2024; 93 (5): 35–42. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-5-35-42> (in Russian)
5. Bol'shev A.S., Sidorov D.G., Ovchinnikov S.A., Volkova I.V., Shchukin V.M. Nutrition and physical activity. Methods for calculating general and physical metabolism: educational and methodical manual. Nizhny Novgorod: NNGASU; 2021: 28 p. <https://bibl.nngasu.ru/electronicresources/uch-metod/sports/874662.pdf> (in Russian)
6. Radzhabkadiy R.M., Vybornaya K.V., Sokolov A.I., Krikun E.N., Nikityuk D.B. Daily energy consumption of basketball athletes depending on the game role. *Nauka i sport: sovremennye tendentsii [Science and Sport: Current Trends]*. 2023; 11 (S): 25–32. DOI: <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2023-11-S-25-32> (in Russian)
7. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B., Burlyaeva E.A., Vybornaya K.V., Lavrinenko S.V. The method of complex anthropometry in sports and clinical practice: methodological recommendations. Moscow: Sport. 2018: 64 p. ISBN: 978-5-9500179-9-5. (in Russian)
8. Martirosov E.G., Nikolaev D.V., Rudnev S.G. Technologies and methods for determining human body composition. Moscow: Nauka. 2006: 248 p. ISBN: 5-02-035624-7 (in Russian)
9. Nikolaev D.V., Smirnov A.V., Bobrinskaya I.G., Rudnev S.G. Bioelectric impedance analysis of human body composition. Moscow: Nauka. 2009: 392 p. ISBN: 978-5-02-036696-1. (in Russian)
10. Method for determination of the personalized daily energy consumption by means of pulse measurement: pat. 2699953 Rus. Federation, No. 2019121540; decl. 10.07.19; publ. 11.09.19. (in Russian)
11. Nikolaev D.V., Shchelykalina S.P. Lectures on bioimpedance analysis of human body composition: textbook. 2nd ed., revised and additional. Tver': Luna-print, 2022: 156 p. ISBN: 978-5-906159-06-9. URL: https://medass.su/wp-content/uploads/2022/02/Lektsii_blok_izd-2022.pdf (in Russian)
12. Popova A.Yu., Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. On the new (2021) Norms of physiological requirements for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2021; 90 (4): 6–19. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19> (in Russian)
13. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B., Baturin A.K., Baeva V.S., Burlyaeva E.A., Beketova N.A., et al. Technology for the prevention of metabolic disorders and the development of diets for athletes of various sports groups: methodological manual. Moscow: Minuta Print Media, 2020: 125 p. ISBN: 978-5-6042132-9-2. (in Russian)
14. Plastunova O.B., Nyan'kovsky S.L. Estimated assessment of daily energy expenditure as a basis for substantiating nutritional norms for young athletes. *Zdorov'e rebenka [Child Health]*. 2018; 13 (6): 545552. DOI: <https://doi.org/10.22141/2224-0551.13.6.2018.143156> (in Russian)

Для корреспонденции

Туласи Раман Д.Р. – старший ординатор кафедры спортивной медицины госпиталя и научно-исследовательского института Академии исследований и образования Четтинад
Адрес: 603103, Индия, Тамил Наду, г. Келамбаккам
E-mail: Deepakram707@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6171-1127>

Corresponding author

Deepak Ram Thulasi Raman – Senior Resident of the Department of Sports Medicine at the Chettinad Hospital and Research Institute, Chettinad Academy of Research and Education
Address: Kelambakkam-603103, Tamil Nadu, India
E-mail: Deepakram707@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6171-1127>

Туласи Раман Д.Р., Чандрасекара Пандиян Р., Шанмугам А., Нараянан Х., Сабапати Ш.П., Санил Ушакумари С., Шридхар М.К., Раджеш Кумар В.К., Джозеф Э., Мутхьяпвар В.

Риск относительной недостаточности энергии в спорте из-за низкой доступности энергии: масштаб проблемы среди подростков, занимающихся командными видами спорта

Risk of relative energy deficiency in sport due to low energy availability: A nutritional concern among adolescent team sport athletes

Thulasi Raman D.R.,
Chandrasekara Pandiyan R.,
Shanmugam A., Narayanan H.,
Sabapathy S.P., Sanil Ushakumari S.,
Sridhar M.K., Rajesh Kumar V.K.,
Joseph E., Muthyapwar V.

Академия исследований и образования Четтинад, 603103, г. Келамбаккам, Тамил Наду, Индия

Chettinad Academy of Research and Education, Kelambakkam-603103, Tamil Nadu, India

Подростковый возраст – это критический период для роста, развития костной ткани и гормональной регуляции, который в значительной степени зависит от пищевого статуса и энергетического баланса. В соревновательных видах спорта юные спортсмены сталкиваются с растущим давлением, связанным с необходимостью достижения результатов, часто в условиях ограничений в питании или высоких тренировочных нагрузок, что может негативно сказаться на их здоровье. Низкая доступность энергии (LEA), являющаяся предшественником относительного энергетического дефицита в спорте (REDs), остается скрытой, но серьезной угрозой для этой группы. Несмотря на глобальную значимость данной проблемы, исследования по LEA и REDs среди юниоров, особенно в развивающихся странах, таких как Индия, крайне ограничены. Настоящее исследование восполняет этот пробел, изучая данные состояния у подростков, занимающихся командными видами спорта.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования для данного исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Туласи Раман Д.Р.; набор участников, сбор и обработка данных – Сабапати Ш.П., Санил Ушакумари С., Шридхар М.К., Кумар В.К., Джозеф Э., Мутхьяпвар В.; анализ данных, написание рукописи – Туласи Раман Д.Р.; критическая доработка рукописи – Чандрасекара Пандиян Р., Шанмугам А., Нараянан Х.; утверждение окончательной версии статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Туласи Раман Д.Р., Чандрасекара Пандиян Р., Шанмугам А., Нараянан Х., Сабапати Ш.П., Санил Ушакумари С., Шридхар М.К., Раджеш Кумар В.К., Джозеф Э., Мутхьяпвар В. Риск относительной недостаточности энергии в спорте из-за низкой доступности энергии: масштаб проблемы среди подростков, занимающихся командными видами спорта // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 4. С. 109–118. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-109-118> (англ.)

Статья поступила в редакцию 20.04.2025. **Принята в печать** 15.07.2025.

Funding. The authors declare that no external funding was received for this research.

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

Contribution. Conceptualization, study design – Thulasi Raman D.R.; participant recruitment, data collection – Sabapathy S.P., Sanil Ushakumari S., Sridhar M.K., Rajesh Kumar V.K., Joseph E., Muthyapwar V.; data analysis, manuscript drafting – Thulasi Raman D.R.; critical revision of the manuscript – Chandrasekara Pandiyan R., Shanmugam A., Narayanan H.; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Thulasi Raman D.R., Chandrasekara Pandiyan R., Shanmugam A., Narayanan H., Sabapathy S.P., Sanil Ushakumari S., Sridhar M.K., Rajesh Kumar V.K., Joseph E., Muthyapwar V. Risk of relative energy deficiency in sport due to low energy availability: A nutritional concern among adolescent team sport athletes. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (4): 109–118. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-4-109-118>

Received 20.04.2025. **Accepted** 15.07.2025.

Цель исследования – оценка распространенности LEA и REDs среди девочек-подростков, занимающихся командными видами спорта.

Материал и методы. Проведено поперечное (кросс-секционное) исследование, включавшее 203 спортсменок в возрасте от 12 до 17 лет (средний возраст $14,9 \pm 1,6$ года), в период подготовки к Молодежным играм KHELO India. Критерии включения: ≥ 5 лет тренировочного стажа (в среднем $5,91 \pm 0,87$ года), ≥ 10 ч физической активности в неделю (в среднем $15,14 \pm 4,31$ ч) и постменархеальный период. В качестве инструментов оценки использовали опросник по низкой доступности энергии у женщин (LEAF-Q), комплексную оценку риска (CRA), расчет доступности энергии (EA) и двухэнергетическую рентгеновскую абсорбциометрию (DEXA). EA рассчитывали на основе потребления пищи и энергозатрат при физической нагрузке. Минеральную плотность костной ткани (BMD) и тощую массу тела (FFM) оценивали с помощью DEXA с использованием Z-скара.

Результаты. Согласно опроснику LEAF-Q, 79,3% спортсменок находились в группе риска по LEA, при этом среди баскетболисток доля лиц с глубоким риском была наибольшей – 8,2% против 0–6,9% среди представительниц других видов спорта (волейбол, хоккей, футбол, кабадди, кхо-кхо) ($p=0,050$). CRA показала, что 35,0% участниц были ограничены в занятиях спортом, в то время как 37,4% получили полное разрешение на участие ($p=0,718$). Средняя доступность энергии составила $23,46 \pm 7,23$ ккал/кг FFM, что отражает выраженный дефицит энергии. Низкий уровень BMD (Z-скор $< -2,0$) был выявлен у 34,5% спортсменок ($p=0,926$).

Заключение. Исследование выявило высокую распространенность LEA и риска REDs у девочек-подростков, занимающихся командными видами спорта. Полученные данные подчеркивают необходимость переосмысления подхода тренеров, диетологов, родителей и спортивных организаций к благополучию юных спортсменок. Приоритет должен отдаваться здоровью, гармоничному развитию и долгосрочной результативности, а не краткосрочным достижениям. Данное исследование акцентирует внимание на важности соблюдения энергетического баланса и образовательных мер как основы устойчивого спортивного успеха.

Ключевые слова: низкая доступность энергии; относительный дефицит энергии в спорте; юные спортсменки; минеральная плотность костной ткани; питание; командные виды спорта

Adolescence is a critical period for growth, bone development, and hormonal regulation which are profoundly influenced by nutritional status and energy balance. In the context of competitive sports, young female athletes face increasing pressure to perform, often under dietary restrictions or high training loads that compromise their health. Low Energy Availability (LEA), a precursor to Relative Energy Deficiency in Sport (REDs), remains a silent but significant threat in this population. Despite its global relevance, research on LEA and REDs in adolescent athletes, particularly in developing nations like India, is scarce. This study addresses a vital gap by exploring these conditions in adolescent team sports athletes.

This study **aimed** to assess the prevalence of LEA and the risk of REDs among female adolescent athletes participating in team sports.

Material and methods. A cross-sectional study was conducted among 203 female athletes aged 12–17 years (mean age 14.9 ± 1.6 years) training for the KHELO India Youth Games. Inclusion criteria included ≥ 5 years of training (mean 5.91 ± 0.87 years), ≥ 10 hours of physical activity per week (mean 15.14 ± 4.31 h), and post-menarcheal status. Screening tools used were the low energy availability in females questionnaire (LEAF-Q), cumulative risk assessment (CRA), calculated energy availability (EA), and dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA). EA was determined from dietary intake and exercise energy expenditure. Bone mineral density (BMD) and fat-free mass (FFM) were assessed via DEXA using Z-scores.

Results. LEAF-Q identified 79.3% of athletes at risk for LEA, with basketball players showing the highest proportion of severe risk – 8.2% versus 0–6.9% among representatives of other sports (volleyball, hockey, football, kabaddi, kho-kho) ($p=0.050$). CRA indicated that 35.0% of athletes were restricted from sport, while 37.4% received full clearance ($p=0.718$). Mean EA was 23.46 ± 7.23 kcal/kg FFM, reflecting a significant energy deficit. Low BMD (Z-score < -2.0) was found in 34.5% of athletes ($p=0.926$).

Conclusion. This study revealed that adolescent female team sports players had a high prevalence of LEA and REDs risk. Importantly, the findings suggest a new direction regarding the way coaches, nutritionists, parents, and governing bodies approach adolescent athlete welfare, prioritizing health, growth, and long-term performance over short-term success. This study serves as an important indication to prioritize energy balance and athlete education as the foundations of long-term sports performance.

Keywords: low energy availability; relative energy deficiency in sport; adolescent athletes; bone mineral density; nutrition; team sports

The participation of women in sports is progressively increasing in India. Women have seen a substantial rise in their participation in sports, from school-level competitions to Olympic competitions. Globally, physical activity rates of women are disproportionately lower than those of men, a phenomenon amplified among countries with overall lower amounts of activity [1]. In India, only 38% of young adolescents and 17% of children get the recommended 60-minutes/day of moderate-to-vigorous intensity physical activity [2]. This is also important in developing countries like India, where female involvement in sports is insignificant to the participation of males. Many factors (economic, educational background, cultural impact, and domestic roles) influence women's sports participation [3]. Various sports organizations and academies persistently aim to promote sports, especially those that engage female participants. Girls experienced social censure for physical activity participation and felt that the stereotypical gender roles that they were expected to adopt in Indian society were at odds with them being active [4]. Adolescence is an important developmental period of transition from childhood to adulthood, and empowering adolescents through social programs can be an important means of fostering opportunities for growth and positive engagement and preventing delinquency and harmful health behaviors [5]. Illnesses and injuries tend to increase with the raising of athletic competition levels. The increasing participation of females in sports has corresponded with a notable rise in injury incidence, particularly among youth athletes [6]. Sports-related injuries are an on-going public health concern in several countries, with approximately 30% of injuries among children and adolescents stemming from sports-related incidents and regular sports participation [7]. Strength deficits, musculoskeletal problems, and time loss in sports all impair an athlete's performance capability. The significance of low energy availability (LEA) and relative energy deficiency in sport (REDs) received considerable attention during the past decade. The updated 2023 definition of REDs according to The IOC consensus statement states that REDs is a "syndrome of impaired physiological and/or psychological functioning experienced by female and male athletes that is caused by exposure to problematic (prolonged and/or severe) LEA. The detrimental outcomes include but are not limited to, decreases in energy metabolism, reproductive function, musculoskeletal health, immunity, glycogen synthesis, and cardiovascular and haematological health, which can all individually and synergistically lead to impaired well-being, increased injury risk, and decreased sports performance" [8]. A multitude of female athletes participate in daily tournament preparation, leading to a greater energy expenditure than their calorie intake.

Consequently, they experience an overall reduction in energy availability. LEA is any mismatch between dietary energy intake and energy expended in exercise that leaves the body's total energy needs unmet, that is, there is inadequate energy to support the functions required by the body to maintain optimal health and performance [8].

This study examines the prevalence of LEA and REDs among Indian adolescent athletes. Adolescence in girls has been recognized as a special period which signifies the transition from girlhood to womanhood. This transitional period

is marked with the onset of menarche, an important milestone. Menstruation is a natural physiological milestone in adolescent development, often accompanied by a spectrum of symptoms including pain, mood fluctuations, and fatigue, which can significantly impact daily functioning and quality of life [9]. In India, the average age at menarche has been reported to be around 13.5 years, with regional variations observed across the country [10]. There are many tools to identify females at risk for REDs. In this study, the low energy availability in females questionnaire (LEAF-Q), cumulative risk assessment (CRA) and energy availability were applied. As both these questionnaires rely on menstrual status of the athlete. We included only athletes who attained menarche and premenarcheal females were excluded in this study. The 25-item LEAF-Q questionnaire identifies athletes at risk for LEA by utilizing subsets of gastrointestinal symptoms, injury frequency, and menstrual dysfunction. The LEAF-Q score ≥ 8 indicates that an individual is at risk for LEA and female athlete triad [11]. The LEAF-Q has 78% sensitivity and 90% specificity [12]. The CRA is an assessment tool initiated by the Female Athlete Triad Coalition that examines the following components: LEA with or without Eating Disorder, low body mass index (BMI), delayed menarche, oligomenorrhea and/or amenorrhea, low BMD, and stress reaction/fracture [13]. Final scores were associated with recommendations on return to play (RTP) or performance and were identified as either "fully cleared (0–1 point)", "provisionally cleared (2–5 points)", or "restricted from play" (≥ 6 points). Energy availability (EA) is defined as:

$$EA = \text{Energy intake (EI) (kcal)} - \text{Exercise energy expenditure (EEE) (kcal)} / \text{Fat-free mass (FFM) (kg)},$$

where EEE is calculated as the additional energy expended above that of daily living during the exercise bout, and the overall result is expressed relative to FF, reflecting the body's most metabolically active tissues [14]. This study has multiple methods to assess the severity of risk score assessment of both LEA and REDs like LEAF-Q, Cumulative risk assessment, and energy availability.

Energy deficits are often observed in athletes, especially in female athletes, due to the high expenditure of sport and strict diets. LEA can cause serious health problems and affect sport performance [15]. This study focuses on female adolescent athletes under 17, training for the KHELO India Youth Games in team sports like football, basketball, kho-kho, hockey, kabaddi, and volleyball. The primary objective was to assess the prevalence of LEA and the risk of REDs among female adolescent athletes participating in team sports, with athletes at risk showing symptoms such as menstrual dysfunction, low bone mass, fatigue, injuries, and poor performance.

Material and methods

Ethical approval

All methods and procedures were reviewed and approved by the Institutional Human Ethics Committee of Chettinad Hospital and Research Institute (IHEC-II/0771/24) prior to

any data collection at the respective site. All components of the research process at the research locations adhered to the ethical standards as laid down in the 1964 Declaration of Helsinki and its later amendments or comparable ethical standards. Informed consent was obtained from each subject prior to their participation in the study.

Study design and participants

This study is a retrospective cross-sectional study. Initial recruitment was done among female participants training for KHELO India youth games (KIYG). It is the annual national-level multidisciplinary grassroots game in India. It encompasses the U-17 adolescent athlete category and U-21 category. In this study, 203 female participants of age between 12-17 years training for KHELO India youth games were recruited. The first round of recruiting was conducted through schools that prioritize athletics and place a high value on participation in sports. At first, we identified a total of twenty schools that prioritize sports participation and prepare athletes for national competitions. Data was gathered from five schools that specialize in female sports that we were able to locate. Each school had a medical allied collaboration team of sports nutritionists and team coaches.

Inclusion criteria: Athletes with at least five years of training experience in sports including basketball, football, kabaddi, volleyball, hockey, and Kho-Kho have been recruited for this study. For this study, athletes who trained for at least 10 hours a week were included. Exclusion criteria: Female athletes who has not attained menarche were excluded from this study. Athletes with a recent past surgical history within 6 months and Athletes with metabolic and neurological disorders were excluded from the study.

Measurement of energy availability

Data collection was conducted between June and September 2024 under the supervision of certified sports nutritionists. Energy intake (EI) and exercise energy expenditure (EEE) were recorded for each female athlete to calculate energy availability (EA). Athletes maintained a comprehensive daily food log for a continuous period of 30 days, documenting all meals, snacks, beverages, portion sizes (in grams), preparation methods, and meal timings. Prior to data collection, participants received structured training from nutritionists to ensure accuracy and were monitored weekly for compliance. Nutritional analysis was performed using HealthifyMe and MyFitnessPal applications, both tailored for Indian dietary patterns, and cross-referenced with the Indian Food Composition Tables (IFCT). Total daily caloric intake (kcal/day) was determined, along with a complete macronutrient profile – quantifying daily intake (in grams) and energy contribution (%) from carbohydrates, proteins, and fats. Carbohydrate consumption was sub-categorized into simple and complex forms; proteins were classified by source (plant-based vs. animal-based); and fats were analyzed as saturated, unsaturated, or trans-fats to assess overall dietary quality.

Micronutrient intake focused on critical nutrients for adolescent female athletes, particularly calcium and vitamin D.

Daily intakes (mg/day for calcium and IU/day for vitamin D) were computed from food logs and nutritional labels, and compared to the Indian Council of Medical Research (ICMR) recommended dietary allowances. These micronutrient data were critically reviewed in relation to individual bone health status, allowing preliminary interpretation of whether observed intakes aligned with bone mineral demands during adolescence.

EEE was estimated using sport-specific MET values (Football: 9 METs, Basketball: 8 METs, Hockey: 8 METs, Volleyball: 7 METs, Kabaddi: 7 METs, Kho-Kho: 8 METs). EA values were categorized as either optimal (≥ 45 kcal/kg FFM/day) or clinically low (<30 kcal/kg FFM/day), providing a physiological context for assessing risk of LEA among athletes.

Screening tools

This study used the LEAF-Q and CRA questionnaires to assess female adolescent athletes. The players were evaluated at the department of sports medicine on slot basis. The LEAF-Q evaluated injury history, gastrointestinal issues, and menstrual health, with scores ≥ 8 indicating LEA, categorized as mild (8–12), moderate (13–24), and severe (25–33). Data was collected and compiled in Excel.

Body composition and bone mineral density

The bone mineral density and the fat-free mass of the athletes was scored using the dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA) scan. DEXA scans were taken on a slot basis, during the visit to the sports medicine department, in collaboration with the radiology department. Z-scores were calculated in accordance with International Society for Clinical Densitometry (ISCD). According to International Society for Clinical Densitometry 2007 Adult and Pediatric Official Positions, Z-scores, not T-scores, are preferred. This is particularly important in children. A Z-score of -2.0 or lower is defined as “below the expected range for age” and a Z-score above -2.0 is “within the expected range for age”. All the data were compiled in the excel sheet and statistical analysis was done.

Statistical analysis

All statistical analyses were conducted using SPSS Version 21 (IBM, USA). Descriptive statistics were used to summarize the demographic, anthropometric, and training-related characteristics of participants, including age, height, weight, BMI, type of sport, years of training experience, and average weekly training duration. Continuous variables were presented as means $\pm$ standard deviations (σ), and categorical variables as frequencies and percentages. The prevalence of RED-S risk was determined using the LEAF-Q questionnaire (score ≥ 8) and RED-S risk assessment criteria. Chi-square (χ^2) tests were used to examine associations between RED-S risk and categorical variables (e.g., type of sport, age category, LEA classification). Independent samples t-tests and one-way ANOVA were applied to compare means of continuous variables (e.g., BMI, training duration) across EA categories. Post-hoc Bonferroni correction was applied for mul-

Table 1. Anthropometric characteristics and socio-demographic profiles of athletes**Таблица 1.** Антропометрические характеристики и социально-демографический профиль спортсменов

Variable / Показатель	M±σ	
Age, years / Возраст, годы	14.9±1.6	
Height, cm / Рост, см	156.6±5.7	
Weight, kg / Масса тела, кг	50.04±4.92	
Body mass index (BMI), kg/m ² / Индекс массы тела (ИМТ), кг/м ²	20.4±1.7	
Fat free mass, kg / Тощая масса, кг	33.17±4.82	
Training experience, years / Стаж тренировок, годы	5.91±0.87	
Training, hours/week, hours per week / Продолжительность тренировок, ч/нед	15.14±4.31	
BMI category, kg/m ² / Категория ИМТ, кг/м ²	n	%
≤18.5	24	11.8
18.6–24.99	179	88.2
Total / Всего	203	100.0

tiple comparisons. Binary logistic regression was performed to evaluate predictors of RED-S risk (dependent variable: at-risk vs. not-at-risk), adjusting for potential confounders including age, training hours per week, and BMI. Odds ratios (ORs) with 95% confidence intervals (CIs) were reported. Multicollinearity among predictors was checked using Variance Inflation Factors (VIFs). Effect sizes (Cohen's d or eta squared, as appropriate) were reported for key comparisons to assess the magnitude of associations. Statistical significance was set at $p < 0.05$. Missing data were minimal (<5%) and were handled using listwise deletion. As this was a cross-sectional study, follow-up was not applicable.

Results

Participant characteristics and sports-wise distribution

A total of 203 adolescent female team-sport athletes (mean age: 14.9±1.6 years) participated in this study. The mean BMI was 20.4±1.8 kg/m², with 88.2% falling within the normal range (18.6–24.99 kg/m²) and 11.8% classified as underweight (≤18.5 kg/m²). Average fat-free mass was 33.17±4.82 kg. In our study, football was the most represented sport (27.6%), followed by basketball (24.1%), kho-kho (15.3%), hockey (14.3%), kabaddi (11.3%), and volleyball (7.4%). Athletes trained an average of 15.14±4.31 hours per week and had a mean training experience of 5.91±0.87 years (table 1).

Energy availability, intake, and expenditure

The mean energy availability was 23.46 kcal/kg FFM – well below the optimal threshold of 30 kcal/kg – highlighting widespread LEA. Athletes averaged 1,941 kcal/day intake and 1,157 kcal/day expenditure, reflecting a significant energy mismatch consistent with LEAF-Q findings (table 2).

Low energy availability assessment using LEAF-Q

The LEAF-Q was used to assess LEA, with risk categorized as Mild (8–12), Moderate (13–24), and Severe (25–33). Among 203 athletes, 20.7% had minimal risk (≤7), 48.3% had mild risk, 26.1% moderate, and 4.9% severe risk – high-

lighting a substantial prevalence of LEA. Most footballers (55.4%) and basketball players (51.0%) fell into the moderate LEAF-Q risk category (8–12), with 36.7% of basketball players in the higher risk range (13–24). Volleyball and kho-kho athletes showed a more balanced distribution, with no volleyball players in the highest-risk group (≥25). A borderline significant association was observed between sport type and LEA risk ($p = 0.050$) (fig. 1).

Cumulative risk assessment score

The CRA classified 37.4% of athletes as low risk (fully cleared), 27.6% as moderate risk (provisionally cleared), and 35.0% as high risk (restricted from play). Over one-third were at elevated REDs risk, highlighting the need for targeted monitoring and intervention (fig. 2).

High CRA scores (≥6) were most common in basketball (38.8%) and football (37.5%), with kho-kho and volleyball also showing notable high-risk rates (>29% and 33%, respectively). No significant difference was found across sports ($p = 0.718$), suggesting REDs risk is widespread among all team sports assessed.

Bone mineral density of the athletes

Bone mineral density (BMD) assessment via DEXA revealed that 34.5% of athletes had Z-scores ≤-2.0, indicating low bone mass, while 65.5% fell within the expected range. This highlights a notable prevalence of compromised bone health, which may impact long-term skeletal development and injury risk (fig. 3).

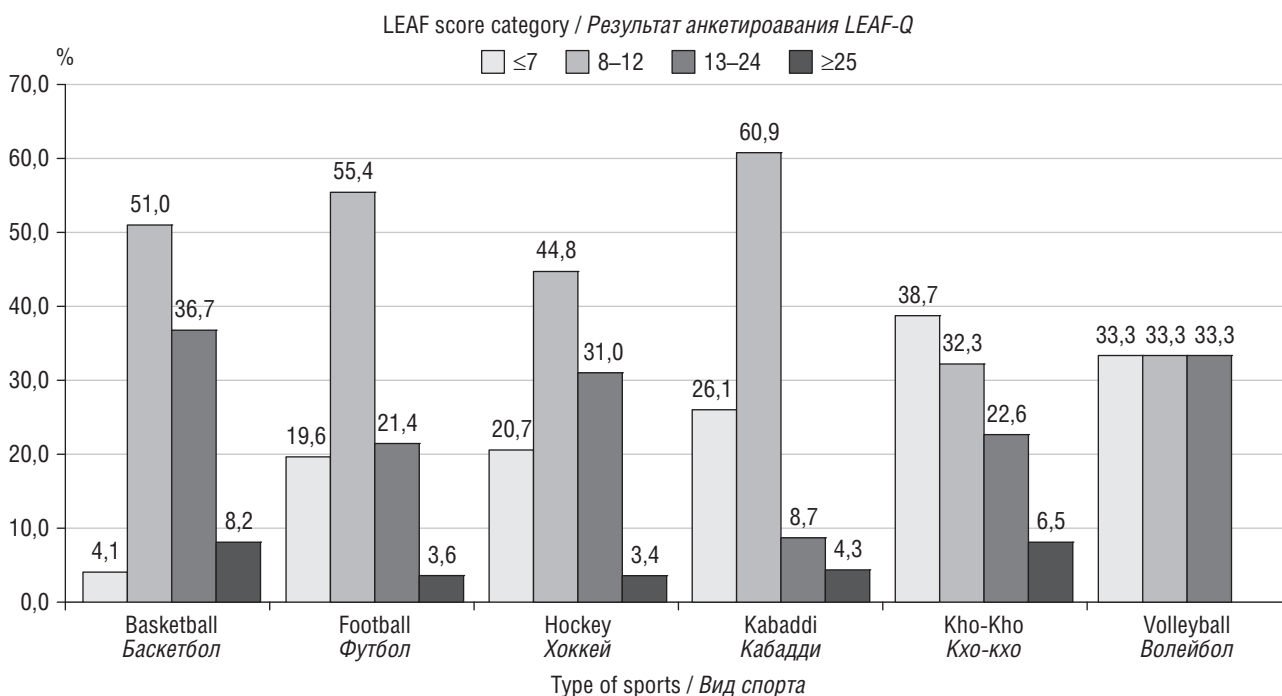
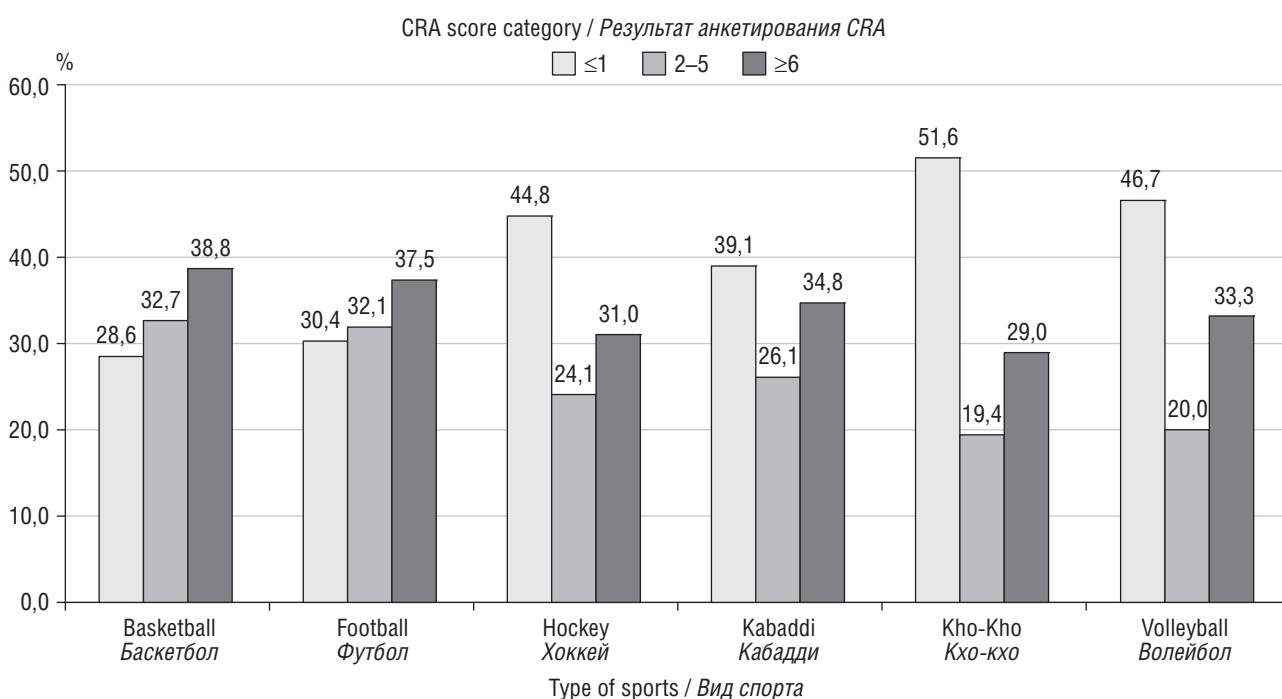
Kho-kho athletes showed the highest proportion of normal bone mass (74.2%), while football (37.5%) and basketball (36.7%) athletes had the highest rates of low BMD. However, these differences were not statistically significant ($p = 0.926$).

Discussion

To our knowledge, this is the first study to report the prevalence of REDs risk among Indian female adolescent athletes. We focused on adolescent athletes, a key transitional stage between childhood and adult sports. All participants

Table 2. Energy intake and exercise energy expenditure among female athletes**Таблица 2.** Поступление энергии и энергозатраты на физическую нагрузку у спортсменок

Variable / Показатель	$M \pm \sigma$	Me	Mo
Energy availability / Доступность энергии	23.46 $\pm$ 7.23	24.0	22.0
Energy Intake, kcal/day / Потребление энергии, ккал/сут	1941 $\pm$ 218	1966	1705
Exercise energy expenditure, kcal/day / Энергозатраты на физическую нагрузку, ккал/сут	1157 $\pm$ 128	1163	1296

**Fig. 1.** Leaf-Q questionnaire in athletes in relation to various sports domain**Рис. 1.** Результаты анкетирования LEAF-Q у спортсменок в зависимости от вида спорта**Fig. 2.** Cumulative risk assessment (CRA) questionnaire in athletes in relation to various sports domain**Рис. 2.** Результаты анкетирования комплексной оценки риска (CRA) у спортсменок в зависимости от вида спорта

had at least six years of training and trained an average of 15 hours per week across commonly played sports such as football, basketball, hockey, kabaddi, kho-kho, and volleyball. Female athletes face greater challenges than males in sustaining long-term physical activity, affecting both their physical and psychological performance.

Screening tools and abnormal score risk categorization

We used the LEAF-Q and CRA tools to assess REDs risk. While the standard LEAF-Q cut-off for high risk is ≥ 8 , we applied a refined classification: mild (8–12), moderate (13–24), and severe (25–33) to better capture varying physiological impacts of LEA. This three-tiered approach enabled more precise differentiation among at-risk athletes. Among 203 female adolescent athletes, 48.3% were at mild risk, 26.1% at moderate risk, and 4.9% at severe risk. This was supported by E. Luszczki et al., in their study 64.7% of participants were classified as being at-risk for REDs according to their LEAF-Q scores [16]. To complement LEAF-Q findings and guide return-to-play (RTP) decisions, we used the CRA, which incorporates variables like menstrual status, BMD, and disordered eating. Among the athletes, 37.4% were fully cleared ($CRA \leq 1$), 27.6% provisionally cleared ($CRA 2-5$), and 35% were restricted ($CRA \geq 6$), indicating substantial REDs risk. While LEAF-Q identifies early physiological disturbances, CRA offers a broader risk profile. Our study's tiered LEAF-Q classification (mild, moderate, severe) enhances clinical utility by tailoring interventions to risk severity, offering a novel stratification method.

LEAF-Q in female athletes

This study presents a novel Indian perspective by using LEAF-Q to categorize female adolescent team-sport athletes into LEA risk levels. Kabaddi showed the highest mild risk (60.9%), followed by football (55.4%) and basketball (51%), suggesting many train with unrecognized energy deficits. Our findings also supported by M.S. Dasa et al., in their study a high prevalence of LEA has been reported in female football players, and they also states us to focus on nutritional periodization to secure sufficient energy availability, mitigating the risk of problematic LEA and REDs should be addressed [17]. Basketball players showed the highest intermediate LEA risk (36.7%), followed by volleyball (33.3%) and hockey (31.0%). This may reflect fluctuating training loads, inconsistent nutrition, and recovery practices. Basketball had the highest severe LEA risk (8.2%), followed by kho-kho (6.5%), kabaddi (4.3%), and football (3.6%). Though numbers were small, clinical risks are high. Significant findings ($p=0.050$) stress the need for sport-specific screening and education. Kho-kho and kabaddi also showed notable mild and moderate LEA risks, despite limited global research. Our findings were supported by K. Kalpana et al., their study revealed that there was a higher prevalence of REDs risk outcomes among Kho-Kho players, with or without LEA [18]. These data highlight the LEAF-Q's effectiveness in screening and risk classification, detecting early LEA signs like menstrual irregularities, gastrointestinal

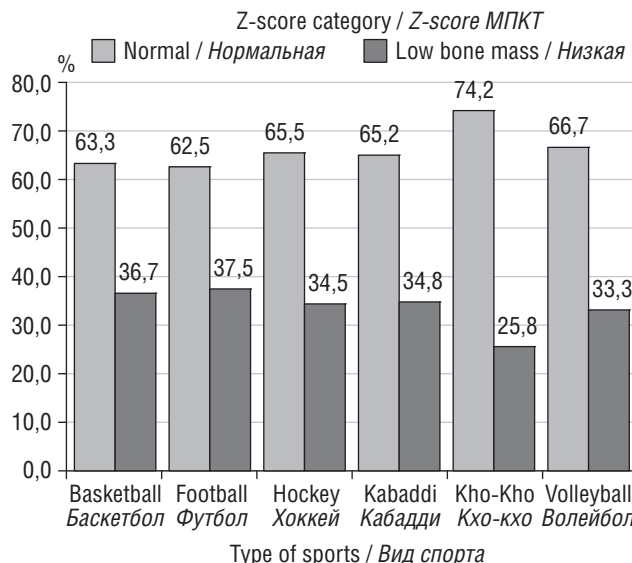


Fig. 3. Bone mineral density Z-score category in athletes in relation to various sports domain

Рис. 3. Минеральная плотность костной ткани (МПКТ) у спортсменок в зависимости от вида спорта

issues, and injuries. The findings emphasize the need for LEA screening in sports health evaluations for adolescent female athletes.

Energy availability among female athletes

Our study reveals a concerning pattern of LEA in female adolescent athletes, with an average of 23.46 kcal/kg of fat-free mass (FFM), well below the clinically recommended threshold of 30 kcal/kg FFM/day. A.B. Loucks et al., in their Research investigating changes in endocrine parameters over a short period of time suggested that an EA of ≥ 45 kcal/kg FFM·day⁻¹ is considered 'optimal', with <30 kcal/kg FFM·day⁻¹ and between 30–45 kcal/kg FFM·day⁻¹ classified as 'clinically low EA' and 'subclinical/reduced EA', respectively [14]. H.E. Cabre et al., stated that if athletes develop LEA, it can lead to a REDs which has severe health consequences if not treated [19]. These clinically low energy levels are concerning, especially for growing adolescents with higher energy demands. Despite training over 15 hours weekly, athletes averaged only 1,940.89 kcal/day, revealing a major intake-expenditure mismatch. This low energy intake among athletes was also supported by M. Renard et al., in their study majority reported that the dietary intake of female field-based team sport athletes was insufficient in overall energy (2064 ± 309 kcal/day) when compared to recommendations [20]. The average energy expenditure during exercise (EEE) for these athletes was 1,156.9 kcal, reflecting the high physical demands of their intense training regimens, which exceed 15 hours per week. J. Heydenreich et al., in their study in female endurance athletes, a negative energy balance was also observed during the preparation phase (-1145 kcal/day, 95% CI $-1404, -887$, $p < 0.0001$) and the competition phase (-1252 kcal/day, 95% CI $-1778, -727$, $p < 0.0001$) [21]. Despite participating in team

sports, the athletes' high EEE levels could lead to hormonal and metabolic abnormalities associated with LEA and REDs if not supported by proper nutrition.

Cumulative risk assessment and risk for REDs

This study used the CRA tool to assess multidimensional risks of REDs in female adolescent athletes. Approximately 35% of participants had scores ≥ 6 , indicating increased REDs risk. CRA scores were linked to return-to-play (RTP) recommendations: "fully cleared (0–1 point)", "provisionally cleared (2–5 points)", and "restricted from play (≥ 6 points)". M.J. De Souza et al., states that the Cumulative Risk Assessment Tool is an evidenced-based tool and provides well-defined criteria for consistent utilization of the tool [22]. The CRA provides a holistic view of athlete health, especially valuable in adolescents where early REDs signs may be missed. In our study, over one-third had high-risk scores (≥ 6), notably in basketball (38.8%), football (37.5%), and kabaddi (34.8%). These findings highlight the need for proactive monitoring in adolescent sports. Our findings are further supported by recent literature emphasizing the importance of developmental stage considerations in risk assessment among youth athletes. G.N. Parry et al., in their scoping review, highlighted that individual variability in biological maturation significantly influenced both performance and injury risk in adolescent athletes, necessitating age- and developmentally-appropriate screening tools [23].

Bone mineral density of the athletes

During the course of our research, we observed that a significant number of female athletes had a low bone mass. For the purpose of our research, Z-scores were utilized rather than T-scores because the participants in our study were adolescents. According to the International Society for Clinical Densitometry (2019), Z-scores are recommended for children and adolescents still gaining peak bone mass. Among 203 athletes, 34.5% had Z-scores below -2.0, indicating low bone mass and potential REDs risk. Low BMD was most common in football (37.5%), basketball (36.7%), and kabaddi (34.8%), with no significant sport-wise differences ($p=0.926$), underscoring a broad risk of poor bone health in female adolescent athletes. Studies have highlighted the critical role of vitamin D intake in maintaining bone health among adolescents. K. Song et al., demonstrated a positive association between serum vitamin D levels and bone mineral density in adolescents, emphasizing the importance of adequate vitamin D status for skeletal development [24]. Similarly, A. Armento et al., reviewed recent literature indicating that adolescent athletes, particularly those with limited sun exposure, are at increased risk for vitamin D deficiency, which can adversely affect bone mineral density [25]. These findings underscore the necessity of ensuring sufficient dietary vitamin D intake to support optimal bone health during adolescence. Recent studies have demonstrated that LEA—resulting from increased energy expenditure, decreased energy intake, or the presence of eating disorders—is associated with reduced BMD in both adolescents and adults. For instance, A.C. Sella et al., in their study found that low-weight female youth with avoidant/

restrictive food intake disorder exhibited significantly lower BMD, highlighting the impact of disordered eating on bone health [26]. Low BMD may signal early REDs, especially in weight-bearing sports with inadequate nutrition. This highlights the need for targeted screening and integrated assessments to address health gaps in adolescent athletes.

Importance of screening female athletes at adolescent stage

Adolescent screening provides a unique opportunity for early, effective interventions. A multidisciplinary, athlete-centered approach is crucial to address REDs risk in female adolescent athletes. Our findings emphasize the need for continuous, collaborative screening involving sports medicine professionals, dietitians, psychologists, coaches, educators, and families. This holistic approach promotes physical wellness and long-term performance. Our research highlights the importance of risk-based stratification, especially in countries like India, where early recognition and intervention are vital for female athletes' health and future in sports.

Strengths, limitations and future scope

This study offers key insights into LEA, REDs risk, and bone health in Indian adolescent female athletes—an under-researched area. It is among the first to assess these factors across six team sports, enabling sport-specific comparisons for targeted interventions. Limitations include the LEAF-Q's reduced accuracy in adolescents and reliance on self-reported energy intake. Future research should develop age- and sport-specific tools, integrate REDs monitoring into athlete care, and use longitudinal data to track long-term health and performance outcomes.

Conclusion

As adolescent girls' participation in competitive sports rises in India, our study highlights a concerning prevalence of LEA and risk for RED-S among female athletes in team sports. Many athletes with LEA, exhibiting signs such as irregular menstrual cycles, low bone mass, fatigue, injuries, and mental health challenges, continue training despite these risks, compromising their long-term health and performance. The lack of awareness and preventive strategies threatens their sports careers. Our research underscores the need for proactive screening, education, and collaboration among coaches, parents, nutritionists, and sports physicians to safeguard their well-being and future success.

To enhance the nutritional status of female athletes, we advocate for personalized dietary strategies that address their specific energy requirements and sport-specific demands, ensuring sufficient intake of macronutrients and critical micronutrients such as calcium and vitamin D. Ongoing evaluation through comprehensive food tracking and nutritional assessments, alongside targeted education for athletes and their support networks, is essential to maintain optimal energy availability, promote bone health, and support peak athletic performance and recovery.

Сведения об авторах

Академия исследований и образования Четтинад (Келамбаккам, Тамил Наду, Индия):

Туласи Раман Дипак Рам (Deepak Ram Thulasi Raman) – старший ординатор кафедры спортивной медицины госпиталя и научно-исследовательского института Четтинад

E-mail: Deepakram707@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6171-1127>

Чандрасекара Пандиян Рамеш (Ramesh Chandrasekara Pandiyan) – профессор и заведующий кафедрой спортивной медицины госпиталя и научно-исследовательского института Четтинад

E-mail: drramesh_iapmr@yahoo.co.in

<https://orcid.org/0009-0008-0908-1827>

Шанмугам Арвинд (Arvind Shanmugam) – доцент кафедры спортивной медицины госпиталя и научно-исследовательского института Четтинад

E-mail: arvindsportsdoc@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-9419-3902>

Нараянан Хариш (Harish Narayanan) – доцент кафедры спортивной медицины госпиталя и научно-исследовательского института Четтинад

E-mail: harishsportsdoc@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9169-3425>

Сабapati Шива Прасант (Siva Prasanth Sabapathy) – ординатор кафедры спортивной медицины госпиталя и научно-исследовательского института Четтинад

E-mail: sivasaba94@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-6331-5673>

Санил Ушакумари Сурав (Sourav Sanil Ushakumari) – ординатор кафедры спортивной медицины госпиталя и научно-исследовательского института Четтинад

E-mail: Sourav.su@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-9403-365X>

Шридхар Мутху Кумар (Muthu Kumar Sridhar) – ординатор кафедры спортивной медицины госпиталя и научно-исследовательского института Четтинад

E-mail: muthukumar2129@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-2017-7899>

Раджеш Кумар Вигнеш Кумар (Vignesh Kumar Rajesh Kumar) – ординатор кафедры спортивной медицины госпиталя и научно-исследовательского института Четтинад

E-mail: deerajsingh06@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-6511-1575>

Джозеф Эдвин (Edwin Joseph) – ординатор кафедры спортивной медицины госпиталя и научно-исследовательского института Четтинад

E-mail: edwinjoseph767@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-2939-217X>

Мутхьяпвар Винайяк (Vinayak Muthyapwar) – ординатор кафедры спортивной медицины госпиталя и научно-исследовательского института Четтинад

E-mail: vinayakraina48@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-4607-3499>

About the authors

Chettinad Academy of Research and Education (Kelambakkam, Tamil Nadu, India):

Deepak Ram Thulasi Raman – Senior Resident of the Department of Sports Medicine at the Chettinad Hospital and Research Institute

E-mail: Deepakram707@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6171-1127>

Ramesh Chandrasekara Pandiyan – Professor and Head of the Department of Sports Medicine at the Chettinad Hospital and Research Institute

E-mail: drramesh_iapmr@yahoo.co.in

<https://orcid.org/0009-0008-0908-1827>

Arvind Shanmugam – Assistant Professor of the Department of Sports Medicine at the Chettinad Hospital and Research Institute

E-mail: arvindsportsdoc@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-9419-3902>

Harish Narayanan – Assistant Professor of the Department of Sports Medicine at the Chettinad Hospital and Research Institute

E-mail: harishsportsdoc@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9169-3425>

Siva Prasanth Sabapathy – Junior Resident of the Department of Sports Medicine at the Chettinad Hospital and Research Institute

E-mail: sivasaba94@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-6331-5673>

Sourav Sanil Ushakumari – Junior Resident of the Department of Sports Medicine at the Chettinad Hospital and Research Institute

E-mail: Sourav.su@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-9403-365X>

Muthu Kumar Sridhar – Junior Resident of the Department of Sports Medicine at the Chettinad Hospital and Research Institute

E-mail: muthukumar2129@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-2017-7899>

Vignesh Kumar Rajesh Kuma – Junior Resident of the Department of Sports Medicine at the Chettinad Hospital and Research Institute

E-mail: deerajasingh06@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-6511-1575>

Edwin Joseph – Junior Resident of the Department of Sports Medicine at the Chettinad Hospital and Research Institute

E-mail: edwinjoseph767@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-2939-217X>

Vinayak Muthyapwar – Junior Resident of the Department of Sports Medicine at the Chettinad Hospital and Research Institute

E-mail: vinayakraina48@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-4607-3499>

Литература/References

- Elsborg P., Nielsen G., Klinker C.D., Melby P.S., Christensen J.H., Bentsen P. Sports-based recreation as a means to address social inequity in health: why, when, where, who, what, and how. *BMC Public Health*. 2019; 19: 1084. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7428-3>
- Katapally T.R. The 2016 India Report Card on Physical Activity for Children and Youth: longform. *Active Healthy Kids Global Alliance*. 2016. URL: <https://www.activehealthykids.org/wp-content/uploads/2016/11/india-report-card-long-form-2016.pdf>
- Wang M., Xing X., Zhao L., Fu H., Wang D., Wang Y. Is economic environment associated with the physical activity levels and obesity in Chinese adults? A cross-sectional study of 30 regions in China. *BMC Public Health*. 2017; 17: 701. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4699-4>
- Satija A., Khandpur N., Satyanarayana K., Mathur M., Bhardwaj S., Reddy K.S. Physical activity among adolescents in India: a qualitative study of barriers and enablers. *Health Educ Behav*. 2018; 45 (6): 926–34. DOI: <https://doi.org/10.1177/1090198118778332>
- Bhan N., Rao N., Raj A., Agrawal R., Berman P., Subramanian S.V. Sport as a vehicle of change for livelihoods, social participation and marital health for the youth: findings from a prospective cohort in Bihar, India. *EClinicalMedicine*. 2020; 20: 100302. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2020.100302>
- Beech J., Jones B., Hughes T., Emmonds S. Injury profile in youth female athletes: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2024; 54(5): 1207–1230. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01988-w>
- Mendonça L.D., Lopes A.D., Costa L.O.P., Silva T.M., Lima P.O., Costa L.C.M. How injury prevention programs are being structured and implemented worldwide: an international survey of sports physical therapists. *Phys Ther Sport*. 2022; 53: 143–50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.06.002>
- Mountjoy M., Ackerman K.E., Bailey D.M., Burke L.M., Constantini N., Hackney A.C., et al. 2023 International Olympic Committee's (IOC) consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (REDs). *Br J Sports Med*. 2023; 57 (17): 1073–97. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106994>
- Anthon C., Smith J., Doe A., Brown B., Johnson L., Davis M. Menstrual disorders in adolescence: diagnostic and therapeutic challenges. *J Clin Med*. 2024; 13 (24): 7668. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm13247668>
- Meher T., Sahoo H. Secular trend in age at menarche among Indian women. *Sci Rep*. 2024; 14: 12345. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55657-7>
- Melin A., Tornberg A.B., Skouby S., Moller S.S., Faber J., Sundgot-Borgen J. The LEAF questionnaire: a screening tool for the identification of female athletes at risk for the female athlete triad. *Br J Sports Med*. 2014; 48 (7): 540–5. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093240>
- Rogers M.A., Smith J.W., Brown L.E., Johnson M.J., Davis K.L., Thompson D.L. The utility of the low energy availability in females questionnaire to detect markers consistent with low energy availability-related conditions in a mixed-sport cohort. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2021; 31 (5): 427–37. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2020-0233>
- Koltun K.J., De Souza M.J., Williams N.I., Tenforde A.S., Ackerman K.E., Misra M. Comparison of Female Athlete Triad Coalition and RED-S risk assessment tools. *J Sports Sci*. 2019; 37 (21): 2433–42. DOI: <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1640551>
- Loucks A.B., Kiens B., Wright H.H. Energy availability in athletes. *J Sports Sci*. 2011; 29 (suppl 1): S7–15. DOI: <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.588958>
- Miralles-Amorós L., Pérez-López F.R., Hernández A.V., Chedraui P., Sánchez-Borrego R., Lete I. Study the effect of relative energy deficiency on physiological and physical variables in professional women athletes: a randomized controlled trial. *Metabolites*. 2023; 13 (2): 123. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo13020168>
- Łuszczki E., Bartosiewicz A., Bartosiewicz K., Dereń K., Mazur A., Wyszńska J. The LEAF questionnaire is a good screening tool for the identification of the Female Athlete Triad/Relative Energy Deficiency in Sport among young football players. *Peer J*. 2021; 9: e12345. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.12118>
- Dasa M.S., Kumar S., Sharma R., Gupta N., Singh A., Verma P. Risk and prevalence of Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S) among professional female football players. *Eur J Sport Sci*. 2024; 24 (7):1032–41. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejsc.12129>
- Kalpna K., Cherian K.S., Khanna G.L. Energy availability and RED-S risk assessment among Kho-Kho players in India. *Sport Sci Health*. 2023; 19 (4): 1101–8. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11332-022-00996-z>
- Cabre H.E., López L.M., García M.J., Sánchez A.M., Pérez R.M., Torres J.F. Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S): scientific, clinical, and practical implications for the female athlete. *Dtsch Z Sportmed*. 2022; 73 (7): 225–34. DOI: <https://doi.org/10.5960/dzsm.2022.546>
- Renard M., Dupont G., Le Gall F., Nedelec M., McCall A., Carling C. How does the dietary intake of female field-based team sport athletes compare to dietary recommendations for health and performance? A systematic literature review. *Nutrients*. 2021; 13 (4): 1234. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13041235>
- Heydenreich J., Kayser B., Schutz Y., Melzer K. Total energy expenditure, energy intake, and body composition in endurance athletes across the training season: a systematic review. *Sports Med Open*. 2017; 3 (1): 8. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40798-017-0076-1>
- De Souza M.J., Koltun K.J., Williams N.I., Tenforde A.S., Ackerman K.E., Misra M. Female Athlete Triad Coalition risk assessment tool is an evidenced-based tool that is reliable and well-described. *J Sports Sci*. 2020; 38 (9): 996–9. DOI: <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1738120>
- Parry G.N., Smith J., Brown B., Johnson L., Davis M., Thompson D. Associations between growth, maturation and injury in youth athletes engaged in elite pathways: a scoping review. *Br J Sports Med*. 2024; 58 (17): 1001–10. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2024-108233>
- Song K., Lee S., Park H., Kim J., Choi Y., Lim Y. Vitamin D status is associated with bone mineral density in adolescents: findings from the Korea National Health and Nutrition Examination Survey. *Nutr Res*. 2021; 87: 13–21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.12.011>
- Armento A., Smith J., Brown B., Johnson L., Davis M., Thompson D. Bone health in young athletes: a narrative review of the recent literature. *Curr Osteoporos Rep*. 2023; 21 (4): 447–58. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11914-023-00796-5>
- Sella A.C., Smith J., Brown B., Johnson L., Davis M., Thompson D. Low bone mineral density is found in low weight female youth with avoidant/restrictive food intake disorder and associated with higher PYY levels. *J Eat Disord*. 2023; 11 (1): 123. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40337-023-00822-y>



Уважаемые коллеги!

Приглашаем вас принять участие в работе **XIX Международного конгресса диетологов и нутрициологов «Оптимальное питание – основа продолжительной и активной жизни»**, посвященного 95-летию **Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи**, который пройдет 17–18 ноября 2025 г. в Москве.

Конгресс проводится в соответствии с планом научно-практических мероприятий, разработанным в рамках проведения в Российской Федерации Десятилетия науки и технологий (Указ Президента Российской Федерации от 25.04.2022 № 231).

Место проведения Конгресса: гостиница «Рэдиссон Славянская» (г. Москва, пл. Европы, д. 2, Radisson Slavyanskaya Hotel & Business Center). Конгресс будет проводиться в очном формате.

В программе мероприятия будут представлены результаты отечественных и зарубежных исследований по проблемам фундаментальной нутрициологии, диетологии, биотехнологии, химической и биологической безопасности пищи; будут проведены школы, круглые столы и встречи с представителями средств массовой информации.

В работе Конгресса предполагается участие ведущих российских и зарубежных ученых и специалистов, сотрудников научных организаций Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Российской академии наук, Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Министерства здравоохранения Российской Федерации, Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, Российского научного фонда, общественных организаций и отраслевых союзов, специалистов пищевой индустрии, биотехнологов, производителей пищевой продукции.

Основные тематические направления Конгресса

- Реализация национальных приоритетов России: оптимизация питания населения.
- Инновации в области нутрициологии, нутригеномики, нутриметабономики.
- Качество и безопасность пищевой продукции: методическая и нормативная базы.
- Диетология и нутрициология: роль в профилактике и лечении.
- Детское питание: от рождения до совершеннолетия.
- Специализированные пищевые продукты: от научного обоснования до промышленного производства.
- Диетология как важное направление реабилитации в условиях чрезвычайных ситуаций.
- Современные агро- и биотехнологии, новые источники пищи.
- Образовательные программы в области здорового питания.

Конгресс будет проходить при поддержке Комитета по аграрно-продовольственной политике и природопользованию Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации, Комитета по охране здоровья и Комитета по образованию и науке Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации.

По итогам Конгресса участники могут получить сертификат участника Конгресса. Подана заявка на аккредитацию Конгресса в рамках реализации модели непрерывного медицинского образования и присвоение зачетных единиц (кредитов) по специальностям: «Диетология», «Педиатрия», «Аллергология и иммунология», «Анестезиология-реаниматология», «Гастроэнтерология», «Гериатрия», «Гигиена питания», «Кардиология», «Клиническая лабораторная диагностика», «Медицинская микробиология», «Общая врачебная практика (семейная медицина)», «Терапия», «Эндокринология».

В рамках Конгресса будет проводиться Конкурс молодых ученых. Его основная цель – вовлечение молодежи в научные исследования в области здорового питания, новых пищевых технологий и биотехнологий (условия Конкурса см. на сайте Конгресса).

Параллельно с работой Конгресса пройдет выставка ведущих производителей обогащенной, функциональной и специализированной пищевой продукции.

Материалы Конгресса будут опубликованы в сборнике трудов (статей с присвоением DOI и размещением в Russian Science Citation Index). Прием статей – до 10 сентября 2025 г. Лучшие работы, представленные на конференцию, будут отобраны и опубликованы в журнале «Вопросы питания» (требования к оформлению публикаций – на сайте Конгресса).

Для участия в Конгрессе необходимо зарегистрироваться на сайте www.congressION.ru.

Ждем вас на **XIX Международном конгрессе диетологов и нутрициологов «Оптимальное питание – основа продолжительной и активной жизни»**, посвященном 95-летию Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи!

Оргкомитет XIX Международного конгресса диетологов и нутрициологов «Оптимальное питание – основа продолжительной и активной жизни», посвященного 95-летию Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи

Контактная информация:

Ученый секретарь ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Тармаева Инна Юрьевна, тел.: (495) 698-53-42, e-mail: tarmaeva@ion.ru

Заведующий лабораторией витаминов и минеральных веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Жилинская Наталия Викторовна, тел.: (495) 698-53-30, e-mail: zhilinskaya@ion.ru

Ведущий специалист по связям с общественностью и СМИ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Пузова Елена Вилорьевна, тел.: (495) 698-52-26, e-mail: elenapuzova@yandex.ru

По вопросам публикаций и Конкурса молодых ученых –

Соколова Анна Георгиевна, тел.: (495) 698-52-26, e-mail: sokolova@ion.ru