

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

№ 1 (557), 2025

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

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



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 антропонутириологии 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 антропонутириологии 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 «НМИЦК 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» № 1 (557), 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: 19.02.2025

Дата выхода в свет: 28.02.2025

Тираж 3000 экземпляров.
Формат 60×90 1/8.
Печать офсетная. Печ. л. 175.
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 1 (557), 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: 19.02.2025

Publication date: 28.02.2025

Circulation of 3000 copies.

Format 60×90 1/8.

Offset printing. 17.5 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)

ОБЗОРЫ

Выборная К.В., Никитюк Д.Б.

Биоимпедансный анализ в спортивной и клинической практике: влияние альтернативных условий измерения на показатели состава тела

Никитина К.И., Стрельникова Т.В., Выходец И.Т., Абрамова Т.Ф., Никитина Т.М.

Роль питания в профилактике нарушений костного метаболизма в спорте высших достижений

Джумагазиев А.А., Шилина Н.М., Безрукова Д.А., Отто Н.Ю., Сосиновская Е.В., Филипчук А.В.

Внешние факторы, способствующие развитию конституционально-экзогенного ожирения у детей

Хамидулина Х.Х., Тарасова Е.В., Проскурина А.С., Назаренко А.К., Дорофеева Е.В.

Актуальные вопросы регулирования контаминантов в пищевой продукции

ГИГИЕНА ПИТАНИЯ

Попова А.Ю., Шевкун И.Г., Новикова И.И., Романенко С.П.

Об основных результатах мониторинга питания детей школьного возраста, реализованного в рамках федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография»

Меньщикова Ю.В., Вильмс Е.А., Турчанинов Д.В., Козубенко О.В., Брусенцова А.В., Турчанинова М.С., Юнацкая Т.А., Глаголева О.Н., Чубарова А.Д.

Гигиеническая оценка эффективности реализации федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» в части формирования приверженности здоровому питанию взрослого населения Омской области в 2018–2023 гг.

Сазонова О.В., Гаврюшин М.Ю., Хамцова Р.В., Трубецкая С.Р., Тупикова Д.С., Фролова О.В.

Опыт консультативно-диагностического центра «Здоровое питание» ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России в профилактике алиментарной патологии у жителей Самарской области

Кривошеев В.В., Козловский И.В., Никитина Л.Ю., Федоров А.В.

Сезонные колебания уровня витамина D в сыворотке крови у различных возрастных групп населения Ханты-Мансийского автономного округа – Югры

REVIEW

6 **Vybornaya K.V., Nikityuk D.B.**

Bioimpedance analysis in sports and clinical practice: the influence of alternative measurement conditions on body composition indicators

21 **Nikitina K.I., Strelnikova T.V., Vykhodets I.T., Abramova T.F., Nikitina T.M.**

The role of nutrition in the prevention of bone metabolism disturbances in high performance

37 **Dzhumagaziev A.A., Shilina N.M., Bezrukova D.A., Otto N.Yu., Sosinovskaya E.V., Filipchuk A.V.**

External factors contributing to the development of constitutional exogenous obesity in children

50 **Khamidulina Kh.Kh., Tarasova E.V., Proskurina A.S., Nazarenko A.K., Dorofeeva E.V.**

Current issues of regulation of contaminants in food

HYGIENE OF NUTRITION

64 **Popova A.Yu., Shevkun I.G., Novikova I.I., Romanenko S.P.**

Main results of nutrition monitoring of school-age children implemented within the framework of the Federal Project “Public Health Improvement” of the National Project “Demography”

71 **Menshchikova Yu.V., Vilms E.A., Turchaninov D.V., Kozubenko O.V., Brusentsova A.V., Turchaninova M.S., Yunatskaya T.A., Glagoleva O.N., Chubarova A.D.**

Hygienic assessment of the effectiveness of the implementation of the Federal Project “Strengthening public health” in terms of forming a commitment to healthy nutrition among the adult population of the Omsk region in 2018–2023

82 **Sazonova O.V., Gavryushin M.Yu., Hamtsova R.V., Trubetskaya S.R., Tupikova D.S., Frolova O.V.**

The experience of the Clinical and diagnostic center «Healthy nutrition» of Samara State Medical University in the prevention of non-communicable diseases in residents of the Samara region

89 **Krivosheev V.V., Kozlovsky I.V., Nicitina L.Yu., Fedorov A.V.**

Seasonal fluctuations of vitamin D in blood serum in different age groups of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra population

**Тышко Н.В., Тимошенко К.А.,
Шестакова С.И., Зотов В.А.**

Управление микронутриентным составом
энтомопродукции посредством оптимизации
режима кормления съедобных насекомых

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ПИТАНИЯ

**Трушина Э.Н., Мустафина О.К.,
Аксенов И.В., Красуцкий А.Г.,
Тутельян В.А., Никитюк Д.Б.**

Протективное действие экстракта корня
женьшеня на апоптоз миофибрилл и иммунный
ответ у крыс после истощающей физической
нагрузки. Часть I. Влияние экстракта корня
женьшеня на апоптоз миофибрилл икроножной
мышцы крыс

**Шипелин В.А., Холина А.В.,
Замятина А.В., Мазо В.К., Никитюк Д.Б.**

Влияние фикоцианинов из *Arthrospira platensis*
на эффективность иммунизации
противокоронавирусной вакциной *in vivo*

ДИСКУССИЯ

Хиробуми И., Сасуга Я.

Комбинированное воздействие сублингвальной
иммунотерапии и экстракта соевого молока,
ферментированного ацидофильными
лактобактериями, на симптомы поллиноза,
вызываемого пылью кедр

100 **Tyshko N.V., Timoshenko K.A.,
Shestakova S.I., Zotov V.A.**

Management with micronutrient composition
of entomoproducts by edible insects' feeding
schedule optimisation

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF NUTRITION

110 **Trushina E.N., Mustafina O.K.,
Aksenov I.V., Krasutsky A.G.,
Tutelyan V.A., Nikityuk D.B.**

Protective action of ginseng root extract on myofibril
apoptosis and immune response in rats after
exhausting physical exercise. Part I. Effect
of ginseng root extract on myofibril apoptosis in rats'
gastrocnemius muscle

118 **Shipelin V.A., Kholina A.V.,
Zamyatina A.V., Mazo V.K., Nikityuk D.B.**

The effect of phycocyanins from *Arthrospira platensis*
on the efficacy of immunization with an anti-
coronavirus vaccine *in vivo*

DISCUSSION

131 **Hirobumi I., Sasuga Y.**

The combined effects of sublingual immunotherapy
and *Lactobacillus acidophilus*-producing extract
on cedar pollinosis symptoms

Для корреспонденции

Выборная Ксения Валерьевна – научный сотрудник
лаборатории антропнотрициологии 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, Никитюк Д.Б.^{1–3}

Биоимпедансный анализ в спортивной и клинической практике: влияние альтернативных условий измерения на показатели состава тела

Bioimpedance analysis
in sports and clinical practice:
the influence of alternative
measurement conditions
on body composition indicators

Vybornaya K.V.¹, Nikityuk D.B.^{1–3}

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 «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», 117198, г. Москва, Российская Федерация

³ 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 Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, 117198, Moscow, Russian Federation

³ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Ministry of Health of the Russian Federation, 119991, Moscow, Russian Federation

В связи с тем, что многие биологические и небιологические факторы влияют на точность результатов биоимпедансного анализа состава тела, существует ряд стандартных условий, которые необходимо соблюдать при подготовке и во время процедуры измерения, чтобы результаты были корректными.

Финансирование. Поисково-аналитическая работа по подготовке рукописи проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания (FGMF-2025-0002).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Никитюк Д.Б., Выборная К.В.; сбор и обработка данных, написание текста – Выборная К.В.; редактирование – Никитюк Д.Б.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – оба автора.

Для цитирования: Выборная К.В., Никитюк Д.Б. Биоимпедансный анализ в спортивной и клинической практике: влияние альтернативных условий измерения на показатели состава тела // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 1. С. 6–20. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-6-20>
Статья поступила в редакцию 23.05.2024. **Принята в печать** 09.01.2025.

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.; data collection and processing, text writing – Vybornaya K.V.; editing – Nikityuk D.B.; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – both authors.

For citation: Vybornaya K.V., Nikityuk D.B. Bioimpedance analysis in sports and clinical practice: the influence of alternative measurement conditions on body composition indicators. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (1): 6–20. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-6-20> (in Russian)

Received 23.05.2024. **Accepted** 09.01.2025.

В условиях спортивных сборов, фитнес-центров и у некоторых групп пациентов невозможно провести измерение с соблюдением всех стандартных условий. Практикующие врачи и исследователи должны знать, какие изменения происходят с показателями состава тела при альтернативных условиях измерения. **Цель работы** – выявить показатели, которые изменяются в протоколе состава тела при несоблюдении тех или иных стандартных условий биоимпедансного измерения, и оценить, можно ли считать корректными измерения, проведенные с нарушением одного из стандартных условий измерения, т.е. в альтернативных условиях.

Материал и методы. Проанализировано 35 источников литературы, поиск по ключевым словам проводили по базам данных PubMed, Scopus, Web of Science, Elsevier, eLibrary.

Результаты. После аэробной и анаэробной физической нагрузки, при смене стандартного положения электрода на нижней конечности [измерительный (сенсорный) электрод перемещен с линии сочленения заплюсневой сустава (вентральное положение) на ахиллово сухожилие (дорсальное положение)], при изменении положения тела из положения лежа в положение стоя, а также после внутривенного введения 1000 мл физиологического раствора показатели сопротивления организма и доли жировой массы тела достоверно уменьшаются, а показатели общей воды организма, тощей, активной клеточной и скелетно-мышечной массы достоверно увеличиваются. Противоположные тенденции в изменении показателей были получены после потребления воды, пищи, донорства крови в объеме 480 мл, при использовании биоадгезивных электродов с маленькой контактной поверхностью (площадью прилегания), при длительном (60–240 мин) исследовании натощак, а также при потреблении кофеина в капсулах (200 мг, без растворения в воде, 60 мин), кофеина в качестве напитка (кофе) и черного чая с сахаром: показатели сопротивления организма и доли жировой массы тела достоверно увеличивались, а показатели общей воды организма, тощей, активной клеточной и скелетно-мышечной массы достоверно уменьшались. При этом все полученные изменения показателей сопротивления организма и состава тела, наблюдаемые после нарушения одного из стандартных условий измерения (кроме исследований по оценке влияния физической нагрузки), сопоставимы с погрешностью метода биоимпедансометрии, а также с различиями, получаемыми при измерении на разных приборах. **Заключение.** Считается допустимым проводить биоимпедансный анализ состава тела с нарушением одного из стандартных условий измерения, если иное измерение невозможно, за исключением проведения биоимпедансного анализа после физической нагрузки.

Ключевые слова: биоимпедансный анализ состава тела; спортивная медицина; клиническая практика; стандартные условия измерения; альтернативные условия измерения; кофеин; общая вода организма; жировая масса тела

There is a number of standard conditions that must be followed during preparation and during the procedure of bioelectrical impedance analysis (BIA) for the results of body composition estimating to be correct. This is because many biological and non-biological factors influence the accuracy of the results. In the conditions of sports camps, fitness centers and in some groups of patients, it is impossible to carry out measurements in compliance with all standard conditions. Practicing researchers and clinicians should be aware of exactly what changes occur in body composition indicators under alternative measurement conditions.

The purpose of the research was to identify which indicators change in the body composition protocol when certain standard conditions of bioimpedance measurement are not met and whether measurements taken in violation of one of the standard measurement conditions can be considered correct, i.e. in alternative conditions.

Material and methods. 35 literature sources were analyzed, keyword searches were carried out in the PubMed, Scopus, Web of Science, Elsevier and eLibrary databases.

Results. After aerobic and anaerobic exercise, when changing the standard position of the electrode on the lower limb [the measuring (sensor) electrode is moved from the articulation line of the tarsal joint (ventral position) to the Achilles tendon (dorsal position)], when changing the body position from «lying» to «standing», as well as after 1000 ml saline intravenous administration, the indicators of body resistance and the proportion of body fat significantly decrease, and the indicators of total body water, lean, active cellular and skeletal muscle mass significantly increase. Opposite trends in the change in indicators were obtained after drinking water, food intake, donating blood in a volume of 480 ml, when using bioadhesive electrodes with a small contact surface (adjacent area), during a long-term (60–240 min) study on an empty stomach, as well as after consuming anhydrous caffeine in capsules (200 mg, without dissolution in water, 60 min), caffeine as

a drink, and black tea with sugar: body resistance and the proportion of body fat increased significantly, while total body water, lean, active cellular and skeletal muscle mass decreased significantly. All the obtained changes in body resistance and body composition indicators observed after violating one of the standard measurement conditions (except for studies assessing the effect of physical activity) were equated to the error of the BIA, as well as to the differences obtained when measuring on different devices.

Conclusion. *It is considered acceptable to perform BIA with a violation of one of the standard measurement conditions if another measurement is impossible, with the exception of performing BIA after physical exercise.*

Keywords: *bioelectrical impedance analysis; body composition; sports medicine; clinical practice; standard measurement conditions; alternative measurement conditions; caffeine; total body water; body fat mass*

В связи с тем что потребление пищи, напитков и воды, температура кожи, изменение уровня жидкости в организме, вызванное физическими нагрузками (ФН), прием некоторых лекарственных средств и биологически активных добавок к пище, способных задерживать воду в организме или, наоборот, обезвоживать организм, фаза менструального цикла у женщин и некоторые другие биологические и не биологические факторы влияют на точность результатов биоимпедансного анализа (БИА) состава тела [1–3], существует ряд стандартных условий, которые необходимо соблюдать до и во время процедуры измерения, чтобы результаты были корректными.

К стандартным условиям, которые следует соблюдать при подготовке к процедуре БИА, относятся следующие [4–6]:

- измерение лучше всего проводить в утренние часы, натощак (в некоторых случаях считается возможным проводить измерение спустя 4 ч после употребления воды и пищи, но такое исследование не будет считаться тощаковым);
- измерение следует проводить после полноценного сна (минимум 8 ч);
- следует исключить тяжелые ФН за 12 ч до измерения, а также легкие и средней тяжести ФН за 3–4 ч до измерения (так как ФН изменяют распределение жидкости);
- рекомендуется опорожнить мочевой пузырь за 10–30 мин до обследования;
- следует исключить прием мочегонных средств (диуретиков) за 5–7 сут (рекомендуется только в тех случаях, когда это не нанесет вреда здоровью измеряемого; если диуретики не удается исключить, повторные измерения проводятся на фоне их приема);
- за 2 сут до исследования рекомендуется исключить из рациона продукты с повышенным содержанием соли, жирную и копченую пищу, кофеин, алкоголь и другие пищевые продукты, которые способствуют нарушению водного баланса (т.е. задерживают или выводят воду из организма);
- женщинам рекомендовано проводить исследование в лютеиновой фазе менструального цикла, но когда нет самой менструации, т.е. в 1-ю неделю после ее завершения (на 6–14-й дни цикла), чтобы ограничить задержку воды, вызванную гормональными колебаниями; повторный БИА для женщин должен проводиться в одни и те же дни менструального цикла;

- не рекомендуется посещать массаж и другие лимфодренажные процедуры за сутки до исследования;
- не следует проводить измерение сразу после чрезмерного потоотделения и после купания, принятия душа или ванны.

Стандартные условия, которые следует соблюдать при проведении процедуры БИА [5]:

- измерения следует проводить в определенное время суток, в одних и тех же условиях [одна и та же одежда (нижнее белье), натошак, до ФН и т.д.] для получения точных результатов;
- одежда (нижнее белье) должна быть сухой;
- следует соблюдать температурный режим в помещении и проводить измерение при комнатной температуре (~20–25 °C);
- на период проведения процедуры с нижних и верхних конечностей должны быть сняты металлические предметы (кольца, часы и браслеты), в случае присутствия металлических украшений в области шеи пациента, они сдвигаются в сторону подбородка; при измерении в положении лежа серьги и кольца на руках не мешают исследованию, так как находятся вне зоны прохождения измерительного тока; при измерении в положении стоя, когда электроды находятся в ручках анализатора, которые берут кистями рук, кольца с пальцев следует снять;
- участки кожи, которые будут соприкасаться с электродами, следует обработать спиртовым раствором, так как крем или масло на руках снижают проводимость и контакт с электродами;
- следует снять обувь, носки и колготки;
- при измерении в положении лежа на спине обследуемому рекомендуется провести лежа в покое 5–10 мин; при измерении в положении стоя – провести стоя 5–10 мин [данный период выбран в соответствии с рекомендациями Европейской ассоциации клинического питания и метаболизма (European Society for Clinical Nutrition and Metabolism, ESPEN, 2004 г.) для клинического применения БИА] [5];
- при проведении БИА принято использовать одноразовые биоадгезивные (т.е. самоклеющиеся) специализированные стандартные электроды (Bianostic AT с большой площадью прилегания 68×23 мм) либо их аналоги – кардиографические электроды под «крокодил» (например, Ambu BlueSensor 2330 с площадью прилегания 34×23 мм либо выпускаемые фирмами

Schiller и FIAB с площадью прилегания 23×23 мм); использование одноразовых биоадгезивных электродов с меньшей площадью контактной площадки может привести к потере точности биоимпедансных измерений, а применение многоразовых реографических электродов может давать несопоставимые результаты вследствие вероятности сдвига контактных площадок при неконтролируемых движениях кисти или стопы пациента в ходе измерений;

- при измерении в положении лежа на спине, когда используют клейкие одноразовые биоадгезивные электроды, расстояние между двумя электродами должно быть не менее 5 см, чтобы измерение было точным и воспроизводимым;
- электроды всегда следует размещать на одной и той же стороне тела, что снижает ошибку в результатах повторных измерений; как правило, при измерении в положении лежа на спине измерения проводятся на правой стороне тела, если используются 2 провода, и на обеих сторонах, если используются 4 провода для сегментного анализа;
- при измерении в положении лежа на спине следует правильно прикреплять к одноразовым электродам измерительный и токовый (приводящий) провода, отходящие от биоимпедансного анализатора (БИ-анализатора), с целью получения корректного результата измерительные провода крепятся по линии сочленения суставов, токовые – ближе к пальцам на кисти и плюсне;
- одноразовые электроды не должны быть просроченными или высохшими из-за долгого хранения вне упаковки;
- на руках и ногах в местах крепления электродов не должно быть никаких дефектов кожных покровов (шрамов), повреждений кожи или более глубоких открытых ран;
- при измерении в положении стоя руки должны быть отведены от туловища на 45°;
- как в положении лежа на спине, так и в положении стоя во время проведения процедуры не должно быть соприкосновения между областями нижних конечностей на всем протяжении (от промежности до стоп), поверхностями верхних конечностей (от подмышечных впадин до кистей) с латеральной поверхностью груди и живота измеряемого; если руки соприкасаются с туловищем и/или ноги соприкасаются между собой во время измерения, в местах соприкосновения следует проложить хлопчатобумажную ткань;
- непосредственно во время измерения нельзя разговаривать или двигаться.

Критерии относительного противопоказания к исследованию, связанные с риском получить некорректные результаты БИА:

- прием некоторых лекарственных средств, задерживающих жидкость в организме (гормоны, креатин);
- прием мочегонных средств;
- период беременности и кормления;

- наличие грудных имплантов (они увеличивают количество жировой массы в протоколе);
- наличие некоторых заболеваний, которые влияют на состояние мышечной ткани или водного баланса (например, сердечно-сосудистые заболевания, отеки при лимфостазе и прочего генеза, сахарный диабет, заболевания почек, заболевания печени, хроническая обструктивная болезнь легких, онкология в анамнезе);
- наличие острого воспалительного заболевания и повышенная температура тела;
- наличие в организме человека любых металлических конструкций (пластины, штифты и т.д.); при наличии металлических имплантов в костях правых конечностей исследование проводят на левой стороне тела (если левые конечности сохранены);
- отсутствие конечностей (ампутированные конечности).

Критерии абсолютного противопоказания к исследованию, связанные с риском для здоровья пациента при проведении БИА:

- наличие любого хирургически имплантируемого электронного устройства, поддерживающего работу систем жизнеобеспечения (электрокардиостимулятор, имплантированный сердечный дефибриллятор и подобные им) из-за возможного влияния переменного зондирующего тока на работу устройств.

При этом следует учитывать, что стандартные условия подготовки к измерению и самого измерения трудно соблюдать в условиях спортивных сборов, фитнес-центров, а также в клинической практике у некоторых групп пациентов. Например, спортсмены не всегда могут соблюдать все перечисленные стандартные условия подготовки к измерению. Спортсмены являются специфической группой населения, чьи ФН, режим сна и приема пищи напрямую зависят от периода тренировочно-соревновательного цикла, а также от сборов, переездов, фактора акклиматизации и пр. Так, во время проведения тренировочно-соревновательных сборов тренировки становятся частыми и более интенсивными, с максимальным временем на восстановление, но с минимальным количеством выходных дней. Также многие спортсмены могут не знать о необходимости исключения из рациона перед исследованием некоторых пищевых продуктов – влагоудерживателей или обезвоживателей, влияющих на водно-солевой баланс (сильно соленая, жирная и копченая пища, кофе).

Зачем нужны данные исследований, проводимых в альтернативных стандартным условиях измерения? Наличие интенсивных тренировок, день менструального цикла (у женщин), употребление в пищу некоторых продуктов могут повлиять на результаты оценки состава тела. Производители БИ-анализаторов заявляют, что несоблюдение условий измерения в любом случае отразится на его результатах, однако какие именно показатели изменятся в протоколе состава тела, не указывают. В этой связи исследования, связанные с нарушением стандартных условий измерения при про-

ведении БИА, могут быть полезными с целью общей осведомленности исследователей – специалистов по биоимпедансометрии – об изменениях, происходящих в протоколе состава тела по конкретным показателям, и о тенденциях их изменения (уменьшении или увеличении значений) в зависимости от конкретно нарушенного стандартного условия.

В связи с этим **целью** исследования было выявить, какие именно показатели изменяются в протоколе состава тела при несоблюдении тех или иных стандартных условий БИА, и оценить, можно ли считать корректными измерения, проведенные с нарушением одного из стандартных условий БИА, т.е. в альтернативных условиях.

Материал и методы

Для работы были отобраны статьи, в которых имеются какие-либо сведения об альтернативных стандартным условиям измерения состава тела с помощью БИА. Всего проанализировано 35 источников литературы, поиск по ключевым словам: «биоимпедансный анализ состава тела», «водные сектора организма», «параметры импеданса», «тип электрода», «кофеин», «наложение электродов», «потребление пищи и воды» – проводили по базам данных PubMed, Scopus, Web of Science, Elsevier и eLibrary.

Результаты

Влияние типа электрода на результаты измерения состава тела в положении лежа на спине. Одним из источников ошибок при оценке состава тела пациентов методом БИА в положении лежа на спине является использование разных типов биоадгезивных электродов. Поскольку для БИА часто используются электроды для регистрации электрокардиограммы, Y.M. Dupertuis и соавт. (2022) [7] провели сравнительную оценку показателей биоимпедансометрии, полученных на БИ-анализаторе Nutriguard-M (Data Input, Германия) с помощью 4 типов электродов: специализированного стандартного электрода для проведения БИА (Bianostic AT) с большой площадью прилегания и 3 моделей неспецифических электродов, предназначенных для регистрации электрокардиограммы (3M Red Dot 2330; Ambu BlueSensor 2300; Ambu BlueSensor SU-00-C) с различной площадью прилегания. Было показано, что измеренное значение активного сопротивления R находилось в пределах физиологического диапазона для всех мужчин (428–561 Ом) и женщин (472–678 Ом), независимо от типа используемых электродов. По сравнению со стандартным электродом электроды 3M Red Dot 2330 и Ambu BlueSensor SU-00-C давали значимо отличающиеся значения реактивного сопротивления и фазового угла (ФУ), но только электроды Ambu BlueSensor SU-00-C давали существенно отличающиеся значения скелетно-мышеч-

ной (СММ), тощей (ТМТ) и жировой массы тела (ЖМТ) при 50 кГц, со смещениями -0,2, -0,3 кг/м² и +1,4% соответственно. Чем выше была частота тока, тем ниже показатели реактивного сопротивления и ФУ, измеренные Ambu BlueSensor SU-00-C, по сравнению с величинами, определяемыми с помощью эталонного электрода. Авторы полагают, что эти различия обусловлены слишком маленькой площадью прилегания электрода Ambu BlueSensor SU-00-C (154 мм²) по сравнению со стандартным электродом сравнения (1311 мм²), и делают заключение, что использование электродов с небольшой площадью геля влияет на результаты БИА в положении лежа на спине. Поэтому при проведении исследований и описании результатов важно указывать тип электродов, с помощью которых проведено измерение, а также непосредственно перед исследованием рекомендуется провести сравнительные испытания перед заменой расходных материалов для оценки состава тела, чтобы обеспечить надежность БИА в клинических и экспериментальных условиях.

Влияние расстояния между электродами на результаты измерения состава тела в положении лежа на спине. На точность оценки состава тела с помощью БИА могут влиять методологические факторы, одним из которых является соблюдение определенного расстояния между прикрепляемыми биоадгезивными электродами. Для БИА всего тела требуется располагать электроды на тыльной поверхности стопы, лодыжки, запястья и кисти. J.R. Moon и соавт. (2010) [8] оценили различия результатов БИА при креплении электродов в 3 вариантах (стандартном креплении, при фиксированном расстоянии между электродами 5 см, при фиксированном расстоянии между электродами 5 см с использованием непроводящей токовой полоски), а также сравнили воспроизводимость результатов БИА при повторных ежедневных измерениях как при креплении электродов на фиксированном расстоянии (5 см), так и при стандартном размещении электродов. Как на кисти, так и на стопе использовали 3 варианта расположения электродов. На кисти использовали: 1) стандартное расположение [1-й электрод – дорсальная поверхность на уровне шиловидных отростков локтевой и лучевой костей, по середине суставной щели лучезапястного сустава (далее – дорсальная поверхность, в области лучезапястного сустава); 2-й электрод – дорсальная поверхность пясти, на 1 см проксимальнее пястно-фалангового сустава среднего (третьего) пальца]; 2) фиксированное расстояние в 5 см между центрами электродов без токопроводящей полоски (1-й электрод – дорсальная поверхность, в области лучезапястного сустава; 2-й электрод – дорсальная поверхность пясти, на 5 см дистальнее первого); 3) фиксированное расстояние в 5 см, электроды скреплены между собой не проводящей ток полоской (1-й электрод – дорсальная поверхность, в области лучезапястного сустава; 2-й электрод – дорсальная поверхность пясти, на 5 см дистальнее первого). На стопе использовали: 1) стандартное расположение [1-й электрод – дорсальная поверхность, между латеральной

(наружной) и медиальной (внутренней) лодыжкой, по середине суставной щели голеностопного сустава (далее – дорсальная поверхность, в области голеностопного сустава); 2-й электрод – дорсальная поверхность, на 1 см проксимальнее плюснефалангового сустава второго пальца стопы]; 2) фиксированное расстояние в 5 см между центрами электродов без токопроводящей полоски (1-й электрод – дорсальная поверхность, в области голеностопного сустава; 2-й электрод – дорсальная поверхность, на 5 см дистальнее первого электрода); 3) фиксированное расстояние в 5 см, электроды скреплены между собой не проводящей ток полоской (1-й электрод – дорсальная поверхность, в области голеностопного сустава; 2-й электрод – дорсальная поверхность, на 5 см дистальнее первого). По результатам исследования не было обнаружено достоверных различий между данными, полученными при БИА в 3 положениях электродов, однако лучшую воспроизводимость результатов оценки состава тела дали электроды с фиксированным расстоянием между ними в 5 см. Фиксированное расстояние уменьшает ежедневную стандартную ошибку измерения показателей БИА у мужчин, у женщин ошибка измерения не изменялась.

Влияние смены стандартного наложения электродов на результаты измерения состава тела в положении лежа на спине. В соответствии с рекомендациями ESPEN по клиническому использованию БИА, между приводящим и чувствительным электродами должно быть соблюдено расстояние не менее 5 см, а электроды всегда следует размещать на одной и той же стороне тела при повторных измерениях [5]. Стандартным размещением электродов является их крепление на дорсальной поверхности кисти (1-й электрод – в области лучезапястного сустава; 2-й электрод – на 1 см проксимальнее пястно-фалангового сустава среднего пальца) и дорсальной поверхности стопы (1-й электрод – в области голеностопного сустава; 2-й электрод – на 1 см проксимальнее плюснефалангового сустава второго пальца стопы). В более ранних исследованиях сообщалось [9], что перемещение 1-го электрода вдоль суставной щели лучезапястного и/или голеностопного суставов не влияет на результаты оценки состава тела, тогда как перемещение 1-го электрода дистальнее на 1 см приводит к значительному завышению показателя доли ЖМТ [9] по сравнению со стандартом размещение электродов. Перемещение 1-го электрода проксимальнее (выше по конечности) на 1 см приводит к изменению средних значений сопротивления тела человека на 2%, на 2 см – к изменению на 4%, что, в свою очередь, отражается увеличением показателя доли ЖМТ [10].

В рекомендациях ESPEN [5] также указано, что на руках и ногах в месте крепления электродов не должно быть никаких дефектов кожных покровов (шрамов), повреждений кожи или более глубоких открытых ран, а при их наличии следует изменить положение электродов. Насчет альтернативных мест крепления электродов четких указаний нет, что является пробле-

мой с учетом того, что точность и воспроизводимость результатов БИА зависят от позиционирования электродов на конечностях.

В 2 исследованиях коллектива авторов была проведена оценка, как изменение места крепления электродов влияет на показатели состава тела при БИА всего тела [11] и его сегментов [11, 12]. T.L. Grisbrook и соавт. (2015) [11] изучали, целесообразно ли размещение электродов не на дорсальной, а на противоположной вентральной поверхности конечностей, что могло бы служить альтернативой при БИА всего тела и сегментов в тех случаях, когда стандартное размещение электродов затруднено из-за повреждений кожи или наличия повязок. При проведении исследований использовали БИ-анализатор ImpediMed SFB7 (ImpediMed, Брисбен, Квинсленд, Австралия, «рука–нога», положение измерения – лежа на спине) и одноразовые пленочные электроды CA610 Kendall с площадью клейкой гелевой поверхности 10 мм². Для оценки различий результатов измерения компонентного состава всего тела БИА проводили с креплением электродов на правой стороне тела с использованием 4 различных их комбинаций в расположении: 1) стандартное тетраполярное расположение (дорсальное расположение электродов); 2) вентральное расположение электродов на руке и ноге; 3) вентральное размещение на руке и стандартное размещение на ноге; 4) стандартное размещение на руке и вентральное размещение на ноге. При вентральном расположении на руке 1-й электрод располагался в области лучезапястного сустава с внутренней стороны руки, 2-й электрод – на 1 см проксимальнее пястно-фалангового сустава среднего пальца на ладонной поверхности, т.е. оба электрода повторяли размещение стандартного расположения электродов, сменив свое положение с дорсального на вентральное. При вентральном расположении на ноге 2-й электрод находился на 1 см проксимальнее плюснефалангового сустава второго пальца стопы, но на вентральной (подошвенной) поверхности стопы; 1-й электрод располагался над ахилловым сухожилием. Для сегментарного анализа использовали как стандартные (протокол, предложенный В.Н. Cornish и соавт. (1999) [13], крепление электродов – дорсальное), так и альтернативные схемы наложения электродов, с которыми можно подробно ознакомиться в статье [11].

Результаты исследования всего тела показали, что альтернативное расположение электродов (3) существенно не влияло на результаты измерения, которые были сопоставимы со стандартным положением электродов (1). Все процентные различия в значениях измеренных переменных БИА были менее 2% (от 0,01 до 1,65%) и находились в пределах типичных индивидуальных вариаций, которые регистрируются у человека в течение дня и по показателю сопротивления тела составляют от 0,3 до 1,9% [14]. При этом по сравнению со стандартным тетраполярным расположением (1) альтернативные положения электродов (2 и 4) показали существенные различия при оценке всех переменных БИА, превысившие 2% в обоих случаях по сравнению со стандартным

положением: достоверно снизились значения активного и реактивного сопротивления организма, что привело к значительному увеличению показателей общей, вне- и внутриклеточной воды, а также ТМТ, и к достоверному снижению абсолютного показателя ЖМТ (в среднем на 1,1–1,2 кг). Результаты сегментного исследования показали, что для верхних конечностей не выявлено существенной разницы между стандартным и альтернативным положением электродов; для нижних конечностей альтернативное положение электродов на ноге по сравнению со стандартным положением, как и в случае БИА всего тела, значительно снижает значения активного и реактивного сопротивления организма, что приводит к значительному увеличению показателей общей, вне- и внутриклеточной воды, а также ТМТ, и к достоверному снижению абсолютного показателя ЖМТ.

Вентральное размещение электродов на руке совместно со стандартным (дорсальным) размещением электродов на ноге является допустимым альтернативным положением электродов при измерении как всего тела, так и сегментов, в том случае, когда такое измерение необходимо. Результаты БИА, полученные при размещении электродов на ноге в вентральной позиции, когда один из электродов крепится на место ахиллова сухожилия, значительно отличаются от полученных при стандартном креплении электродов, поэтому такое измерение не может считаться альтернативным.

D.O. Edwick и соавт. (2020) [12] провели исследование, в котором сравнили 4 позиции крепления электродов для проведения БИА верхних конечностей: 1) стандартная позиция – 4 электрода крепятся дорсально: на середину предплечья, область запястного сустава, область сустава среднего пальца и на 1-ю фалангу среднего пальца; 2) альтернативная позиция, когда электроды на предплечье и запястье крепятся с вентральной (ладонной) стороны руки; 3) альтернативная позиция, когда электроды области сустава третьего пальца и 1-й фаланги крепятся с вентральной (ладонной) стороны руки; 4) альтернативная позиция, когда все 4 электрода крепятся с вентральной (ладонной) стороны руки.

Исследование показало, что крепление электродов в позиции 2 приводит к значительным отличиям при измерении параметров БИА (диапазон различий 4,66–6,15%). При креплении электродов в положении 3 и 4 получаются сопоставимые со стандартным положением электродов результаты измерения общей и внеклеточной воды, т.е. положения электродов на ладони и ладонной поверхности предплечья (альтернативная позиция 4) или на ладони и тыльной стороне предплечья (альтернативная позиция 3) взаимозаменяемы при использовании в клинической практике.

Влияние положения тела при измерении на результаты оценки состава тела. E.C. Rush и соавт. (2006) оценили надежность БИА по типу «рука–нога» в 2 положениях: стандартном положении лежа на спине и нестандартном положении стоя, чего не предусматривает инструкция по эксплуатации используемого исследователями анализатора [15]. На 205 доброволь-

цах в возрасте от 6 до 89 лет (111 мужчин и 94 женщины) из 6 этнических групп изучали влияние позы при измерении, времени его проведения, а также возраста обследуемых на показатели сопротивления. Было показано, что значения полученного импеданса в положении лежа были стабильно выше, чем в положении стоя. При этом у детей в возрасте 5–14 лет разница сопротивлений была больше и постепенно уменьшалась к возрасту 60 лет с соотношения 1,031 до 1,016. На показатели также влияло время, проведенное в статическом положении: в положении стоя в течение 10 мин показатели сопротивления постепенно снижались (в среднем по группе на 5 Ом); в положении лежа в течение 10 мин показатели сопротивления постепенно повышались (в среднем по группе на 3 Ом). Авторы заключили, что в полевых условиях с помощью БИ-анализатора, предназначенного для измерения показателей импеданса в положении лежа на спине по типу «рука–нога», можно проводить БИА в положении стоя.

Влияние длительного состояния натошак на показатели состава тела. Еще в 1986 г., когда R.F. Kushner и D.A. Schoeller разрабатывали уравнения определения общей воды организма с помощью биоэлектрического импеданса [14], ими было показано, что общее сопротивление тела в течение дня изменяется в среднем на 1,3% (от 0,3 до 1,9%). Недельная вариабельность была немного больше, в среднем 2,2%, что авторы частично связывали с незначительным изменением массы тела, которое в среднем составило 1,6%. Несмотря на то что из публикации невозможно понять, линейны ли эти изменения и какую направленность имеют в течение дня, есть данные о том, что внутрисуточные колебания сопротивления организма – нормальное биомедицинское явление.

В связи с вышеуказанным интересно проследить динамику измерений состава тела в течение определенного времени, когда человек прошел первое измерение утром натошак, последующие измерения – без воздействия каких-либо посторонних факторов, а единственным фактором воздействия было время. Для этого рассмотрим результаты работы, отражающей изменение показателей состава тела и водных секторов организма в течение 5 ч, при соблюдении стандартных условий [16]. Измерения проведены на одном человеке (женщина, 34 года). В течение 5 ч с интервалом примерно 25–30 мин было проведено 10 измерений в стандартных условиях, натошак. От 1-го до 10-го измерения наблюдалось постепенное уменьшение показателей общей массы тела (на 0,3 кг), ТМТ (на 1,4 кг, 1,8%), СММ (на 1 кг, 1,3%), общей воды (на 1 кг, 1,3%), внеклеточной (на 0,5 кг, 0,6%) и внутриклеточной (0,6 кг, 0,8%) воды организма, а также увеличение ЖМТ (на 1,1 кг, 1,8%). Изменения в составе тела сопровождались перераспределением показателей ЖМТ и ТМТ (и ее составляющих), связанным с потерей массы тела во время жизнедеятельности в основном за счет воды, которая (при отсутствии в этот период времени мочеиспускания)

выделяется из организма в виде пота и с выдыхаемым воздухом. Потеря воды организмом отражается в протоколе БИА как понижение количества общей воды, что, в свою очередь, влечет за собой ряд изменений в последующих расчетах состава тела. После того как с помощью первичных параметров биоимпеданса (активного и реактивного сопротивления) рассчитывается количество общей воды, происходит расчет TMT (по формуле с учетом коэффициента постоянства гидратации TMT, равного 0,73). Если общая вода организма уменьшается, то, соответственно, уменьшается и количество TMT, а количество ЖМТ увеличивается.

Результаты исследования [16] показывают, что на результаты БИА влияет длительность нахождения обследуемого в состоянии натошак: чем дольше человек находится без пищи и воды, тем меньше становится его масса тела и нарастает состояние обезвоживания, что отражается на показателях состава тела увеличением ЖМТ и уменьшением TMT, активной клеточной массы (АКМ), СММ и водных секторов организма.

Далее рассмотрим результаты работы, касающейся оценки влияния потребления кофеина в разных дозировках совместно с 200 мл воды на компонентный состав тела, но обратим внимание на тенденции изменения показателей биоимпеданса и компонентного состава тела всех обследованных индивидов, так как авторы статьи не выявили достоверных различий по этим показателям между тремя группами, независимо от дозы потребленного кофеина [17]. Подобно предыдущему [16], в данном исследовании было показано, что с течением времени при периодических измерениях происходят следующие изменения в показателях: увеличиваются значения активного и реактивного сопротивления и доля ЖМТ, уменьшаются показатели TMT, общей, вне- и внутриклеточной воды. Вызывает сомнение, что такие изменения в течение 2 ч могло вызвать потребление 200 мл жидкости (в виде растворенного в воде кофе с различным содержанием кофеина). С учетом того, что скорость всасывания жидкости ограничена и колеблется от 300 мл за 15 мин на голодный желудок до 800 мл/ч – на полный, употребленное количество кофе должно было всосаться за первые 15–20 мин исследования и повлиять на общую массу тела, увеличив ее на 200 г, и на объем общей и внеклеточной жидкости, чего не произошло, согласно данным, представленным в статье [17].

С.В. Dixon и соавт. (2005) в своей работе, наравне с оценкой динамических изменений показателей БИА после употребления простой воды и углеводно-электролитного напитка, проводили контрольные измерения на группе, не употреблявшей в течение 1 ч никакой жидкости [18]. Было показано, что значения измеряемого импеданса постепенно повышались (при измерении на 1, 20, 40 и 60-й минуте) и между 1-м и 4-м измерением разница в показателях была статистически значима, хотя в абсолютных единицах сопротивление поднялось с 496,9 до 502 Ом и разница составила всего 6,1 Ом. При минимальном изменении массы тела в сторону умень-

шения повышение показателей импеданса отразилось увеличением доли ЖМТ с 11,75 до 11,95% (повышение недостоверное).

Результаты этих исследований [16–18] сопоставимы между собой и подтверждают гипотезу, что при обследовании человека в динамике в состоянии натошак с течением времени увеличиваются показатели импеданса и ЖМТ и снижаются показатели TMT, СММ и водных секторов организма.

Влияние потребления воды и пищи на показатели состава тела. В исследовании по оценке влияния употребления воды и пищи на показатели биоимпеданса и компонентного состава тела [19] был использован БИ-анализатор TANITA TBF300 (Tanita Corporation, Токио, Япония), измеряющий сопротивление тканей по схеме наложения электродов «нога–нога», положение при измерении – стоя. Во вводной части статьи авторы указывают на то, что БИА был бы более практичным инструментом для измерения состава тела в клинических условиях, диетической практике и эпидемиологических исследованиях, если бы обследуемым не приходилось соблюдать одно из стандартных условий измерения, а именно: приходиться на исследование натошак. Знания о влиянии потребления еды до измерения состава тела с помощью БИА важны в клинической практике в ситуациях, когда рекомендации по голоданию не могут быть применены (например, у пациентов, находящихся на зондовом питании).

В обследовании [19] приняли участие 55 здоровых взрослых [30 мужчин и 25 женщин; возраст $27,7 \pm 7,1$ года; индекс массы тела (ИМТ) $24 \pm 3,8$ кг/м²], которых разделили на 4 группы. Измерения состава тела проводили натошак, затем сразу после приема жидкости или пищи и далее каждые 30 мин в течение 2 ч с помощью одночастотного БИ-анализатора (30, 60, 90 и 120-я минута после употребления пищи или жидкости). Участники исследования опорожняли мочевой пузырь перед каждым измерением. Участники 1-й группы выпивали 750 мл негазированной минеральной воды; 2-й группы – 750 мл изотонического специализированного напитка для питания спортсменов Lucozade sport; лица из 3-й группы употребляли пищу с высоким содержанием углеводов (100 г белого хлеба, 50 г фруктового джема, 120 г банана); 4-й группы – с высоким содержанием жиров (40 г круассана, 90 г сыра чеддер, 20 г сливочного масла, 150 г жирного греческого йогурта). Выбор блюд обосновывался разницей в ионной силе и жирности блюд, что должно было повлиять на результаты измеренного биоимпеданса (сопротивления), а также на разную скорость эвакуации содержимого из желудка в кишечник. Ожидалось, что еда с высоким содержанием жиров будет влиять на показатели сопротивления организма, повышая их при БИА, а также дольше оставаться в желудке, что потенциально продлило бы ее влияние на показатели БИА по сравнению с едой с высоким содержанием углеводов. Также ожидалось, что электролитный напиток будет создавать более низкий импеданс в организме, чем вода.

Показано, что во всех группах, независимо от того, какая жидкость или продукты были употреблены, в течение 2 ч после их приема повышались показатели сопротивления организма и ЖМТ (как в абсолютных, так и в относительных величинах). Изменения зависели от состава рациона, но были столь незначительными, что укладывались в величину погрешности метода, и на этом основании авторами было рекомендовано проводить оценку состава тела в клинической практике, а также в масштабных эпидемиологических исследованиях, не соблюдая стандартного условия измерения натощак.

В исследовании по динамической оценке влияния употребления воды (591 мл) и углеводно-электролитного напитка (591 мл) на показатели биоимпеданса (в течение 60 мин: 1-е измерение – до употребления, следующие 3 измерения – на 20, 40 и 60-й минуте после употребления) принял участие 21 мужчина (возраст $19,7 \pm 1,0$ года; ИМТ $24,2 \pm 2,3$ кг/м²) [18]. После употребления воды или напитка было выявлено увеличение показателей сопротивления организма и уменьшение показателей общей воды организма от 1-го к 4-му измерению, хотя эти изменения не достигали уровня статистической значимости. Достоверным в этих группах было повышение доли ЖМТ от 1-го к 2-му измерению (с 11,7 до 12,2% в группе лиц, употреблявших воду, и с 11,8 до 12,3% в группе лиц, употреблявших углеводно-электролитный напиток) при незначимом постепенном уменьшении от 2-го к 4-му измерению в группе обследованных, употреблявших углеводно-электролитный напиток (12,3–12,25–12,2%), и волнообразном снижении в группе лиц, употреблявших воду (12,2–12,25–12,2%). На 60-й минуте доля ЖМТ была выше, чем значения, полученные до употребления какого-либо из 2 напитков. По результатам исследования авторы сделали вывод, что при измерении на БИ-анализаторе «нога-нога» употребление жидкости (воды или углеводно-электролитного напитка) не оказало влияния на импеданс нижней части тела, но оказало влияние на общую массу тела и долю ЖМТ.

Влияние потребления кофеина и черного чая с сахаром на показатели состава тела. Исключение из рациона питания продуктов и/или напитков, содержащих кофеин, является часто применяемым протоколом предварительного тестирования для обеспечения надежности БИА. Воздействию на параметры компонентного состава тела кофеина, кофеиносодержащих напитков и продуктов посвящено несколько работ [17, 20, 21].

Исследование J.F. Mota и соавт. (2021) [17], посвященное оценке влияния потребления кофе с различным количеством кофеина на показатели БИА, интересно не только динамикой компонентов и водных секторов, описанной ранее, но и двумя другими моментами: 1) были ли обнаружены достоверные различия в показателях состава тела и параметрах биоимпеданса у обследуемых 3 групп, употреблявших кофе в количестве 200 мл, но с различным количеством кофеина; 2) различался ли

объем порций мочи у участников разных групп и какой фактический объем порции был получен в каждом индивидуальном случае.

Исследование было проведено с участием 25 взрослых добровольцев в возрасте 18–59 лет с ИМТ от 18,5 до 29,9 кг/м², разделенных на 3 группы. В 200 мл потребляемого участниками этих групп кофе содержалось 0, 200 или 400 мг кофеина. БИА проводили шестикратно: натощак и далее после употребления кофе на 10, 30, 50, 70 и 90-й минутах. В исследовании был использован БИ-анализатор, измеряющий сопротивление тканей по схеме наложения электродов «нога-рука» в положении стоя. Авторами статьи было показано, что употребление порции кофе в объеме 200 мл, независимо от содержащейся в ней дозы кофеина, влияет на параметры БИА, однако авторы связали произошедшие изменения с потреблением жидкости в объеме 200 мл.

Что касается объема порций мочи, собранной за период проведения всех 6 измерений БИА, то он достоверно не различался между группами. В то же время при детальном изучении данных можно отметить, что индивидуальные и средние значения объема порций мочи незначительно увеличивались с возрастанием дозы потребляемого кофеина (с 200–760 мл, или $440,5 \pm 197,6$ мл, у участников, потреблявших кофе без кофеина, до 300–880 мл, или $471,8 \pm 171,9$ мл, в группе участников, потреблявших кофе с 200 мг кофеина, и до 200–800 мл, или $489,3 \pm 204,1$ мл, у лиц, получавших 400 мг кофеина, $p > 0,05$), даже при корректировке по массе тела и времени (соответственно $4,53 \pm 2,33$, $4,86 \pm 2,21$ и $5,10 \pm 2,54$ мл, $p = 0,720$). При этом следует дополнительно подчеркнуть: как средний объем порции мочи, так и некоторые индивидуальные значения не считаются физиологичными, хоть и не достигают максимальной (предельной) емкости мочевого пузыря.

В проведенном А.Б. Мирошниковым и соавт. исследовании (2022) [20] оценивали изменения, происходящие в организме при приеме 200 мл быстрорастворимого кофе и 200 мл пакетированного черного чая с 2 кусками сахара. Результаты исследования показывают, что в выборке молодых здоровых лиц без ожирения нарушение стандартизации БИА перед проведением тестирования (прием 200 мл воды с 1 чайной ложкой растворимого кофе) не оказало существенного влияния на полученные значения доли ЖМТ, СММ, АКМ, общей воды организма и ФУ. Прием аналогичного количества заваренного в течение 5 мин пакетированного черного чая с 2 кусками сахара статистически значимо изменял показатели доли АКМ и ФУ на протяжении 135 мин измерений. Причем в группе лиц с долей ЖМТ $9,0 [8,7; 9,05]\%$ при приеме черного чая с сахаром не выявлено статистически значимых изменений ни по одному показателю, а в группе лиц с долей ЖМТ $23,4 [22,6; 27,1]\%$ нарушение стандартизации приводило к статистически значимым разнонаправленным изменениям доли АКМ и ЖМТ, а также ФУ. Через 120 мин после употребления черного чая с сахаром доля АКМ статистически значимо увеличилась у 87,5%, а через 135 мин – у всех обследуемых.

Через 120 мин после употребления чая с сахаром значения ФУ статистически значимо увеличились у 62,5%, а через 135 мин – у 87,5% обследуемых. У 80% обследуемых доля ЖМТ статистически значимо снизилась через 135 мин после употребления чая с сахаром.

В исследовании, определяющем влияние потребления 200 мг кофеина на содержание жира и воды в организме у лиц, являющихся регулярными потребителями кофе, приняли участие 20 практически здоровых мужчин ($26,6 \pm 4,1$ года), которые были идентифицированы как постоянные потребители кофеина (≥ 1 порции 95 мг кофеина в день, ≥ 4 дней в неделю) [21]. Участники проходили обследование троекратно: 1-й визит служил контролем, измерение проводили натощак на фоне привычного пищевого рациона; во 2-й визит они получали капсулу плацебо, содержащую 200 мг декстрозы; в 3-й визит участники получали капсулу, содержащую 200 мг кофеина. Во время каждого визита проводили 7 многочастотных измерений на БИ-анализаторе InBody 770 (InBody USA, Серритос, Калифорния, США) до и спустя 15, 30, 45, 60, 75 и 90 мин после приема капсул. Было показано, что в контрольный день в организме обследуемых происходили изменения, аналогичные тем, что ранее были описаны при динамических наблюдениях в состоянии натощак [16–18]: достоверно увеличивалась доля ЖМТ (на 0,8%), уменьшались показатели общей и внутриклеточной воды организма при неизменившемся количестве внеклеточной воды организма. При этом при 2-м и 3-м обследовании изменения в компонентном составе тела были аналогичными: достоверно повысилась доля ЖМТ (на 1,2% как в группе участников, получавших плацебо, так и у получавших кофеин), снижались показатели общей и внутриклеточной воды организма при неизменившемся количестве внеклеточной воды организма. Проведенное обследование показало, что изменения, произошедшие в составе тела при потреблении 200 мг кофеина, не растворенного в жидкости или воде, не отличаются от изменений, происходящих на фоне приема плацебо или на фоне привычного рациона питания. На основании полученных результатов авторы сделали вывод о том, что для постоянных потребителей кофеина ограничение в кофе перед обследованием не должно являться строгой мерой подготовки. Однако следует учитывать, что в исследовании использовалась доза в 200 мг в форме капсулы, а не в качестве напитка, потребление которого может влиять на показатели БИА, как это было показано ранее [17].

Влияние физических упражнений на показатели состава тела. Отказ от ФН в течение 12 ч перед исследованием является одной из рекомендаций перед проведением БИА [4, 6].

При изучении влияния максимальных и субмаксимальных аэробных упражнений на процент жира в организме с использованием БИА были обследованы 63 здоровых, активно занимающихся спортом взрослых (31 женщина: возраст $20,0 \pm 1,4$ года, рост $164,8 \pm 5,9$ см, масса тела $62,4 \pm 10,0$ кг, ИМТ $23,0 \pm 3,4$ кг/м²;

32 мужчины – $20,7 \pm 1,7$ года, $175,1 \pm 9,5$ см, $79,2 \pm 11,3$ кг, $25,1 \pm 3,1$ кг/м² соответственно) [22]. Для БИА использовали 2 вида электронных весов с функцией анализа состава тела – 4-контактный БИ-анализатор Tanita TBF-300A (схема наложения электродов «нога–нога», положение при измерении – стоя) и 8-контактный БИ-анализатор Tanita BC-418 (схема наложения электродов «2 руки – 2 ноги», положение при измерении – стоя). Измерения состава тела были выполнены непосредственно перед тренировкой и в течение 5 мин после завершения аэробной тренировки. Результаты исследования показали, что после аэробной ФН достоверно снижаются показатель импеданса, масса тела, ЖМТ и доля ЖМТ (на 1,0–1,8% после максимальной и на 1,2–1,7% после субмаксимальной нагрузки как в мужской, так и в женской группах), а показатели ТМТ и общей воды организма достоверно увеличиваются при определении обоими БИ-анализаторами.

Исследование, касающееся изучения влияния силовой ФН на компонентный состав тела, измеренный с помощью двух БИ-анализаторов [22], интересно как с точки зрения оценки влияния ФН на показатели БИА, так и с точки зрения оценки влияния потребления 500 мл воды на показатели БИА в отсутствие ФН и каких-либо других факторов. В исследовании приняли участие 86 добровольцев в возрасте от 18 до 30 лет (45 женщин: возраст – $22,6 \pm 4,8$ года, рост – $162,7 \pm 6,2$ см, масса тела – $66,0 \pm 12,5$ кг, ИМТ $24,8 \pm 4,4$ кг/м²; 41 мужчина – $22,3 \pm 4,1$ года, $175,8 \pm 5,5$ см, $88,5 \pm 20,5$ кг, $28,6 \pm 6,1$ кг/м² соответственно). БИА проводили двукратно: в группе с силовой ФН – до и через 60 мин после интенсивной силовой нагрузки (схема из 8 упражнений по 10–12 повторений каждое, в 3 подхода); в группе сравнения – двукратно с интервалом в 60 мин, в течение которых обследуемые не выполняли никакой ФН.

Во время обследования каждый измеряемый выпил воду в объеме 500 мл. В основной группе потребление воды обеспечило профилактику обезвоживания, обусловленного силовой ФН; в группе сравнения – поддерживало валидность проведения сравнительного исследования. В группе сравнения, которая целый час не выполняла ФН, общая МТ увеличилась на 500 г. В группе с силовой ФН МТ к концу обследования увеличилась на 200 г у женщин, что говорит о потере 300 г массы тела за счет потери воды с потом и выдыхаемым воздухом за время часовой силовой тренировки при достаточном восполнении жидкости; у мужчин масса тела осталась прежней, что свидетельствует о потере 500 г массы тела и полном восполнении жидкости.

При оценке изменений, произошедших в основной группе при использовании 8-контактного БИ-анализатора выявлено значительное уменьшение ЖМТ, доли ЖМТ (женщины – на 0,9%; мужчины – на 1,4%) и показателя импеданса при одновременном возрастании ТМТ и общей воды организма после тренировки как в женской, так и в мужской группе. При использовании 4-контактного БИ-анализатора не было выявлено значимых различий по ЖМТ, доле ЖМТ, импедансу, ТМТ и общей

воде организма, хотя направленность изменения показателей была аналогичной выявленной при измерении 8-контактным БИ-анализатором.

Что касается влияния потребления 500 мл воды на показатели БИА, это исследование [22] подтвердило результаты предыдущих работ [18, 19], указывающие на повышение сопротивления организма, ЖМТ и доли ЖМТ, а также на уменьшение ТМТ, АКМ и СММ после употребления чистой воды. Эти результаты касаются измерений, проведенных как на 8-контактном, так и на 4-контактном БИ-анализаторе «нога–нога», практически не затрагивающем при измерении туловище. ЖМТ возросла как в мужской, так и в женской группе при измерении 4-контактным БИ-анализатором «нога–нога» на 0,5 кг в абсолютных и на 0,4% в относительных величинах у мужчин и на 0,3 кг и 0,4% у женщин; при измерении анализатором «2 руки – 2 ноги» этот показатель возрос на 0,5 кг и 0,5% у мужчин и 0,5 кг и 0,6% у женщин. Как уже было показано ранее, эти изменения покрываются процентом ошибки метода, однако должны быть учтены исследователями при проведении измерений, когда нарушено стандартное условие измерения натошак.

Исследование, оценивающее влияние аэробной и силовой ФН [22] на показатели БИА, продемонстрировало значительное снижение ЖМТ и значений импеданса при проведении измерения сразу после тренировки на сегментном 8-точечном анализаторе. Это подтверждает, что физические упражнения, независимо от режима энергообеспечения (аэробные или анаэробные), оказывают существенное влияние на показатели состава тела и оценку состояния гидратации организма, тем самым поддерживая традиционные рекомендации по соблюдению стандартных условий измерения в части исключения ФН перед проведением обследования.

Эти же авторы, подобно предыдущему исследованию, показали, что после 30-минутной циклической нагрузки на велотренажере доля ЖМТ статистически значимо уменьшается, причем это снижение напрямую зависит от интенсивности тренировки [23]. В то же время регистрируемая разница доли ЖМТ до и после нагрузки зависит от типа анализатора. Так, после тренировки достоверно значимое снижение доли ЖМТ было зарегистрировано как при использовании 4-контактного БИ-анализатора (тип измерения «нога–нога») [на 0,3% при 70% от максимальной частоты сердечных сокращений ($ЧСС_{\text{макс.}}$) и на 0,5% при 85% от $ЧСС_{\text{макс.}}$], так и при использовании 8-контактного БИ-анализатора («2 ноги – 2 руки») (на 0,8% при 70% от $ЧСС_{\text{макс.}}$ и на 1,4% при 85% от $ЧСС_{\text{макс.}}$), т.е. анализатор, измеряющий биоимпеданс по принципу «2 ноги – 2 руки», показал большие различия.

При оценке распределения жидкости в организме под действием ФН чаще всего пользуются тестами на велоэргометре или силовыми упражнениями с нагрузкой [24–26].

G. Sjogaard и соавт. (1982) показали, что внеклеточное водное пространство увеличивается в тренируемой

нижней конечности, но не в относительно неактивных мышцах верхней конечности [24]. В икроножной мышце нижней конечности, которая была активна во время упражнений на велосипеде (нагрузка, требующая около 120% максимального потребления кислорода $VO_2 \text{ max}$) после 9 мин нагрузки среднее общее содержание воды увеличилось с 313 мл/100 г ТМТ в состоянии покоя до 359 мл/100 г ТМТ после тренировки, а среднее содержание внеклеточной воды увеличилось с 33 до 60 мл/100 г ТМТ. Концентрация лактата в икроножной мышце увеличилась с 5,7 до 30,6 ммоль/л, а внеклеточная концентрация лактата составила 13,6 ммоль/л в конце нагрузки; градиент концентрации лактата способствовал поступлению воды во внеклеточное пространство из внутриклеточного. В относительно неактивной мышце (трицепс плеча) во время упражнений на велоэргометре содержание общей, внеклеточной воды и лактата было одинаковым до и после ФН.

Как было показано еще в 1995 г. [25], после физических упражнений (приседание со штангой) происходит уменьшение объема плазмы и значительное движение жидкости из сосудистого пространства во внесосудистое с последующим избирательным увеличением площади поперечного сечения только активных скелетных мышц. Данные были получены до тренировки и сразу после, а также через 15 и 45 мин после нее. Абсолютная потеря объема плазмы коррелировала с абсолютным увеличением площади поперечного сечения мышц сразу после тренировки, что подтверждает представление о том, что увеличение размера мышц после упражнений с отягощениями отражает в первую очередь движение жидкости из сосудистого пространства в активные, а не в неактивные мышцы.

Показано, что во время субмаксимальных циклических упражнений на велоэргометре гемоконцентрация, т.е. выход крови из сосудистого русла и приток ее к рабочим мышцам, происходит быстро (в течение 5 мин) и новый объем плазмы сохраняется, если рабочая нагрузка остается постоянной. Если же нагрузка является ступенчатой и нарастает постепенно, между потерей объема плазмы и рабочей нагрузкой во время выполнения упражнений с пошаговым циклом существует линейная зависимость, которая не зависит от температуры окружающей среды, состояния гидратации и уровня физической подготовки [26]. При оценке распределения объема плазмы при 2 разных скоростях педалирования (50 и 90 об/мин), но с одинаковой мощностью нагрузки (30-минутные велоэргометрические тесты с возрастающей ФН с 20 до 70% от пикового значения потребления кислорода, 6 ступеней нагрузки по 5 мин), было показано, что потери объема плазмы во время тренировки нарастали и напрямую зависели от интенсивности нагрузки, однако не различались достоверно в 2 группах и составили 7,0% при 50 об/мин и -7,6% при 90 об/мин. При этом время полного восстановления объема плазмы после окончания ФН было разным: у выполнявших тест с более высокой скоростью вращения педалей время обратного наполнения лимфатиче-

Изменения, происходящие с показателями сопротивления организма и состава тела при нарушении какого-либо из стандартных условий проведения биоимпедансного анализа состава тела (БИА)

Changes occurring with the body's resistance indicators and body composition when any of the standard conditions for conducting bioimpedance body composition analysis (BIA) are violated

Фактор, влияющий на результаты БИА <i>Factor influencing BIA results</i>	Показатель БИА / <i>BIA indicator</i>			
	сопротивление организма (R), Ом <i>body resistance (R), Ohm</i>	жировая масса тела, кг, % <i>body fat mass, kg, %</i>	общая вода организма, кг <i>total body water, kg</i>	тощая масса тела, кг <i>lean body mass, kg</i>
Аэробная физическая нагрузка / <i>Aerobic training</i>	↓	↓	↑	↑
Анаэробная (силовая) физическая нагрузка / <i>Anaerobic (strength) training</i>				
Смена стандартного положения электрода на нижней конечности (измерительный электрод на ахилловом сухожилии) <i>Changing the standard position of the electrode on the lower limb (measuring electrode on the Achilles tendon)</i>				
Смена положения тела с положения лежа на спине на положение стоя <i>Changing body position from lying on the back to standing position</i>				
Внутривенное вливание 1000 мл физиологического раствора <i>Intravenous infusion of 1000 ml of saline solution</i>				
Потребление воды / <i>Water intake</i>	↑	↑	↓	↓
Потребление пищи / <i>Food intake</i>				
Донорство 480 мл крови / <i>Blood donation (480 ml)</i>				
Маленькая площадь прилегания биоадгезивного электрода <i>Small contact area of the bioadhesive electrode</i>				
Длительное состояние натощак / <i>Prolonged state on an empty stomach</i>				
Потребление кофеина в капсулах / <i>Intake of caffeine in capsules</i>				
Потребление кофеина в качестве составляющей напитка <i>Intake of caffeine as a beverage</i>				
Потребление черного чая с сахаром / <i>Intake of black tea with sugar</i>				

ских сосудов было большим, о чем свидетельствовала разница в концентрации альбумина в плазме крови обследованных 2 групп.

Следовательно, проведение БИА с исключением тяжелой ФН за 12 ч до измерения является важным условием получения корректных результатов оценки состава тела.

Изменение показателей биоимпедансного анализа в клинических условиях. M.R. Scheltinga и соавт. (1991) [27] наблюдали изменения, произошедшие в показателях БИА, после внутривенной инфузии 1 л физиологического раствора, а также после донорства 48 мл крови. Инфузия физиологического раствора в течение 15 мин в количестве 1000 мл влияла на результаты БИА значительным уменьшением сопротивления и значительным увеличением показателя общей воды организма; при этом донорство крови в объеме 480 мл вызвало противоположные изменения – значительно увеличилось сопротивление организма и значительно уменьшился показатель общей воды организма.

Анализ результатов исследований по проведению БИА при нарушении какого-либо стандартного условия измерения показал, что результаты БИА напрямую зависят от типа используемых одноразовых биоадгезивных электродов [7], расстояния между 2 электродами [8], вентрального или дорсального места крепления электродов [11, 12], положения тела во время измерения

(положение лежа на спине, положение стоя) [15], длительности нахождения обследуемого в состоянии натощак с момента утреннего пробуждения [16–18], потребления пищи, некоторых видов жидкости, воды и кофеина [17–21], измерения сразу и в течение часа после ФН [22, 23], некоторых медицинских вмешательств, изменяющих объем жидкости в организме, например внутривенных вливаний или донорства крови [27].

Обобщение сведений, полученных при подготовке данной статьи, позволяет проследить следующие изменения и их тенденции, происходящие с показателями сопротивления организма и состава тела при нарушении какого-либо из стандартных условий при проведении БИА (см. таблицу).

После аэробной и анаэробной ФН, при смене стандартного положения электрода на нижней конечности [когда измерительный электрод перемещен с линии сочленения запястьев (вентральное положение) на ахиллово сухожилие (дорсальное положение)], при изменении положения тела из положения лежа в положение стоя, а также после внутривенного введения 1000 мл физиологического раствора показатели сопротивления организма и доли ЖМТ достоверно уменьшаются, а показатели общей воды организма, ТМТ, АКМ и СММ достоверно увеличиваются. Противоположные тенденции в изменении показателей были получены после потребления воды, пищи, донорства крови в объеме 480 мл, при

использовании биоадгезивных электродов с маленькой контактной поверхностью (площадью прилегания), при длительном (60–240 мин) исследовании натошак, а также при потреблении безводного кофеина в капсулах (200 мг, без растворения в воде, 60 мин), кофеина в качестве напитка и черного чая с сахаром: показатели сопротивления организма и доля ЖМТ достоверно увеличились, а показатели общей воды организма, TMT, АКМ и СММ достоверно уменьшились.

Заключение

Согласно данным проанализированных в статье работ, следует соблюдать стандартные условия подготовки к БИА и его проведения. Рекомендуется проводить БИА в утренние часы, в состоянии натошак (последний прием пищи осуществить накануне вечером в 19 ч), после 8-часового сна. При нарушении временного интервала от момента утреннего подъема до самого измерения, при условии, что обследуемый до сих пор находится в состоянии натошак, изменяется статус гидратации организма, происходит естественная потеря жидкости (с потом и выдыхаемым воздухом), что отражается на результатах оценки состава тела. Поэтому при измерении в течение дня нужно учитывать, что чем дольше длится состояние натошак, тем ниже будут показатели водных секторов организма и, соответственно, TMT, АКМ и СММ и выше – показатели ЖМТ.

Потребление воды и пищи, кофеина в капсулах и в качестве напитка и черного чая с сахаром непосредственно перед процедурой БИА, а также за 1–4 ч до процедуры увеличивает значения измеренного импеданса и доли ЖМТ и, соответственно, уменьшает значения водных секторов, TMT, АКМ и СММ, что следует иметь в виду при обследовании пациента, пришедшего не натошак на процедуру измерения.

Важным моментом является использование биоадгезивных электродов, так как их размер, место прикрепления к конечности, а также расстояние между измерительными и токовыми электродами играет важную роль в получении корректных результатов БИА.

Необходимо помнить, что результаты динамических измерений и их достоверность зависят и от прибора,

на котором производилось измерение состава тела. Было показано, что в некоторых случаях у одних и тех же обследованных на одном приборе были выявлены достоверные изменения в составе тела, а на другом достоверных изменений выявлено не было. Так, например, при измерении динамики на 8-контактном БИ-анализаторе изменения были выявлены, а при измерении на анализаторе «нога–нога» – нет, скорее всего, вследствие того, что сегментный 8-контактный анализатор проводит измерение с туловищем и лучше определяет распределение жидкости в организме, а также попадающую в желудок и кишечник пищу, тогда как анализатор «нога–нога» имеет принцип измерения, когда токи проходят только через ноги, затрагивая лишь нижнюю часть туловища, что может быть причиной недооценки перераспределения жидкости и нахождения дополнительной пищи и воды в желудке и кишечнике [22].

Изменение положения тела человека при измерении из положения лежа в положение стоя может быть применимо у индивидов, имеющих травму, ожог или ушиб [как на спине, так и на конечностях – ладонной и тыльной частях кисти, плантарной (подошвенной) и тыльной частях стопы, на протяжении всех конечностей] с невозможностью принять положение лежа на спине, если анализатор предназначен для измерения обследуемого в положении лежа. В клинической практике в некоторых случаях анализаторы с возможностью измерения методом наклеивания электродов к коже на конечностях имеют преимущества перед анализаторами с электродами в форме ручек (для контакта с руками) и стационарных платформ с электродами (для контакта с ногами).

Несмотря на то что все полученные изменения показателей сопротивления организма и состава тела, наблюдаемые после нарушения одного из стандартных условий измерения, практически всеми исследователями (кроме исследований по оценке влияния ФН) были приравнены к погрешности метода биоимпедансометрии, а также к различиям, получаемым при измерении на разных приборах, соблюдение стандартных условий является неотъемлемой частью проведения БИА. Считается допустимым проводить БИА с нарушением одного из стандартных условий измерения, если иное измерение невозможно, за исключением проведения БИА после ФН.

Сведения об авторах

Выборная Ксения Валерьевна (Kseniya V. Vybornaya) – научный сотрудник лаборатории антропонутириологии и спортивного питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: dombim@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4010-6315>

Никитюк Дмитрий Борисович (Dmitry B. Nikityuk) – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией антропонутириологии и спортивного питания, директор ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», профессор кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени 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

- Deurenberg P., Weststrate J.A., Paymans I., van der Kooy K. Factors affecting bioelectrical impedance measurements in humans // *Eur. J. Clin. Nutr.* 1988. Vol. 42, N 12. P. 1017–1022.
- Gallagher M., Walker K.Z., O'Dea K. The influence of a breakfast meal on the assessment of body composition using bioelectrical impedance // *Eur. J. Clin. Nutr.* 1998. Vol. 52, N 2. P. 94–97. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1600520>
- Pialoux V., Mischler I., Mounier R., Gachon P., Ritz P., Couder J., Fellmann N. Effect of equilibrated hydration changes on total body water estimates by bioelectrical impedance analysis // *Br. J. Nutr.* 2004. Vol. 91, N 1. P. 153–159. DOI: <https://doi.org/10.1079/bjn20031031>
- Heyward V.H., Wagner D.R. *Applied Body Composition Assessment*. 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2004. 268 p. ISBN: 9780736046305.
- Kyle U.G., Bosaeus I., De Lorenzo A.D., Deurenberg P., Elia M., Manuel Gómez J. et al. Bioelectrical impedance analysis – part II: utilization in clinical practice // *Clin. Nutr.* 2004. Vol. 23, N 6. P. 1430–1453. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.09.012>
- 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.
- Dupertuis Y.M., Pereira A.G., Karsegar V.L., Hemmer A., Biolley E., Collet T.-H. et al. Influence of the type of electrodes in the assessment of body composition by bioelectrical impedance analysis in the supine position // *Clin. Nutr.* 2022. Vol. 41, N 11. P. 2455–2463. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2022.09.008>
- Moon J.R., Stout J.R., Smith A.E., Tobkin S.E., Lockwood C.M., Kendall K.L. et al. Reproducibility and validity of bioimpedance spectroscopy for tracking changes in total body water: implications for repeated measurements // *Br. J. Nutr.* 2010. Vol. 104, N 9. P. 1384–1394. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114510002254>
- Dunbar C.C., Melahrinides E., Michielli D.W., Kalinski M.I. Effects of small errors in electrode placement on body composition assessment by bioelectrical impedance // *Res. Q. Exerc. Sport.* 1994. Vol. 65, N 3. P. 291–294. DOI: <https://doi.org/10.1080/02701367.1994.10607631>
- Elsen R., Siu M.-L., Pineda O., Solomons N.W. Sources of variability in bioelectrical impedance determinations in adults // *In Vivo Body Composition Studies* / eds K.J. Ellis, S. Yasumura, W.D. Morgan. London: Bocardo Press, 1987. P. 184–188.
- Grisbrook T.L., Kenworthy P., Phillips M., Gittings P.M., Wood F.M., Edgar D.W. Alternate electrode placement for whole body and segmental bioimpedance spectroscopy // *Physiol. Meas.* 2015. Vol. 36, N 10. P. 2189–2201. DOI: <https://doi.org/10.1088/0967-3334/36/10/2189>
- Edwick D.O., Hince D.A., Rawlins J.M., Wood F.M., Edgar D.W. Alternate electrode positions for the measurement of hand volumes using bioimpedance spectroscopy // *Lymphat. Res. Biol.* 2020. Vol. 18, N 6. P. 560–571. DOI: <https://doi.org/10.1089/lrb.2019.0078>
- Cornish B.H., Jacobs A., Thomas B.J., Ward L.C. Optimizing electrode sites for segmental bioimpedance measurements // *Physiol. Meas.* 1999. Vol. 20, N 3. P. 241–250. DOI: <https://doi.org/10.1088/0967-3334/20/3/302>
- Kushner R.F., Schoeller D.A. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis // *Am. J. Clin. Nutr.* 1986. Vol. 44, N 3. P. 417–424. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/44.3.417>
- Rush E.C., Crowley J., Freitas I.F., Luke A. Validity of hand-to-foot measurement of bioimpedance: standing compared with lying position // *Obesity*. 2006. Vol. 14, N 2. P. 252–257. DOI: <https://doi.org/10.1038/oby.2006.32>
- Выборная К.В., Соколов А.И., Раджаббадиев Р.М., Кобелькова И.В., Лавриненко С.В., Пузырева Г.А. и др. Сравнение показателей состава тела, полученных с помощью двух различных приборов для биоимпедансометрии // *Однораловские морфологические чтения. Сборник научных трудов, посвященный 120-летию со дня рождения профессора Н.И. Одноралова и 100-летию ВГМУ им. Н.Н. Бурденко*. Воронеж: Научная книга, 2018. С. 54–58. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32622739&pf=1> ISBN: 978-5-4446-1087-9.
- Mota J.F., Gonzalez M.C., Lukaski H., Oto G.L., Trotter C.F., Tibaes J.R.B. et al. The influence of coffee consumption on bioelectrical impedance parameters: a randomized, double-blind, cross-over trial // *Eur. J. Clin. Nutr.* 2021. Vol. 76, N 2. P. 212–219. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41430-021-00932-3>
- Dixon C.B., LoVallo S.J., Andreacci J.L., Goss F.L. The effect of acute fluid consumption on measures of impedance and percent body fat using leg-to-leg bioelectrical impedance analysis // *Eur. J. Clin. Nutr.* 2005. Vol. 60, N 1. P. 142–146. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602282>
- Androustos O., Gerasimidis K., Karanikolou A., Reilly J.J., Edwards C.A. Impact of eating and drinking on body composition measurements by bioelectrical impedance // *J. Hum. Nutr. Diet.* 2014. Vol. 28, N 2. P. 165–171. DOI: <https://doi.org/10.1111/jhn.12259>
- Мирошникова А.Б., Лапаева А.Г., Танникова О.С. Влияние приема кофеиносодержащих напитков на изменение показателей состава тела, измеренных биоэлектрическим импедансом // *Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта*. 2022. Т. 17, № 3. С. 146–154. DOI: <https://doi.org/10.14526/2070-4798-2022-17-3-146-154>
- Williamson C.M., Nickerson B.S., Bechke E.E., McLester C.N., Kliszczewicz B.M. Influence of acute consumption of caffeine vs placebo over Bia-derived measurements of body composition: a randomized, double-blind, crossover design // *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2018. Vol. 15. P. 7. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0211-5>
- Dixon C.B., Andreacci J.L. Effect of resistance exercise on percent body fat using leg-to-leg and segmental bioelectrical impedance analysis in adults // *J. Strength Cond. Res.* 2009. Vol. 23, N 7. P. 2025–2032. DOI: <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181b86735>
- Andreacci J.L., Nagle T., Fitzgerald E., Rawson E.S., Dixon C.B. Effect of exercise intensity on percent body fat determined by leg-to-leg and segmental bioelectrical impedance analyses in adults // *Res. Q. Exerc. Sport.* 2013. Vol. 84, N 1. P. 88–95. DOI: <https://doi.org/10.1080/02701367.2013.762314>
- Sjogaard G., Saltin B. Extra- and intracellular water spaces in muscles of man at rest and with dynamic exercise // *Am. J. Physiol.* 1982. Vol. 243, N 3. P. 271–280. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1982.243.3.r271>
- Ploutz-Snyder L.L., Convertino V.A., Dudley G.A. Resistance exercise-induced fluid shifts: change in active muscle size and plasma volume // *Am. J. Physiol.* 1995. Vol. 269, N 3. P. 536–543. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1995.269.3.r536>
- Pivarnik J.M., Montain S.J., Graves J.E., Pollock M.L. Alterations in plasma volume, electrolytes and protein during incremental exercise at different pedal speeds // *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1988. Vol. 57, N 1. P. 103–109. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf00691247>
- Schellinga M.R., Jacobs D.O., Kimbrough T.D., Wilmore D.W. Alterations in body fluid content can be detected by bioelectrical impedance analysis // *J. Surg. Res.* 1991. Vol. 50, N 5. P. 461–468. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-4804\(91\)90025-h](https://doi.org/10.1016/0022-4804(91)90025-h)

References

- Deurenberg P., Weststrate J.A., Paymans I., van der Kooy K. Factors affecting bioelectrical impedance measurements in humans. *Eur J Clin Nutr.* 1988; 42 (12): 1017–22.
- Gallagher M., Walker K.Z., O'Dea K. The influence of a breakfast meal on the assessment of body composition using bioelectrical impedance. *Eur J Clin Nutr.* 1998; 52 (2): 94–7. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1600520>
- Pialoux V., Mischler I., Mounier R., Gachon P., Ritz P., Couder J., Fellmann N. Effect of equilibrated hydration changes on total body water estimates by bioelectrical impedance analysis. *Br J Nutr.* 2004; 91 (1): 153–9. DOI: <https://doi.org/10.1079/bjn20031031>
- Heyward V.H., Wagner D.R. *Applied Body Composition Assessment*. 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2004: 268 p. ISBN: 9780736046305.
- Kyle U.G., Bosaeus I., De Lorenzo A.D., Deurenberg P., Elia M., Manuel Gómez J., et al. Bioelectrical impedance analysis – part II: utilization in clinical practice. *Clin Nutr.* 2004; 23 (6): 1430–53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.09.012>
- Nikolaev D.V., Smirnov A.V., Bobrinskaya I.G., Rudnev S.G. Bioelectrical impedance analysis of human body composition. Moscow: Nauka. 2009: 392 p. ISBN: 978-5-02-036696-1. (in Russian)
- Dupertuis Y.M., Pereira A.G., Karsegar V.L., Hemmer A., Biolley E., Collet T.-H., et al. Influence of the type of electrodes in the assessment of body composition by bioelectrical impedance analysis in the supine position. *Clin Nutr.* 2022; 41 (11): 2455–63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2022.09.008>
- Moon J.R., Stout J.R., Smith A.E., Tobkin S.E., Lockwood C.M., Kendall K.L., et al. Reproducibility and validity of bioimpedance spectroscopy for tracking changes in total body water: implications for repeated measurements. *Br J Nutr.* 2010; 104 (9): 1384–94. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114510002254>

9. Dunbar C.C., Melahrinides E., Michielli D.W., Kalinski M.I. Effects of small errors in electrode placement on body composition assessment by bioelectrical impedance. *Res Q Exerc Sport*. 1994; 65 (3): 291–4. DOI: <https://doi.org/10.1080/02701367.1994.10607631>
10. Elsen R., Siu M.-L., Pineda O., Solomons N.W. Sources of variability in bioelectrical impedance determinations in adults. In: K.J. Ellis, S. Yasumura, W.D. Morgan (eds). *In Vivo Body Composition Studies*. London: Bocardo Press, 1987: 184–8.
11. Grisbrook T.L., Kenworthy P., Phillips M., Gittings P.M., Wood F.M., Edgar D.W. Alternate electrode placement for whole body and segmental bioimpedance spectroscopy. *Physiol Meas*. 2015; 36 (10): 2189–201. DOI: <https://doi.org/10.1088/0967-3334/36/10/2189>
12. Edwick D.O., Hince D.A., Rawlins J.M., Wood F.M., Edgar D.W. Alternate electrode positions for the measurement of hand volumes using bioimpedance spectroscopy. *Lymphat Res Biol*. 2020; 18 (6): 560–71. DOI: <https://doi.org/10.1089/lrb.2019.0078>
13. Cornish B.H., Jacobs A., Thomas B.J., Ward L.C. Optimizing electrode sites for segmental bioimpedance measurements. *Physiol Meas*. 1999; 20 (3): 241–50. DOI: <https://doi.org/10.1088/0967-3334/20/3/302>
14. Kushner R.F., Schoeller D.A. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr*. 1986; 44 (3): 417–24. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/44.3.417>
15. Rush E.C., Crowley J., Freitas I.F., Luke A. Validity of hand-to-foot measurement of bioimpedance: standing compared with lying position. *Obesity*. 2006; 14 (2): 252–7. DOI: <https://doi.org/10.1038/oby.2006.32>
16. Vybornaya K.V., Sokolov A.I., Radzhabkadiy R.M., Kobel'kova I.V., Lavrinenko S.V., Puzyreva G.A., et al. Comparison of body composition indicators obtained using two different devices for bioimpedansometry. In: *Odnoralovsky Morphological Readings. A collection of scientific works dedicated to the 120th anniversary of the birth of professor N.I. Odnoralov and the 100th anniversary of VSMU named after N.N. Burdenko. Voronezh, Nauchnaya kniga*, 2018: 54–8. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32622739&ppf=1> ISBN: 978-5-4446-1087-9. (in Russian)
17. Mota J.F., Gonzalez M.C., Lukaski H., Oto G.L., Trottier C.F., Tibaes J.R.B., et al. The influence of coffee consumption on bioelectrical impedance parameters: a randomized, double-blind, cross-over trial. *Eur J Clin Nutr*. 2021; 76 (2): 212–9. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41430-021-00932-3>
18. Dixon C.B., LoVallo S.J., Andreacci J.L., Goss F.L. The effect of acute fluid consumption on measures of impedance and percent body fat using leg-to-leg bioelectrical impedance analysis. *Eur J Clin Nutr*. 2005; 60 (1): 142–6. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602282>
19. Androustos O., Gerasimidis K., Karanikolou A., Reilly J.J., Edwards C.A. Impact of eating and drinking on body composition measurements by bioelectrical impedance. *J Hum Nutr Diet*. 2014; 28 (2): 165–71. DOI: <https://doi.org/10.1111/jhn.12259>
20. Miroshnikov A.B., Lapaeva A.G., Tannikova O.S. The influence of taking caffeine-containing drinks on changes in body composition indicators measured by bioelectrical impedance. *Pedagogiko-psihologicheskie i mediko-biologicheskie problemy fizicheskoy kul'tury i sporta [Pedagogical-Psychological and Medical-Biological Problems of Physical Culture and Sports]*. 2022; 17 (3): 146–54. DOI: <https://doi.org/10.14526/2070-4798-2022-17-3-146-154> (in Russian)
21. Williamson C.M., Nickerson B.S., Bechke E.E., McLester C.N., Kłiszczewicz B.M. Influence of acute consumption of caffeine vs placebo over Bia-derived measurements of body composition: a randomized, double-blind, crossover design. *J Int Soc Sports Nutr*. 2018; 15: 7. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0211-5>
22. Dixon C.B., Andreacci J.L. Effect of resistance exercise on percent body fat using leg-to-leg and segmental bioelectrical impedance analysis in adults. *J Strength Cond Res*. 2009; 23 (7): 2025–32. DOI: <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181b86735>
23. Andreacci J.L., Nagle T., Fitzgerald E., Rawson E.S., Dixon C.B. Effect of exercise intensity on percent body fat determined by leg-to-leg and segmental bioelectrical impedance analyses in adults. *Res Q Exerc Sport*. 2013; 84 (1): 88–95. DOI: <https://doi.org/10.1080/02701367.2013.762314>
24. Sjogaard G., Saltin B. Extra- and intracellular water spaces in muscles of man at rest and with dynamic exercise. *Am J Physiol*. 1982; 243 (3): 271–80. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1982.243.3.r271>
25. Ploutz-Snyder L.L., Convertino V.A., Dudley G.A. Resistance exercise-induced fluid shifts: change in active muscle size and plasma volume. *Am J Physiol*. 1995; 269 (3): 536–43. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1995.269.3.r536>
26. Pivarnik J.M., Montain S.J., Graves J.E., Pollock M.L. Alterations in plasma volume, electrolytes and protein during incremental exercise at different pedal speeds. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1988; 57 (1): 103–9. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf00691247>
27. Scheltinga M.R., Jacobs D.O., Kimbrough T.D., Wilmore D.W. Alterations in body fluid content can be detected by bioelectrical impedance analysis. *J Surg Res*. 1991; 50 (5): 461–8. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-4804\(91\)90025-h](https://doi.org/10.1016/0022-4804(91)90025-h)

Для корреспонденции

Никитина Ксения Игоревна – врач-эндокринолог филиала
ГБУЗ МКНЦ имени А.С. Логинова ДЗМ МЦ
Адрес: 111123, Российская Федерация, г. Москва,
шоссе Энтузиастов, д. 86, стр. 6
Телефон: (495) 304-30-35, доб. 18-72
E-mail: nikitinaks@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0769-3845>

Никитина К.И.¹, Стрельникова Т.В.², Выходец И.Т.³, Абрамова Т.Ф.⁴, Никитина Т.М.⁴

Роль питания в профилактике нарушений костного метаболизма в спорте высших достижений

The role of nutrition
in the prevention of bone
metabolism disturbances
in high performance sports

Nikitina K.I.¹, Strelnikova T.V.²,
Vykhodets I.T.³, Abramova T.F.⁴,
Nikitina T.M.⁴

¹ Филиал государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Московский клинический научно-практический центр имени А.С. Логинова Департамента здравоохранения города Москвы» «Маммологический центр», 111123, г. Москва, Российская Федерация

² ООО «Клиника Будь Здоров», 107045, г. Москва, Российская Федерация

³ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 117997, г. Москва, Российская Федерация

⁴ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», 105005, г. Москва, Российская Федерация

¹ Branch of Moscow Clinical Scientific and Practical Center named after A.S. Loginov "Mammological Center", Department of Healthcare of the City of Moscow, 111123, Moscow, Russian Federation

² Clinic "Be Healthy", 107045, Moscow, Russian Federation

³ N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, 117997, Moscow, Russian Federation

⁴ Federal Science Center of Physical Culture and Sport, 105005, Moscow, Russian Federation

Современная профессиональная спортивная деятельность характеризуется высокими тренировочными и соревновательными нагрузками, которые являются фактором, влияющим на метаболизм костной ткани и приводящим к росту травматизма, в том числе за счет остеопоротических изменений.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Вклад авторов. Дизайн исследования – Выходец И.Т., Абрамова Т.Ф.; сбор и обработка материала, написание и редактирование, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Никитина К.И., Стрельникова Т.В., Выходец И.Т., Абрамова Т.Ф., Никитина Т.М. Роль питания в профилактике нарушений костного метаболизма в спорте высших достижений // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 1. С. 21–36. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-21-36>

Статья поступила в редакцию 03.08.2024. **Принята в печать** 15.01.2025.

Funding. The authors declare no sponsorship.

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

Contribution. Study design – Vykhodets I.T., Abramova T.F.; collection and processing of material, writing and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Nikitina K.I., Strelnikova T.V., Vykhodets I.T., Abramova T.F., Nikitina T.M. The role of nutrition in the prevention of bone metabolism disturbances in high performance sports. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (1): 21–36. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-21-36> (in Russian)

Received 03.08.2024. **Accepted** 15.01.2025.

Питание можно отнести к модифицируемым факторам, определяющим развитие и поддержание массы и качества кости. Коррекция питания спортсмена является важным механизмом, направленным на профилактику нарушений костного метаболизма в спорте высших достижений с целью снижения риска травм опорно-двигательного аппарата.

Цель работы – анализ современных научных публикаций, посвященных влиянию рациона питания взрослых спортсменов старше 18 лет на поддержание костного метаболизма.

Материал и методы. Обзор сделан на основе публикаций баз данных PubMed, Google Scholar, Cyberleninka, eLIBRARY. Предпочтение отдавалось международным рекомендациям, опубликованным за последние 10 лет в реферируемых источниках.

Результаты. В обзоре представлены актуальные данные о роли питания в поддержании количества и качества костной массы, учитывая, что процесс формирования скелета требует адекватного и постоянного поступления макро- и микронутриентов, среди которых белок, кальций, магний, фосфор, витамин D, цинк, железо, витамины A, C, K, E, группы B, полиненасыщенные жирные кислоты семейства ω -3. Важное место отводится сбалансированному по макронутриентному составу рациону питания, составленному с учетом энергетических потребностей, возрастающих при интенсивных физических нагрузках, что особенно актуально, учитывая отрицательное влияние ограничения поступления энергии на костный метаболизм вплоть до развития остеопороза. Рекомендована оценка рациона питания спортсмена с целью определения потребления достаточного количества основных пищевых веществ, оказывающих положительное влияние на костный метаболизм, с учетом систематических физических нагрузок. При необходимости в рацион питания спортсменов рекомендовано вводить обогащенные пищевые продукты и биологически активные добавки к пище для повышения его пищевой ценности.

Заключение. Сбалансированное питание, богатое витаминами, макро- и микроэлементами, направленное на профилактику снижения минеральной плотности костной ткани, необходимо спортсмену на протяжении всего периода профессиональной деятельности, в некоторых случаях в сочетании с дополнительным приемом витамина D, магния, кальция и фосфора.

Ключевые слова: спортсмены; минеральная плотность костной ткани; рацион питания; относительный дефицит энергии в спорте; спортивная медицина; макронутриенты; микронутриенты; витамины; кальций; магний; витамин D

Modern professional sports activities are characterized by high training and competitive loads, which are a factor affecting bone metabolism and leading to an increase in injuries, including due to osteoporotic disorders. Nutrition can be classified as a modifiable factor that determines the development and maintenance of bone mass and quality. Correction of athlete's nutrition is an important mechanism aimed at preventing disorders of bone metabolism in elite sports in order to reduce the risk of injuries of the musculoskeletal system. **The aim** of the research was to analyze modern scientific publications devoted to the influence of the diet of adult athletes over 18 years of age on the maintenance of bone metabolism.

Material and methods. The review is based on publications from the PubMed, Google Scholar, Cyberleninka, eLIBRARY databases. Preference was given to international recommendations published over the past 10 years in refereed sources.

Results. The review presents current data on the role of nutrition in maintaining the quantity and quality of bone mass, given that the process of skeletal formation requires an adequate and constant supply of macro- and micronutrients: protein, calcium, magnesium, phosphorus, vitamin D, zinc, iron, vitamins A, C, K, E, B vitamins, ω -3 polyunsaturated fatty acids. An important place is given to nutrition balanced in macronutrient composition, designed taking into account energy needs that increase with intense physical activity, which is especially important given the negative impact of limited energy intake on bone metabolism, up to the development of osteoporosis. It is recommended to evaluate the athlete's diet to determine whether he or she is consuming sufficient amounts of essential nutrients that have a positive effect on bone metabolism, taking into account systematic physical activity. If necessary, it is recommended to introduce fortified foods and dietary supplements into the athletes' diet to increase its nutritional value.

Conclusion. A balanced diet rich in vitamins, minerals and trace elements, aimed at preventing a decrease in bone mineral density, is necessary for an athlete throughout the entire period of professional activity, in some cases in combination with vitamin D, magnesium, calcium and phosphorus intake.

Keywords: athletes; bone mineral density; nutrition; relative energy deficiency in sport; sports medicine; macronutrients; micronutrients; vitamins; calcium; magnesium; vitamin D

Высокие тренировочные и соревновательные нагрузки спорта высших достижений, направленные на достижение максимального спортивного результата, способствуют росту числа травм опорно-двигательного аппарата у спортсменов [1–3]. В структуре видов травмы в общей популяции частота спортивной травмы составляет около 3% [4], в ней на долю стрессовых переломов приходится от 0,7 до 20% [5], локализация которых обусловлена видом спорта [6]. Следует отметить, что к одной из основных причин спортивной травмы можно отнести остеопоротические изменения у профессиональных спортсменов [1]. Таким образом, ухудшение качества кости вплоть до развития остеопороза (ОП), метаболического заболевания скелета со снижением костной массы, нарушением микроархитектоники кости с ростом риска возникновения переломов при минимальной травме, можно отнести к ведущим проблемам спортивной медицины [1, 2, 7].

Питание является важным модифицируемым фактором, определяющим развитие и поддержание количества и качества костной массы. Процесс формирования костей требует адекватного и постоянного поступления пищевых веществ, таких как белок, кальций, магний, фосфор, витамин D, калий и фтор, наряду с другими витаминами и минеральными веществами, участвующими в метаболических процессах костной ткани, включая марганец, медь, бор, железо, цинк, селен, кремний, стронций, витамины А, К, С, Е и группы В, полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) семейства ω -3 [7–12]. Таким образом, в рационе спортсмена важно присутствие основных пищевых веществ, оказывающих положительное влияние на костный метаболизм.

Цель работы – анализ современных научных публикаций, посвященных влиянию рациона питания взрослых спортсменов старше 18 лет на поддержание костного метаболизма.

Материал и методы

Обзор сделан на основе публикаций баз данных PubMed, Google Scholar, Cyberleninka, eLIBRARY. Предпочтение отдавалось международным рекомендациям, опубликованным за последние 10 лет в реферируемых источниках.

Энергетическая ценность рациона питания спортсмена может варьировать в широком диапазоне – от 2000 до 12 000 ккал в сутки, что обусловлено массой тела, видом тренировок, их интенсивностью и объемом [10]. Ограничение поступления энергии (Low energy availability, LEA), т.е. поступление энергии ниже 30 ккал на 1 кг тощей массы тела, может вызывать эндокринные, метаболические и физиологические нарушения регуляции: снижение натошак уровня тестостерона, инсулина, трийодтиронина, эстрадиола, лептина, синтеза инсулиноподобного фактора роста 1 (ИФР-1) в печени, изменение частоты и амплитуды пульсовой секреции лютеинизирующего и фолликулостимулирующего гормонов,

повышение концентрации кортизола [13–15]. Данные изменения оказывают негативное влияние на костный метаболизм. Особенно это характерно при длительно-сти дефицита энергии свыше 3 мес. Данное утверждение подкрепляется текущими исследованиями, которые показывают активацию резорбтивных процессов костной ткани и замедление остеосинтеза: выраженность изменений концентрации маркеров цикла костного ремоделирования и показателей функциональной активности эндокринных желез, влияющих на костный метаболизм, взаимосвязана с объемом и длительностью ограничения калорийности рациона питания [9, 14, 17]. По мнению Международного общества спортивного питания (International Society of Sports Nutrition, ISSN), 45 ккал на 1 кг тощей массы тела является пороговым уровнем для суточной калорийности с целью обеспечения оптимального поступления энергии, направленного на поддержание физиологических функций и массы тела у спортсменок [18] и оптимизацию костного обмена [9]. Ограничение поступления энергии в спорте может приводить к формированию синдрома триады женщины-спортсменки (The Female Athlete Triad, FAT), дополнительно включающего нарушение менструального цикла и снижение минеральной плотности костной ткани (МПКТ) вплоть до развития ОП [14, 17] с более негативным влиянием на здоровье именно дневных периодов низкого потребления энергии [18]. Данная проблема особенно актуальна в видах спорта, требующих контроля массы тела, где диета, направленная на ограничение массы тела, может привести к развитию ОП [1, 14, 17]. Распространенность подобного патологического состояния варьирует от 1,2 до 4,3% в зависимости от видов спорта, включенных в исследование, а расстройства пищевого поведения встречаются у 25–31% обследованных с наибольшим распространением среди гимнасток (до 62%) [17]. При этом в исследовании пищевого поведения у представительниц гимнастики, волейбола и легкой атлетики отмечена корреляция между необходимостью снижения массы тела и регулярным приемом пищи как методом контроля массы тела именно в группе гимнасток, которые были не удовлетворены своей массой тела ($r=0,449$; $p=0,013$) [19]. Ограничение поступления энергии приводит к развитию эндокринной дисфункции и нарушению костного метаболизма, повышает риск стрессовых переломов у лиц обоего пола [14, 20]. Однако частота стрессовых переломов в 3 раза чаще у спортсменов женского пола по сравнению с мужчинами [14] и в 2–4 раза у спортсменок с аменореей по сравнению со спортсменками без нарушения менструального цикла [17]. Анализ данных рандомизированного контролируемого исследования REFUEL длительностью 12 мес показал, что на фоне повышения потребления энергии на 20–40% от исходной потребности в энергии (≈ 352 ккал/сут) в течение 12 мес увеличивается частота менструации у спортсменок с олиго- и аменореей без улучшения МПКТ, что требует дальнейших исследований для уточнения последующей коррекции рациона [21]. Учитывая, что проблема дефицита питания

в спорте затрагивает спортсменов обоего пола, на данный момент синдром триады спортсменки определяют как синдром относительного дефицита энергии в спорте (Relative Energy Deficiency in Sport, RED-S) [16, 22]. Проблема синдрома RED-S наиболее актуальна среди боевых спортивных специализаций с весовыми категориями (борцы, боксеры), эстетических (гимнастика, танцы, фигурное катание) и циклических (бег на длинные дистанции, плавание, велоспорт, гребля, триатлон) видов спорта, а также хоккеистов и артистов балета [1, 9, 10, 14, 17, 22]. Таким образом, спортсмену рекомендовано потреблять выше 30 ккал на 1 кг тощей массы тела в сутки для минимизации негативного воздействия на костный метаболизм недостаточного питания [9], которое должно быть сбалансировано по макронутриентному составу.

Важным акцентом в питании спортсмена является ограничение поступления рафинированных легкоусвояемых углеводов с низкой пищевой плотностью (фастфуд, кондитерские, в том числе мучные, изделия, сахар и продукты из рафинированной муки) в связи с тем, что данная группа продуктов может потенциально снижать всасывание необходимых микронутриентов, в особенности кальция и витамина D [9]. Целесообразно также уменьшить потребление этанола, кофеина, фитиновой кислоты [8], натрия [23]. Большинство рекомендаций включает соблюдение питьевого режима и увеличение в рационе доли молочных продуктов, рыбы, орехов, фруктов и овощей (особенно зеленых листовых) как полезных источников основных пищевых веществ, поддерживающих костный метаболизм. При ограничении потребления определенных нутриентов, например вследствие пищевой непереносимости или предпочтений в еде, в рацион питания возможно добавление обогащенных пищевых продуктов и/или биологически активных добавок (БАД) к пище [9].

Белок является составляющей частью органического матрикса костной ткани, включающего в свою структуру коллаген, принимает участие в синтезе гормонов и факторов роста, которые определяют остеосинтез. Косвенное влияние белка на костную ткань заключается в поддержании мышечной массы, а также в повышении уровней циркулирующего ИФР-1, оказывающего анаболическое действие на костную ткань [24]. Основными источниками белка являются следующие пищевые продукты, расположенные в порядке убывания его содержания на 100 г продукта: сыр полутвердый, мясо кролика, бобовые, баранина, телятина, индейка, говядина, курятина, рыба, творог, орехи, свинина, яйца, кисломолочные продукты (йогурт, сметана, кефир), крупы, молоко [9, 25, 26]. Усвояемость белка из продуктов животного происхождения составляет 93–96%, из растительных – 62–80% [26]. В суточном рационе доля белка животного происхождения должна составлять 50% от общего количества потребляемого белка [26]. Исследования, проведенные за последние 30 лет, показали, что дополнительное потребление белка (1,4–1,8 г/кг в сутки), в 2 раза превышающее рекомендуемые суточ-

ные нормы (0,8–1,0 г/кг в сутки) и направленное на поддержание белкового баланса, может оказывать положительный эффект у спортсменов, занимающихся интенсивными тренировками [10, 27]. При потреблении недостаточного количества белка спортсменом, расчет потребления которого производится на фактическую массу тела, будет развиваться и поддерживаться отрицательный баланс азота в организме, что свидетельствует о катаболизме белка и медленном восстановлении. Со временем это может привести к истощению мышц, травмам, заболеваниям и снижению толерантности к физическим нагрузкам [10]. Суточное количество белка рекомендовано распределять между 3–4 приемами пищи, или каждые 3–4 ч в количестве 0,25–0,40 г белка/кг за 1 прием [10, 24]. Для развития и поддержания мышечной массы спортсмену требуется примерно 1,4–2,0 г белка/кг в сутки [10]. Для женщин-спортсменок на всех стадиях менструальной функции или принимающих оральные контрацептивы ежедневное потребление белка должно составлять 1,4–2,2 г белка/кг в сутки с его равномерным распределением в течение дня. Для спортсменок с сохраненным менструальным циклом в лютеиновую фазу вне зависимости от вида спорта целесообразно увеличить потребление белка примерно на 12% с целью компенсации его повышенного катаболизма под действием прогестерона. Увеличение количества белка в питании до 1,8–2,0 г белка/кг в сутки желательно и женщинам-спортсменкам в пери- и постменопаузе независимо от вида спорта [18]. Лучшими диетическими источниками высококачественного белка с низким содержанием жира являются куриная грудка без кожи, рыба, яичный белок, нежирные куски говядины и обезжиренное молоко (казеин и сыворотка) [10]. Потребление молочного белка с высоким содержанием лейцина и аминокислот с разветвленной цепью положительно влияет на состав массы тела и мышечную силу, ускоряет восстановление после физических нагрузок [28, 29]. На основании анализа данных последних исследований ученые пришли к выводу, что при достаточном обеспечении спортсмена лейцином и другими незаменимыми аминокислотами за счет поступления адекватного количества белка из разнообразных источников различия между животным и растительным белком нивелируются [30]. Во время высокоинтенсивных тренировок возможно увеличение потребляемого белка до 2,2 г белка/кг в сутки [9] за счет добавления в рацион спортсмена его различных изолированных источников [29, 31] (чаще всего из молочной сыворотки и сои) [31]. Следует отметить, что, по данным экспериментальных исследований на животных, показано разнонаправленное влияние соевого белка на МПКТ: его потребление приводило к повышению МПКТ, но в условиях дефицита поступления энергии отмечено снижение массы кости [32]. По данным систематического обзора, дополнительный прием взрослыми высокобелковых специализированных пищевых продуктов (СПП) для максимального прироста мышечной массы на фоне силовых тренировок рекомендован при условии

поступления в организм пищевого белка в количестве менее 1,6 г/кг в сутки [33]. У профессиональных футболистов потребление белка менее 1,2 г/кг в сутки вызывало повышение уровня остеокальцина в крови после кратковременных силовых тренировок [34], тогда как для общей популяции доказано, что высокие значения маркеров костного ремоделирования предсказывают более быструю потерю массы кости [7]. В периоды гипокалорийного питания лицам, тренирующимся с отягощениями, с целью максимального сохранения мышечной массы тела может потребоваться более высокое потребление белка – 2,3–3,1 г на 1 кг тощей массы тела в сутки. Потребление белка в количестве более 3,0 г/кг в сутки в сочетании с силовыми упражнениями может оказать положительное влияние на компонентный состав тела у лиц, тренирующихся с отягощениями, способствуя потере жировой массы [10]. Следует отметить, что белок обладает кальцийуретическим эффектом: на каждые дополнительные 50 г белка в рационе сверх физиологической нормы с мочой выводится 60 мг кальция, поэтому рацион, богатый белком, может приводить к отрицательному кальциевому балансу [35], что следует учитывать при составлении рациона питания спортсмена.

Углеводы. Низкоуглеводные диеты приводят к снижению уровня ИФР-1, маркеров формирования костной ткани, экспрессии факторов транскрипции, влияющих на остеобластогенез [9]. К основным источникам медленно усвояемых углеводов относят следующие пищевые продукты: цельнозерновые крупы и хлеб, макароны из твердых сортов, овощи, картофель, фрукты, ягоды [35]. Физиологическая потребность в усвояемых углеводах для взрослых составляет 56–58% от суточной калорийности, что соответствует для мужчин 301–551 г/сут и для женщин 238–435 г/сут [26]. В рационе спортсмена на долю углеводов должно приходиться 55–65% от суточной калорийности, или 5–8 г/кг в сутки [8, 10]. В период интенсивных тренировок количество углеводов может достигать до 8–12 г/кг в сутки для поддержания запасов гликогена в мышцах и печени. Для полного удовлетворения потребности в углеводах питание спортсмена должно быть 4–6-кратное, с перекусами между приемами пищи, что, однако, не всегда полностью покрывает затраты высококвалифицированных спортсменов [10]. В данном случае для покрытия энергетических трат можно рекомендовать дополнительно к основному рациону употребление высокоэнергетических СПП с высоким содержанием пищевых веществ, в том числе энергетических батончиков, высококалорийных углеводно-белковых СПП и БАД к пище [10, 36]. Следует уделить внимание приему углеводов женщинами-спортсменками с сохраненным менструальным циклом с учетом его фазы или получающим комбинированные оральные контрацептивы в недели их активного приема в связи с влиянием половых гормонов на углеводный обмен [18].

Жиры участвуют в поддержании энергетического баланса, обеспечивают пополнение запасов внутримышечных триглицеридов. Адекватное потребление

незаменимых жирных кислот важно для спортсмена. Диеты с высоким содержанием жиров лучше поддерживают концентрацию тестостерона в крови, положительно влияющего на метаболизм костной ткани, чем диеты с низким содержанием жиров [10, 37]. Основными источниками жиров являются следующие пищевые продукты: мясо, птица, субпродукты, рыба, морепродукты, масло, орехи, семечки, яйца, молочные продукты, авокадо [35]. В рационе спортсмена жиры должны составлять 30% от суточной калорийности [10], что соответствует физиологической норме потребления жиров для взрослых [26]. В период интенсивных тренировок (1–3 нед) возможно повышение доли жиров до 50% с уменьшением квоты углеводов в питании. С целью коррекции жировой массы тела спортсмена в сторону ее уменьшения жиры могут составлять 20% от суточной калорийности (0,5–1 г жиров/кг фактической массы тела в сутки) [10].

Значимой составляющей в профилактике патологии скелета, согласно федеральным клиническим рекомендациям по диагностике, лечению и профилактике ОП, является оптимальная обеспеченность витамином D и адекватное потребление кальция [7].

Витамин D – важнейший жирорастворимый витамин, синтезируемый в коже при экспозиции на солнце, а также поступающий в организм с пищей. Витамин D участвует в фосфорно-кальциевом обмене, усиливая усвоение кальция и способствуя росту и минерализации костей, оказывает иммуномодулирующее и антипролиферативное действие. Эффект витамина D на скелетные мышцы многогранен. Он участвует в митохондриальном метаболизме, сократимости, пластичности, дифференцировке мышечных волокон, а также нормализует соотношение кальция и фосфора, повышает количество нервно-мышечных синапсов и быстрых мышечных волокон [38]. Основными источниками витамина D являются такие продукты, как жирная рыба (скумбрия, лосось, сельдь, кижуч, нерка, тунец), сыр, яичные желтки, молочные продукты, витаминизированные продукты [9, 35]. Физиологическая потребность в витамине D согласно национальным методическим рекомендациям по рациональному питанию для взрослых составляет 600 МЕ, для лиц старше 65 лет – 800 МЕ [26]. Для обеспечения суточной дозы витамина D в количестве 600 МЕ необходимо потреблять 100 г дикого лосося либо 200–400 г лосося с фермы, 12 стаканов молока или 20 яичных желтков, что в действительности не всегда осуществимо [39]. В связи с этим, учитывая часто встречающийся дефицит витамина D (уровень 25-гидроксивитамина D [25(OH)D] ≤ 50 нмоль/л, или ≤ 20 нг/мл) в общей популяции и субпопуляции атлетов, распространенность которого среди взрослых спортсменов, по данным метаанализа, составляет 30% (95% доверительный интервал 22–39%) [31, 40, 41], необходимо корректировать рацион питания путем увеличения в нем продуктов, являющихся источниками витамина D, а также дополнительно восполнять его недостаточное поступление путем приема БАД к пище и витаминно-минеральных комплексов, содержащих данный витамин

в количестве, соответствующем физиологической потребности. Для лечения дефицита/недостаточности витамина D необходимо назначать препараты холекальциферола, руководствуясь клиническими рекомендациями Российской ассоциации эндокринологов [40]. Согласно обновленному практическому руководству Эндокринологического общества (Endocrine Society) по профилактическому применению витамина D от июня 2024 г., больше не одобряются конкретные уровни 25(OH)D для определения достаточности, недостаточности и дефицита витамина D, а также рутинный скрининг на уровень 25(OH)D именно у здоровых взрослых без установленных показаний, которым рекомендуется соблюдать суточную норму потребления данного витамина в дозе 600 МЕ (15 мкг) в возрасте до 70 лет и 800 МЕ (20 мкг) – лицам старше 70 лет [42]. Согласно национальным клиническим рекомендациям, профилактическая доза витамина D для взрослых в Российской Федерации отличается от европейских рекомендаций, что обусловлено географическим расположением большей части РФ в северной широте выше 35-й параллели, и составляет 800–1000 МЕ/сут [40]. Нет доказательств, что потребность в витамине D у спортсменов отличается от общей популяции [43]. В спортивной субпопуляции обеспеченность витамином D варьирует в зависимости от сезона и места тренировки, пола и цвета кожи спортсмена с большим риском снижения уровня 25(OH)D в видах спорта в зале; в зимний период тренировок; у спортсменов-женщин и спортсменов с темным цветом кожи [3, 5, 41, 43, 44]. Существуют отдельные рекомендации для спортсменов, имеющих неадекватный уровень витамина D, по дополнительному приему не менее 1500–2000 МЕ/сут витамина D, если разумное пребывание на солнце невозможно или нежелательно. Дополнительный прием препаратов холекальциферола в зимний период времени рекомендован всем спортсменам, проживающим и/или тренирующимся на территории выше 35° северной или южной широты [43]. Согласно метаанализу, статистически значимая разница в уровне витамина D отмечена исключительно для азиатских спортсменов, тренирующихся на открытом воздухе и в помещении (средняя разница 9,85 нг/мл, $p < 0,01$, общий размер выборки 303) [45], что указывает на необходимость дополнительного контроля концентрации 25(OH)D у спортсменов с учетом этнической принадлежности. Спортсменам рекомендован прием витамина D в дозе 1000 МЕ/сут в сезон осень–весна, учитывая, что добавки холекальциферола снижают риск острых респираторных инфекций [31, 44]. Однако, по данным Международного олимпийского комитета (МОК), специализированных рекомендаций по комплементарному добавлению витамина D спортсменам в настоящее время не разработано. С целью достижения адекватной концентрации 25(OH)D у спортсменов с диагностированным дефицитом можно использовать кратковременный прием холекальциферола в высоких дозах (50 000 МЕ в неделю в течение 8–16 нед или предпочтительнее 10 000 МЕ/сут в течение нескольких недель) под контролем уровня 25(OH)D в сыворотке крови [31]. Мнение МОК схоже с клиническими рекомендациями

Российской ассоциации эндокринологов по диагностике, лечению и профилактике дефицита витамина D у взрослых [40]. Предпочтительнее прием более низких доз витамина D ежедневно по сравнению с периодическим приемом его более высоких дозировок [42]. У спортсменов уровень 25(OH)D в крови ниже 30–50 нмоль/л (12–20 нг/мл) может соотноситься с повышенным риском травм [44]. Так, статус витамина D был ниже у футболистов, получивших травмы в течение сезона, чем у игроков без травм (50 против 63 нмоль/л) [43]. Ряд авторов отметили, что у спортсменов именно уровень биодоступного витамина D, рассчитанный на основании определения концентрации общего 25(OH)D и витамин D-связывающего белка, ассоциирован с уровнем МПКТ в позвоночнике, шейке и проксимальном отделе бедренной кости, оцененным с помощью двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (DXA), при отсутствии связи между концентрацией 25(OH)D в крови и МПКТ в любом отделе скелета [46]. Риск остеопоротических переломов ниже у ветеранов спорта, занимавшихся единоборствами или тяжелой атлетикой, чем у ветеранов циклических и скоростно-силовых специализаций, что, вероятно, обусловлено более высокими уровнями витамина D, тестостерона и индекса массы тела у атлетов, занятых в силовых видах спорта [47]. Прием холекальциферола спортсменами положительно влияет на аэробную выносливость, анаэробную мощность и силу [44]. Спортсменам, имеющим в анамнезе стрессовые переломы, частые респираторные заболевания, травмы опорно-двигательного аппарата, скелетные боли, слабость, признаки перетренированности, можно рекомендовать оценку обеспеченности витамином D [43].

Кальций (Ca) является основным макроэлементом, участвующим в процессах остеогенеза. 99% Ca организма депонируется в костях. Возможной причиной снижения МПКТ при длительных физических нагрузках, не связанных с весовыми отягощениями, может быть увеличение остеорезорбции, опосредованной активацией паратиреоидного гормона (ПТГ) на фоне нагрузок вследствие снижения уровня Ca в сыворотке, что, в свою очередь, происходит в результате потери данного макроэлемента через кожу, указывая на необходимость перед тренировкой употребления в пищу продуктов, содержащих Ca, или дополнительного перорального приема Ca [9]. Так, употребление внутрь (перорально) Ca в виде раствора в дозе 1000 мг/л за 20 мин до тренировки (велогонка на 35 км) у мужчин значимо подавляло рост секреции ПТГ [48], как и потребление молочных продуктов (1352±53 мг Ca) за 90 мин до продолжительной высокоинтенсивной тренировки на велотренажере у женщин, дополнительно снижая концентрацию маркеров резорбции костной ткани [49]. Следует отметить, что уровень ПТГ обычно повышается при концентрации 25(OH)D в крови ниже 25–50 нмоль/л и независимо соотносится с показателями МПКТ и риском стрессовых переломов у спортсменов [43].

Адекватный уровень Ca может поддерживаться в организме путем потребления в пищу продуктов, бога-

тых данным макроэлементом. Физиологическая потребность в Са для взрослых составляет 1000 мг/сут, для лиц старше 65 лет – 1200 мг/сут [26], которая может быть удовлетворена путем потребления не менее 3 порций молочных продуктов в день (одна порция: 150 г творога, 200 мл молока или кисломолочных продуктов, 150 г йогурта или 30 г твердого сыра) [40]; верхний допустимый уровень потребления данного макроэлемента – 2500 мг/сут [35]. Ежедневная норма потребления кальция у спортсменов обоих полов в возрасте 19–50 лет, по мнению ISSN и МОК, должна составлять 1000 мг [10, 31], а по данным отечественных авторов, может достигать 2700 мг/сут в зависимости от вида спорта [50]. Основными источниками Са являются следующие пищевые продукты: молочные и кисломолочные продукты (молоко, сыр, творог, йогурт и т.д.), листовая зелень, рыба, орехи, семена (кунжут), соевые бобы, белая фасоль [9, 35]. При необходимости возможно дополнительное назначение БАД к пище, содержащих Са, или пероральных форм препаратов Са для обеспечения суточной нормы потребления макроэлемента [7, 9, 40]. У спортсменов отмечено снижение частоты стрессовых переломов при ежедневном дополнительном приеме 2000 мг Са и 800 МЕ холекальциферола [51]. По данным консенсусного заявления МОК, для адекватного поддержания костного обмена у спортсменов с низкой энергетической доступностью или менструальной дисфункцией рекомендуется потребление 1500 мг Са и 1500–2000 МЕ витамина D в день [31]. Дополнительный прием Са способствует метаболизму жиров и помогает регулировать состав массы тела, но не оказывает эргогенного эффекта на результаты упражнений [10].

Важную роль в поддержании качества кости, помимо витамина D и кальция, играют такие минеральные вещества, как магний, калий, натрий, фосфор и железо [9, 11], и размер их суточной потребности для атлетов зависит от вида спорта, спортивной дисциплины/специализации и, соответственно, интенсивности физической нагрузки [10, 50, 52].

Магний (Mg) является макроэлементом, регулирующим минерализацию, равномерный рост, гибкость и прочность кости, тем самым увеличивая ее репаративный потенциал. Большая часть макроэлемента в организме депонируется в костях, играя важную роль в остеосинтезе [9]. Дефицит Mg способствует ухудшению метаболизма костной ткани напрямую, усиливая активность остеокластов и снижая активность остеобластов и косвенно оказывая негативное влияние на обмен витамина D, кальция, секрецию и активность ПТГ [9, 23]. Магний, как и кальций, активирует сигнальные пути β -катенина и Wntless (Wnt), способствуя регенерации кости, и дополнительно регулирует взаимодействие RANK/RANKL, снижая остеорезорбцию [23]. Основными источниками Mg являются следующие пищевые продукты: цельнозерновые продукты, бобовые, зеленые листовые овощи, семечки, орехи, авокадо, молочные продукты, киноа [9, 35]. Ежедневная физиологическая потребность в Mg для взрослых независимо от пола составляет 420 мг [26] при верхнем допустимом

уровне потребления – 800 мг/сут [35]. По мнению ISSN, рекомендуемое суточное потребление Mg может варьировать с учетом пола спортсмена: мужчины – 420 мг/сут, женщины – 320 мг/сут [10] с повышением суточных норм, по данным отечественных авторов, до 800 мг в зависимости от вида спорта [50]. Однако чрезмерное потребление магния может препятствовать образованию кристаллов гидроксиапатита из-за его конкуренции с кальцием, что приводит к снижению МПКТ [23]. Оптимальное соотношение Са : Mg в рационе питания составляет 1:0,5–0,4 [53]. Более высокое соотношение Mg к Са в рационе коррелирует со снижением частоты встречаемости ОП [11]. Потребление Mg может выступать независимым предиктором МПКТ: у профессиональных пловцов выявлена зависимость между потреблением Mg и МПКТ даже после внесения поправок на потребление других пищевых веществ (энергия, витамин D, Са, фосфор) [54]. У спортсменов, особенно в видах спорта, требующих контроля массы тела, низкое потребление магния (<260 мг/сут для мужчин и <220 мг/сут для женщин) может привести к развитию его дефицита [55]. По данным исследования, прием этого макроэлемента в дозе 300–500 мг/сут в течение 4 нед благотворно влиял на физическую работоспособность спортсменов, способствовал их более быстрому восстановлению после тренировок [55].

Фосфор. Макроэлемент фосфор (P) обнаруживается во всех клетках организма, преимущественно локализуясь в костной ткани и скелетной мускулатуре, играет важную роль в минерализации костной ткани; его низкий уровень провоцирует нарушение данного процесса [9, 35]. Компенсация низкого потребления макроэлемента в случае несостоятельности адаптивных мер организма происходит за счет перераспределения его костного депо в мягкие ткани [35]. Рационы с очень высоким содержанием фосфора, особенно в сочетании с низким потреблением Са с пищей, могут привести к повышению уровня ПТГ, что свидетельствует о его катаболическом воздействии на костную ткань [9]. Исследования показали, что прием дополнительных источников фосфата натрия (4 г/сут в течение 3 дней) улучшал аэробное энергообеспечение организма при выполнении физических упражнений на выносливость, тогда как другие формы фосфата (например, фосфат кальция, фосфат калия), вероятнее, имеют незначительную эргогенную ценность [10]. Основными источниками фосфора являются в большей мере белковые пищевые продукты: молочные продукты (молоко, йогурт и т.д.), мясо, птица, рыба, орехи, бобовые. Биодоступность фосфора из продуктов животного происхождения выше (примерно 60%), чем из продуктов растительного происхождения [9, 35]. Физиологическая потребность в фосфоре для взрослых составляет 700 мг/сут [26] при верхнем допустимом уровне потребления – 1600 мг/сут [35]. У спортсменов, по мнению ISSN, потребность в фосфоре – 700 мг/сут [10], по данным отечественных авторов, – 1250–3500 мг/сут с учетом вида спорта при возможном повышении суточных норм до 4000 мг, когда энергетические затраты достигают более 6000 ккал/сут

[50]. Оптимальное соотношение Са : Р в питании составляет от 1:1 [26] до 1:1,5 [53]. Исследования питания спортсменов показали нарушение оптимальных рекомендуемых соотношений данных элементов наряду с низким содержанием Са и витамина D [56].

Калий. Высокое потребление калия соотносится с увеличением костной массы. Большая часть воздействия калия на костную ткань может быть косвенной и обусловлена защитой от высокой кислотной нагрузки, которая может влиять на остеорезорбцию, способствуя выделению кальция в кровь. Потребление солей калия снижает резорбцию костной ткани и выведение кальция с мочой [9]. Калий регулирует баланс жидкости, передачу нервных импульсов и кислотно-щелочной баланс. Дополнительное поступление калия не оказывает эргогенных эффектов во время физических упражнений [10]. Основные источники калия представлены следующими пищевыми продуктами: бананы, брокколи, пастернак, брюссельская капуста, орехи и семена, рыба и моллюски, мясо [9, 35]. Рекомендованная норма потребления калия для взрослых в Российской Федерации составляет 3500 мг/сут [26]. У спортсменов, по мнению ISSN, суточная потребность в калии – 2000 мг/сут [10], которая, по данным отечественных авторов, может достигать 7000 мг/сут в зависимости от вида спорта [50].

Натрий. Гипонатриемия может оказывать отрицательное влияние на костный метаболизм [9]. Так, на модели синдрома неадекватной секреции антидиуретического гормона у грызунов показано снижение МПКТ за 3 мес гипонатриемии (~30% по сравнению с контрольной группой с нормонатриемией), вероятнее, за счет активации остеорезорбции и снижения остеосинтеза. По данным поперечного анализа состояния здоровья и питания взрослых лиц, легкая гипонатриемия связана с повышением риска развития ОП [9]. Основным источником натрия является пищевая соль (хлорид натрия) [25]. Физиологическая потребность в натрии для взрослых составляет 1300 мг/сут. При этом количество натрия, поступающего с пищей, не должно превышать 2 г/сут [26]. Чрезмерное потребление натрия относится к факторам риска развития артериальной гипертензии [26] и ОП [23].

Следует обратить особое внимание на то, что тренировки средней и высокой интенсивности значительно снижают уровень натрия, магния и калия, поэтому спортсменам рекомендован прием пищи, СПП в виде напитков и гелей, обогащенных данными макроэлементами, для восполнения их потерь [10].

Железо участвует в метаболизме витамина D и синтезе коллагена, оказывая влияние на костный метаболизм. Для лиц с нарушениями обмена железа характерны меньшая костная масса и более высокий риск остеопоротических переломов [9]. Железодефицитная анемия уменьшает образование костного матрикса и активирует остеорезорбцию с ростом концентрации ПТГ, сывороточного карбокситерминального (С-терминального) телопептида коллагена 1 типа (β -Cross laps) и тартратрезистентной кислой фосфатазы [57]. Боль-

шинство исследований показывает, что дополнительное поступление железа, по-видимому, не улучшает аэробные показатели, если у спортсмена нет недостаточности данного микроэлемента [10]. Основными источниками железа являются следующие пищевые продукты: печень (не во время беременности), мясо, бобовые, орехи, цельные злаки, сухофрукты, зеленые листовые овощи [9, 35]. Субпродукты, особенно печень, мясо животных и птиц являются его оптимальными источниками. Фитаты, содержащиеся в бобовых, ростках пшеницы, шпинате, чечевице, зелени свеклы, ухудшают абсорбцию железа из данных пищевых продуктов, и напротив, кислоты: яблочная, лимонная или аскорбиновая, которыми богаты морковь, свекла, репа, тыква, картофель, брокколи, помидоры, цветная и белокочанная капуста (свежая и квашеная), – повышают усвоение железа из указанных пищевых источников [35]. Физиологическая потребность в железе для взрослого населения составляет 10 мг/сут для мужчин и 18 мг/сут для женщин [26], что соответствует рекомендациям МОК и ISSN для спортсменов [10, 31], при верхнем допустимом уровне потребления данного микроэлемента – 45 мг/сут [35]. По данным отечественной литературы, потребность в железе у спортсменов может составлять от 20 до 45 мг/сут в зависимости от спортивной специализации [50]. Спортсменам с дефицитом железа может потребоваться дополнительный прием пероральных препаратов железа, что требует клинического наблюдения [31].

Потребление других витаминов и микроэлементов в соответствии с физиологической потребностью также необходимо для оптимального протекания метаболических процессов в костной ткани, включая витамины А, С, К, Е и группы В, цинк, медь, ванадий, марганец, кремний, селен, йод, стронций, кобальт, бор, фтор, а также ПНЖК ω -3, каротиноиды, среднесуточные нормы потребления которых у спортсменов старше 18 лет, по данным отечественных и зарубежных авторов, не отличаются от общепопуляционных норм для взрослого населения или на данный момент точно не определены для представителей спортивной субпопуляции [10, 26, 31, 50]. Однако следует отметить, что систематические высокоинтенсивные физические нагрузки повышают потребность в ряде витаминов и минеральных веществ у спортсменов [50, 52, 58].

ПНЖК ω -3 представляют собой группу кислот, определяемых двойной связью у третьего атома углерода от метильного конца углеродной цепи. В связи с отсутствием необходимого фермента, ω -3 ПНЖК не могут синтезироваться в организме человека и должны поступать с пищей. На клеточном уровне жирные кислоты не только структурно важны, поскольку являются основным компонентом клеточных мембран, они также играют важную роль в ряде метаболических процессов, таких как регулирование активности определенных ферментов и действие в качестве сигнальных молекул [59]. Учитывая тот факт, что хроническое воспаление может нарушать физиологические процессы в костной ткани, способствуя ее резорбции, адекватное потреб-

ление ω -3 ПНЖК необходимо ввиду снижения уровней провоспалительных простагландинов и цитокинов [8], напротив, более высокое потребление ПНЖК семейства ω -6 по сравнению с ω -3 может способствовать развитию хронического воспаления [60]. Отмечено, что более высокое потребление ПНЖК, включая ω -6 и ω -3, может способствовать повышению МПКТ и снижению риска переломов [60]. Физиологическая потребность в ПНЖК для взрослых, согласно методическим рекомендациям по рациональному питанию, составляет 6–10% от калорийности суточного рациона, где на долю ω -3 ПНЖК приходится 1–2%, т.е. 250 мг/сут для незаменимых ПНЖК семейства ω -3 (докозагексаеновая и эйкозапентаеновая кислоты) [26]. По данным консенсусного заявления МОК, потребление ПНЖК ω -3 в количестве 2000 мг/сут может способствовать синтезу мышечного белка и более продуктивному восстановлению мышц после физических нагрузок, но, учитывая данные о возможных побочных эффектах при приеме добавок с ω -3 ПНЖК, адекватными будут рекомендации по потреблению пищевых источников ПНЖК, таких как жирная морская рыба [31], потребление которой связано со снижением риска стрессовых переломов по результатам рандомизированных контролируемых исследований [60]. Основными источниками ω -3 ПНЖК являются следующие пищевые продукты: жирная морская рыба (сельдь, лосось, макрель, сардины, скумбрия, анчоусы), семга, тунец, форель, рыбий жир, льняное масло и семя, авокадо, грецкие орехи, растительные масла [35]. Анализ 2023 г. публикаций о пользе ПНЖК ω -3 в спорте показал, что возможно применение добавок ПНЖК ω -3 (эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты) в рекомендованных режимах дозирования (например, 2000 мг/сут), однако требуется дополнительное изучение их эффективных доз и длительности приема спортсменами [61].

Цинк играет важную роль в минерализации и синтезе органического матрикса кости, регулирует белковый, жировой, углеводный, энергетический и витаминный обмен. Цинк важен для осуществления физиологического действия витамина D на кальций, косвенно оказывая влияние на секрецию ПТГ [9, 35], для функционирования иммунной системы [10]. Цинк минимизирует изменения иммунной системы, вызванные физической нагрузкой: прием БАД к пище, содержащего 25 мг цинка и 1,5 мг меди, 2 раза в день в течение 6 дней снижал образование активных форм кислорода на фоне физической нагрузки [10, 62]. Основные источники цинка представлены следующими пищевыми продуктами: устрицы, печень, говядина, язык, желток яйца, индейка, утка, баранина, бобовые, орехи, семена, соевый лецитин [9, 35]. Суточная норма потребления цинка для спортсменов, по данным ISSN, составляет 11 мг для мужчин и 8 мг для женщин [10], что в целом соответствует физиологической потребности для взрослых, установленной в Российской Федерации, – 12 мг/сут [26] при верхнем допустимом уровне потребления – 40 мг/сут [35].

Медь обеспечивает активность ферментов для увелечения «сшивания» молекул коллагена и эластина [9],

участвует в активации сигнального пути β -катенина и в подавлении передачи сигналов Wnt [23]. У лиц с низким уровнем ее потребления может быть нарушена минерализация костной ткани [9]. Дефицит меди может также приводить к развитию анемии, прибавке массы тела, увеличению частоты таких инфекционных заболеваний, как грипп, пневмония, ухудшению координации движений и энергодефицитным состояниям [31]. Биодоступность меди уменьшается при высоком потреблении цинка. Поступление цинка в организм в дозировке 150 мг/сут в течение 2 лет приводит к развитию дефицита меди. Абсорбция меди возрастает при низком уровне потребления цинка, однако высокое потребление меди не влияет на всасывание цинка [35]. Основными источниками меди являются следующие пищевые продукты: печень, мидии, орехи, какао, шоколад, плоды шиповника, земляника, крыжовник, грибы, бобовые, сыр, греча, зелень, пшеничные отруби и зародыши, пивные дрожжи [9, 35]. Физиологическая потребность в меди для взрослых составляет 1 мг/сут [26] при верхнем допустимом уровне потребления – 5 мг/сут [35].

Стронций входит в состав гидроксиапатита, оказывает костеобразующее действие [11, 63], напротив, его высокие концентрации могут угнетать процесс оксификации [53]. Применение лекарственных препаратов на основе стронция в терапии ОП ограничено из-за высокого риска сердечно-сосудистых осложнений и тромбоэмболий [7].

Ванадий способствует процессу оксификации костей и зубов [35]. У пациентов с сахарным диабетом 2 типа ванадий улучшает контроль уровня глюкозы, однако влияние ванадилсульфата на мышечную массу, силу или мощность не доказано [10]. Основными источниками ванадия являются следующие пищевые продукты: рыба, морепродукты, печень, петрушка, семя укропа, грибы, черный перец, соя, хлебные злаки [35]. Адекватный уровень потребления ванадия для взрослых составляет 15 мкг/сут [26] при верхнем пределе безопасного потребления 100 мкг/сут [35]. По данным ISSN, суточные нормы потребления ванадия для спортсменов не определены [10].

Бор. Физиологическое действие бора на костную ткань, возможно, связано с воздействием на метаболизм витамина D и эстрогенов, улучшением реабсорбции кальция и магния почками, регуляцией обмена макро- и микроэлементов (магний, калий, медь, цинк), участвующих в костном метаболизме [9, 35], и, возможно, с модуляцией сигнального пути Wnt/ β -катенин [23]. Дополнительные источники бора (3 мг/сут) повышали уровни β -эстрадиола и тестостерона у женщин в постменопаузе, соблюдающих диету с его низким содержанием [10]. Особенно бор эффективен при дефиците витамина D, магния и калия [63]. Дополнительное потребление бора (2,5 мг/сут в течение 7 нед) во время силовых тренировок не показало эргогенной ценности. Нет доказательств, что добавки бора во время силовых тренировок способствуют росту мышц [10]. Основные источники бора представлены следующими пищевыми про-

дуктами: фрукты (виноград, чернослив), орехи (миндаль, фундук, бразильские и грецкие орехи, кешью), бобовые (фасоль, чечевица), груши, морковь, листовые овощи, яблоки, вино, пиво, сидр [9, 35]. Среднесуточная физиологическая потребность в боре для взрослых составляет 0,5–3,1 мг [35], у спортсменов, по данным ISSN, – не установлена [10]; верхний предел безопасного потребления бора – 4,0 г/сут [35].

Марганец. Дефицит марганца связан со снижением костной массы, что, возможно, объясняется его участием в образовании регуляторных гормонов костной ткани и некоторых ферментов, участвующих в костном метаболизме. Марганец задействован в активации процессов тканевого роста и регенерации [9, 35]. Основными источниками марганца являются следующие пищевые продукты: орехи (арахис, фундук, пекан), бобовые, цельнозерновые, черная смородина, черника, шпинат, чай, отруби, каштаны, зеленые овощи [9, 35]. Физиологическая потребность в марганце для взрослых составляет 2 мг/сут [26] при верхнем допустимом уровне потребления – 11 мг/сут [35].

Кремний содержится в остеобластах, участвует в формировании органической матрицы кости на начальных этапах оссификации [35], играя важную роль в инициации минерализации [9], необходим для синтеза сиалопротеинов кости [11]. Основными источниками кремния являются следующие пищевые продукты: шелуха злаковых растений, кожура фруктов, чеснок, лук, бананы, стручковая фасоль, цельнозерновые, корнеплоды, рис [9, 35]. Адекватный уровень потребления кремния для взрослых составляет 30 мг/сут [26]. Средняя западная диета содержит 21–46 мг/сут кремния [35].

Селен (Se) является компонентом Se-зависимых антиоксидантных ферментов. Селен оказывает противовоспалительное действие, ингибируя активность интерлейкина-6 и цитокинов. Селенопротеины – переносчики селена в кость – экспрессируются в остеокластах и остеобластах. Данный микроэлемент принимает участие в функционировании щитовидной железы, входя в состав Se-зависимых йодтирониндейодидаз и глутатионпероксидаз. Дефицит селена может повышать уровень внутриклеточных активных форм кислорода, интерлейкина-6 и цитокинов, участвующих в патогенезе ОП, гормонов щитовидной железы, активируя костный метаболизм и повышая риск развития ОП. Более высокая распространенность ОП ассоциирована с дозозависимым снижением уровня потребления селена с пищей [13]. Хотя селен снижает перекисное окисление липидов во время аэробных упражнений, он не продемонстрировал улучшения аэробных возможностей [10]. Основными источниками селена являются следующие пищевые продукты: морская рыба и морепродукты (креветки, крабы и т.д.), субпродукты (печень, почки), мясо, цельнозерновые, молочные продукты, фрукты, овощи [35]. Среднесуточная норма потребления селена для спортсменов, по мнению ISSN, составляет 55 мкг независимо от пола [10], что в целом схоже с физиологической потребностью в данном микроэле-

менте для взрослых в Российской Федерации: 70 мкг для мужчин и 55 мкг для женщин [26] при верхнем допустимом уровне потребления – 150 мкг независимо от пола [35].

Фтор оказывает костеобразующее действие [63]: образует центры кристаллизации гидроксиапатита совместно с кальцием и магнием, инициирует минерализацию костной ткани [26, 35]. Основными источниками фтора являются следующие пищевые продукты: чай, морская рыба (сардины, макрель, лосось, сельдь, треска), почки, телячья печень, яблоки, яйца [35]. Адекватный уровень потребления фтора для взрослых составляет 4 мг/сут [26] при верхнем допустимом уровне потребления – 10 мг/сут [50].

Йод участвует в образовании гормонов щитовидной железы, играющих роль в процессе роста и дифференцировки тканей всего организма, митохондриальном дыхании, регуляции трансмембранного транспорта натрия и гормонов. Дефицит йода приводит к отставанию в росте у детей [26, 35]. Гипотиреоз замедляет костный обмен [37]. Содержание йода составляет, в мкг на 100 г продукта: морские сорта рыб и морепродукты – 160–130, желток яйца – 33, фасоль – 12,1, молоко – 9 [35]. Физиологическая потребность в йоде для взрослых составляет 150 мкг/сут [26] при верхнем допустимом уровне потребления – 300 мкг/сут [35]; токсическая доза йода – 2000 мкг/сут [35]. Следует обратить внимание на то, что реализация биологических функций йода в организме зависит не только от обеспеченности данным микроэлементом, но и от достаточного потребления других витаминов, а именно витаминов группы В (В₁₂, В₂, В₃) и витамина А, минеральных веществ (цинк, селен, кальций, магний, медь, железо), учитывая их участие в метаболизме йода [64].

Витамин К. В природе жирорастворимый витамин К представлен в 2 формах: К₁ растительного происхождения и К₂, образующегося в норме в кишечнике путем бактериальной активности и поступающего с ферментированными продуктами и продуктами животного происхождения [35, 65]. Растительная форма витамина поступает с пищей и принимает участие в свертывающей системе организма [35]. Витамин К₂ участвует в костном обмене путем влияния на карбоксилирование остеокальцина и уменьшения активности остеобластов [10]. К основным источникам витамина К относятся следующие пищевые продукты: сыр [35] (гауда и бри) [23], молочные продукты [65], зеленые листовые овощи (шпинат, салат и т.д.), цветная и брюссельская капуста, кабачки, масло, яичный желток, овес, горох, свекла, картофель, морковь, томаты, кукуруза, бананы, апельсины, персики, пшеница [35]. Низкое потребление микронутриента соотносится с остеопенией и повышенным риском переломов [10]. В связи с этим рекомендуется адекватное потребление зеленых листовых овощей, особенно после термической обработки [66], и молочных продуктов [65]. Норма потребления витамина К для спортсменов, согласно рекомендациям ISSN, соответствует 120 мкг/сут для мужчин и 90 мкг/сут для

женщин [10], что в целом соответствует физиологической потребности для взрослых в Российской Федерации – 120 мкг/сут независимо от пола [26]. При необходимости возможно назначение БАД к пище, содержащих витамин К в синтетической форме [31].

Витамин С. Дефицит витамина С может приводить к развитию болевого синдрома в костях. Этот витамин играет важную роль в синтезе коллагена, белков остеобластов, а также является известным антиоксидантом, что может объяснять как прямое, так и косвенное его воздействие на костную ткань [9, 63] при наличии протективного эффекта на риск переломов шейки бедра [67]. Основными источниками витамина С являются следующие пищевые продукты: фрукты (апельсины, апельсиновый сок, клубника, черная и красная смородина, облепиха, земляника, свежий шиповник), перец сладкий, брокколи, брюссельская капуста, петрушка, картофель, капуста белокочанная и краснокочанная, черемша [9, 35]. Физиологическая потребность для взрослых в витамине С соответствует 100 мг/сут независимо от пола [26, 35], которая для спортсменов, по мнению ISSN, может отличаться у мужчин и женщин, составляя 90 и 75 мг/сут соответственно [10] при верхнем допустимом уровне потребления – 700 мг/сут [50].

Витамин А. Предполагают, что высокое потребление витамина А с пищей, приводящее к его избытку, связано с повышенным риском ОП и переломов бедра [7, 9]. И наоборот, потребление некоторых каротиноидов, являющихся предшественниками витамина А, связано с увеличением костной массы. Основными источниками витамина А (ретинола) являются следующие пищевые продукты: печень (не во время беременности), молочные продукты (сыр, молоко, йогурт), жирная рыба, яйца [9]. Улучшения результатов упражнений при дополнительном приеме витамина А в исследованиях не показано [10]. Для спортсменов норма потребления витамина А, по мнению ISSN, составляет 900 мкг/сут для мужчин и 700–800 мкг/сут для женщин [10], что соотносится с физиологической потребностью данного витамина для взрослого населения РФ: 900 мкг рет. экв/сут для мужчин и 800 мкг рет. экв/сут для женщин [26] при верхнем допустимом уровне потребления данного витамина – 3000 мкг/сут только в форме витамина А из любых источников [50].

Каротиноиды α -, β -, γ -каротин и β -криптоксантин могут трансформироваться в ретинол (витамин А). Каротиноиды ликопин, лютеин, зеаксантин, которые не трансформируются в ретинол, можно отнести к антиоксидантам [11]. Ликопин и β -криптоксантин стимулируют остеобласты и ингибируют остеокласты, оказывая положительный антиоксидантный эффект. У лиц с ОП отмечено истощение антиоксидантной системы с более низкими уровнями ликопина и β -криптоксантина [10]. Прием экстракта паприки в дозе, эквивалентной 1,4 мг каротиноидов в день, в течение 24 нед подавлял остеорезорбцию у женщин в постменопаузе [68]. β -Каротин уменьшает перекисное окисление, что может улучшить переносимость тренировок у спортсменов [10]. К основ-

ным источникам каротиноидов относятся такие пищевые продукты, как цветные фрукты и овощи [68]. Физиологическая потребность в β -каротине для взрослого населения РФ составляет 5,0 мг/сут [26]; суточная доза для спортсменов не определена [10].

Витамин Е. Адекватное потребление витамина Е необходимо для поддержания костного метаболизма [8]. Высокое потребление с пищей α -токоферола может улучшить МПКТ, потеря которой связана с воздействием кадмия [68]. Витамин Е как антиоксидант улучшает переносимость физических нагрузок, снижая окислительный стресс, однако есть данные, что ежедневный прием высоких доз витаминов Е и С (235 и 1000 мг соответственно) в течение 11 нед может негативно влиять на внутриклеточную адаптацию [10, 70]. Основными источниками витамина Е являются следующие пищевые продукты: растительные масла (подсолнечное, соевое, хлопковое, кукурузное, оливковое, облепиховое), пшеничные и кукурузные проростки, бобовые (горох, фасоль, соя), крупы (кукурузная, перловая, овсяная, греча), креветки, кальмары, судак, скумбрия, яйца [35]. Для спортсменов, по данным ISSN, среднесуточная норма потребления витамина Е составляет 15 мг [10], что не отличается от физиологической потребности для взрослого населения РФ [26]. Суточная потребность в витамине Е может увеличиваться на фоне физических нагрузок [35]. Верхний допустимый уровень потребления данного витамина составляет 1000 мкг/сут в виде любой формы α -токоферола, полученной из БАД к пище или обогащенных пищевых продуктов [50].

Витамины группы В положительно влияют на образование поперечных связей коллагена. Потребление витаминов В₂, В₆, В₁₂ и В₉ связано со снижением риска ОП. На фоне дефицита витаминов группы В отмечено повышение остеорезорбции. У пациентов с переломом шейки бедра выявлено более низкое потребление витаминов группы В [9]. Витамин В₆ в сочетании с витаминами В₁ и В₁₂ может повышать уровень серотонина и улучшать мелкую моторику, что важно для таких видов спорта, как стрельба из пистолета и лука. Витамин В₃ участвует в энергетическом обмене, входя в состав коферментов. Однако дополнительный прием ниацина (280 мг) во время упражнений снижает физическую работоспособность, замедляя мобилизацию жирных кислот [10]. Длительные аэробные нагрузки требуют больше витаминов В₁ и С. При тренировках на развитие мышечной массы возрастает потребность в витамине В₆ [50], который активно участвует в метаболизме белка, поэтому рацион питания спортсмена, богатый белковой пищей, требует адекватного повышения его поступления [35]. Интенсивные физические нагрузки повышают уровень гомоцистеина, который является фактором риска сердечно-сосудистых заболеваний, однако добавление фолиевой кислоты в дозе 200 мкг/сут в рацион спортсмена в течение 8 нед снижало концентрацию гомоцистеина [58]. Основными источниками витаминов группы В являются следующие пищевые продукты: субпродукты, дрожжи, мясо, яйца,

Рекомендуемые нормы потребления витаминов группы В для спортсменов в возрасте старше 18 лет, по мнению Международного общества спортивного питания (ISSN), в сравнении с нормами физиологических потребностей для населения Российской Федерации

Recommended intake of B vitamins for athletes over 18 years of age according to the International Society of Sports Nutrition in comparison with the physiological requirements for the population of the Russian Federation

Витамин <i>Vitamin</i>	Норма потребления / <i>Recommended intake</i>	
	Международное общество спортивного питания <i>International Society of Sports Nutrition</i> [10]	Российская Федерация <i>Russian Federation</i> [26]
Тиамин / <i>Thiamine</i> , B ₁	Мужчины 1,2 мг / <i>Males 1.2 mg</i> Женщины 1,1 мг / <i>Females 1.1 mg</i>	1,5 мг или 0,6 мг/1000 ккал <i>1.5 mg or 0.6 mg/1000 kcal</i>
Рибофлавин / <i>Riboflavin</i> , B ₂	Мужчины 1,3 мг / <i>Males 1.3 mg</i> Женщины 1,7 мг / <i>Females 1.7 mg</i>	1,8 мг или 0,75 мг/1000 ккал <i>1.8 mg or 0.75 mg/1000 kcal</i>
Ниацин / <i>Niacin</i> , B ₃	Мужчины 16 мг / <i>Males 16 mg</i> Женщины 14 мг / <i>Females 14 mg</i>	20 мг ниациновых эквивалентов или 8 мг/1000 ккал <i>20 mg niacin eq. or 8 mg/1000 kcal</i>
Пиридоксин / <i>Pyridoxine</i> , B ₆	1,3 мг, возраст <51 года <i>1.3 mg, age <51</i>	2,0 мг / <i>2.0 mg</i>
Цианокобаламин / <i>Cyanocobalamin</i> , B ₁₂	2,4 мкг / <i>2.4 µg</i>	3,0 мкг / <i>3.0 µg</i>
Фолаты / <i>Folate</i> , B ₉	400 мкг / <i>400 µg</i>	400 мкг / <i>400 µg</i>
Пантотеновая кислота <i>Pantothenic acid</i> , B ₅	5 мг / <i>5 mg</i>	5 мг / <i>5 mg</i>
Биотин / <i>Biotin</i> , B ₇	–	50 мкг / <i>50 µg</i>

орехи, молочные продукты (молоко, твердые сыры, творог), жирная морская рыба, крупы, хлеб, овощи, горох [9, 35]. Рекомендуемые нормы потребления витаминов группы В, по мнению ISSN, для спортсменов старше 18 лет [10] представлены в таблице, которые в целом схожи с национальными методическими рекомендациями по рациональному питанию, хотя для некоторых витаминов данной группы физиологическая потребность для взрослого населения может быть несколько выше на территории РФ [26].

В целом обращает внимание, что интенсивные физические нагрузки могут увеличивать активность обмена веществ в организме, изменяя потребность спортсмена в минеральных веществах и некоторых витаминах [50, 52, 58]. Систематические физические нагрузки могут повышать потребность в витаминах на 33% на каждую дополнительную 1000 ккал с сохранением различий между представителями спортивных специализаций [50]. Даже в случае соответствия рациона спортсмена рекомендуемым нормам потребления витаминов высокоинтенсивные тренировочные нагрузки требуют дополнительного контроля витаминного статуса, в отличие от нагрузок низкой/умеренной интенсивности, не вызывающих значимого изменения обеспеченности витаминами [50]. При недостаточном содержании в организме витаминов и минеральных веществ физическая работоспособность может снижаться, а восполнение дефицита может улучшать спортивную производительность. Однако по результатам исследований при адекватном уровне витаминов и минеральных веществ прием их дополнительных источников не оказывает влияния на спортивную работоспособность атлета, хотя некоторые из них способствуют восстановлению, адаптации к тренировкам и/или обладают эргогенной ценностью, оказывая в том числе положительное влияние на состояние костной ткани [10].

Заключение

Резюмируя нутритивную составляющую рациона спортсмена, направленного на поддержание количества и качества костной массы, можно выделить несколько важных аспектов.

Спортсмену рекомендовано тщательно оценивать свой рацион питания с целью определения потребления достаточного количества основных пищевых веществ, оказывающих положительное влияние на костный метаболизм, с учетом систематических физических нагрузок. Рацион питания спортсмена должен быть сбалансирован по основным макронутриентам в зависимости от возраста, пола, уровня физической активности с учетом суточной калорийности более 30 ккал на 1 кг тощей массы тела, что снижает риск развития относительного дефицита энергии в спорте. Оптимизация костного метаболизма может потребовать поступления энергии на уровне 45 ккал на 1 кг тощей массы тела в сутки. С целью профилактики снижения МПКТ спортсмену на протяжении всего периода профессиональной деятельности необходимо сбалансированное питание, богатое эссенциальными микронутриентами, при необходимости в сочетании с дополнительным приемом витамина D, магния, кальция и фосфора, особенно в период интенсивных физических нагрузок.

Учитывая, что питание является модифицируемым фактором, влияющим на поддержание качества костной ткани, спортсмену крайне важно грамотно выстраивать свой рацион, при необходимости с помощью квалифицированного диетолога. В случае когда потребление определенных пищевых веществ затруднено (из-за пищевой непереносимости или вкусовых/религиозных предпочтений), при совместной работе с диетологом (нутрициологом) необходимо уделять внимание потреблению обогащенных пищевых продуктов, СПП или БАД к пище.

Сведения об авторах

Никитина Ксения Игоревна (*Ksenia I. Nikitina*) – врач-эндокринолог филиала ГБУЗ МКНЦ имени А.С. Логинова ДЗМ МЦ (Москва, Российская Федерация)

E-mail: nikitinaks@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0769-3845>

Стрельникова Татьяна Валерьевна (*Tatiana V. Strelnikova*) – врач-диетолог ООО «Клиника Будь Здоров» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: rstrelnikov@me.com

<https://orcid.org/0000-0002-0637-1553>

Выходец Игорь Трифанович (*Igor T. Vykhodets*) – кандидат медицинских наук, доцент кафедры реабилитации, спортивной медицины и физической культуры ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет) (Москва, Российская Федерация)

E-mail: vykhodets.igor@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6206-2771>

Абрамова Тамара Федоровна (*Tamara F. Abramova*) – доктор биологических наук, начальник лаборатории проблем комплексного сопровождения спортивной подготовки ФГБУ ФНЦ ВНИИФК (Москва, Российская Федерация)

E-mail: abramova.t.f@vniifk.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5671-3806>

Никитина Татьяна Михайловна (*Tatyana M. Nikitina*) – кандидат педагогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории проблем комплексного сопровождения спортивной подготовки ФНЦ ВНИИФК (Москва, Российская Федерация)

E-mail: nikitina.t.m@vniifk.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6581-8052>

Литература

- Wilson D.J. Osteoporosis and sport // *Eur. J. Radiol.* 2019. Vol. 110. P. 169–174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.11.010>
- Абрамова Т.Ф., Никитина Т.М., Кочеткова Н.И., Студеникина Н.В., Никитина К.И. Остеопороз и физическая активность: научно-методическое пособие. Москва: Скайпринт, 2013. 112 с. ISBN: 978-5-94634-044-1.
- Иорданская Ф.А., Цепкова Н.К. Костный и минеральный обмен в системе мониторинга функциональной подготовленности высококвалифицированных спортсменов. Москва: Спорт, 2022. 152 с.: ил. ISBN: 978-5-907225-80-0.
- Тарасов А.В., Беличенко О.И., Смоленский А.В. Травмы и заболевания опорно-двигательного аппарата у спортсменов (обзор литературы) // *Терапевт.* 2019. № 5. С. 4–14.
- de la Puente Yagüe M., Collado Yurrita L., Ciudad Cabañas M.J., Cuadrado Cenizal M.A. Role of vitamin D in athletes and their performance: current concepts and new trends // *Nutrients*. 2020. Vol. 12, N 2. P. 579–591. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12020579>
- Самойлов А.С., Жолинский А.В., Рылова Н.В., Большаков И.В. Алиментарные факторы здоровья костной ткани у спортсменов // *Вопросы питания*. 2023. Т. 92, № 3. С. 25–35. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-3-25-35>
- Белая Ж.Е., Белова К.Ю., Бирюкова Е.В., Дедов И.И., Дзеранова Л.К., Драпкина О.М. и др. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза // *Остеопороз и остеопатии*. 2021. № 24 (2). С. 4–47. DOI: <https://doi.org/10.14341/osteol2937>
- Miggiano G.A., Gagliardi L. Diet, nutrition and bone health // *Clin. Ter.* 2005. Vol. 156, N 1–2. P. 47–56. PMID: 16080661.
- Sale C., Elliott-Sale K.J. Nutrition and athlete bone health // *Sports Med.* 2019. Vol. 49, suppl. 2. P. 139–151. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01161-2>
- Kerksick C.M., Wilborn C.D., Roberts M.D., Smith-Ryan A., Kleiner S.M., Jäger R. et al. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations // *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2018. Vol. 15, N 1. P. 38. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>
- Громова О.А., Торшин И.Ю., Лиманова О.А. Кальций и его синергисты в поддержке структуры соединительной и костной ткани // *Лечащий врач*. 2014. № 5. С. 69–76.
- Xiao P., Wang Z., Lu Z., Liu S., Huang C., Xu Y., Tian Y. The association between dietary flavonoid intake and bone mineral density and osteoporosis in US adults: data from NHANES 2007–2008, 2009–2010 and 2017–2018 // *BMC Public Health*. 2024. Vol. 24, N 1. P. 3168. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-024-20700-9>
- Wang Y., Xie D., Li J., Long H., Wu J., Wu Z. et al. Association between dietary selenium intake and the prevalence of osteoporosis: a cross-sectional study // *BMC Musculoskelet. Disord.* 2019. Vol. 20, N 1. P. 585. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2958-5>
- Areta J.L., Taylor H.L., Koehler K. Low energy availability: history, definition and evidence of its endocrine, metabolic and physiological effects in prospective studies in females and males // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2021. Vol. 121, N 1. P. 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04516-0>
- Heikura I.A., Stellingwerff T., Areta J.L. Low energy availability in female athletes: from the lab to the field // *Eur. J. Sport Sci.* 2022. Vol. 22, N 5. P. 709–719. DOI: <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1915391>
- Dipla K., Kraemer R.R., Constantini N.W., Hackney A.C. Relative energy deficiency in sports (RED-S): elucidation of endocrine changes affecting the health of males and females // *Hormones (Athens)*. 2021. Vol. 20, N 1. P. 35–47. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42000-020-00214-w>
- Nattiv A., Loucks A.B., Manore M.M., Sanborn C.F., Sundgot-Borgen J., Warren M.P.; American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2007. Vol. 39, N 10. P. 1867–1882. DOI: <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318149f111>
- Sims S.T., Kerksick C.M., Smith-Ryan A.E., Janse de Jonge X.A.K., Hirsch K.R., Arent S.M. et al. International Society of Sports Nutrition position stand: nutritional concerns of the female athlete // *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2023. Vol. 20, N 1. Article ID 2204066. DOI: <https://doi.org/10.1080/15502783.2023.2204066>
- Rutkowska M., Czajkowska M., Nowakowska I., Kowalczyk A., Król T., Dąbrowska-Galas M. et al. Eating behaviours in sportswomen from the Silesian training in different sports disciplines // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022. Vol. 19, N 24. Article ID 16843. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192416843>
- Popp K.L., Cooke L.M., Boussein M.L., Hughes J.M. Impact of low energy availability on skeletal health in physically active adults // *Calcif. Tissue Int.* 2022. Vol. 110, N 5. P. 605–614. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00223-022-00957-1>
- De Souza M.J., Ricker E.A., Mallinson R.J., Allaway H.C.M., Koltun K.J., Strock N.C.A. et al. Bone mineral density in response to increased energy intake in exercising women with oligomenorrhea/amenorrhea: the REFUEL randomized controlled trial // *Am. J. Clin. Nutr.* 2022. Vol. 115, N 6. P. 1457–1472. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqac044>
- Mountjoy M., Sundgot-Borgen J.K., Burke L.M., Ackerman K.E., Blauwet C., Constantini N. et al. IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update // *Br. J. Sports Med.* 2018. Vol. 52, N 11. P. 687–697. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099193>
- Roseti L., Borciani G., Grassi F., Desando G., Gambari L., Grigolo B. Nutraceuticals in osteoporosis prevention // *Front. Nutr.* 2024. Vol. 11. Article ID 1445955. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1445955>

24. Phillips S.M., Chevalier S., Leidy H.J. Protein «requirements» beyond the RDA: implications for optimizing health // *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2016. Vol. 41, N 5. P. 565–572. DOI: <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0550>
25. Мокрышева Н.Г., Шестакова М.В., Шамхалова М.Ш., Дзгоева Ф.Х., Мартынов С.А., Шацкая О.А. и др. Современные диетические рекомендации для пациентов с эндокринной патологией и хронической болезнью почек / под ред. И.И. Дедова. Москва : Пре100принт, 2019. 48 с. ISBN: 978-5-6044055-3-6.
26. Методические рекомендации 2.3.1.0253-21. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. 2021. 72 с.
27. Зилова И.С., Трушина Э.Н. Белок в рационе спортсменов: обоснование уровней потребления при различной интенсивности тренировок для поддержания мышечной массы тела (краткий обзор) // *Вопросы питания.* 2023. Т. 92, № 4. С. 114–124. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-4-114-124>
28. Доронина О.К., Кулага Е.Н. Современные стратегии спортивного питания (обзорная статья) // *Человек. Спорт. Медицина.* 2022. Т. 22, № S2. С. 131–138. DOI: <https://doi.org/10.14529/hsm22s217>
29. Кобелькова И.В., Коростелева М.М., Кобелькова М.С. Специализированные пищевые продукты для питания спортсменов на основе белков молочной сыворотки // *Спортивная медицина: наука и практика.* 2021. Т. 11, № 4. С. 49–56. DOI: <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.4.6>
30. Мирошников А.Б., Смоленский А.В., Мештель А.В., Рыбакова П.Д. Новый взгляд на растительный и животный белок // *Клиническое питание и метаболизм.* 2021. Т. 2, № 4. С. 222–227. DOI: <https://doi.org/10.17816/clinutr105296>
31. Maughan R.J., Burke L.M., Dvorak J., Larson-Meyer D.E., Peeling P., Phillips S.M. et al. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete // *Br. J. Sports Med.* 2018. Vol. 52, N 7. P. 439–455. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099027>
32. Kioka K., Aikawa Y., Wakasugi Y., Narukawa T., Fukuyasu T., Ohtsuki M. et al. Soy protein intake increased bone mineral density under nonenergy-deficiency conditions but decreased it under energy-deficiency conditions in young female rats // *Nutr. Res.* 2022. Vol. 106. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2022.08.001>
33. Morton R.W., Murphy K.T., McKellar S.R., Schoenfeld B.J., Henselmans M., Helms E. et al. A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults // *Br. J. Sports Med.* 2018. Vol. 52, N 6. P. 376–384. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097608>
34. Banfi G., Lombardi G., Colombini A., Lippi G. Bone metabolism markers in sports medicine // *Sports Med.* 2010. Vol. 40, N 8. P. 697–714. DOI: <https://doi.org/10.2165/11533090-000000000-00000>
35. Диетология. 5-е изд. / под ред. А. Ю. Барановского. Санкт-Петербург : Питер, 2018. 1104 с.: ил. ISBN: 978-5-44-610987-6.
36. Любошенко Т.М., Ляпин В.А. Роль пищевых и биологически активных добавок в системе подготовки спортсменов. Омск : Изд-во СибГУФК, 2011. 160 с.
37. Мироманов А.М., Гусев К.А. Гормональная регуляция остеогенеза: обзор литературы // *Травматология и ортопедия России.* 2021. Т. 27 (4). С. 120–130. DOI: <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1609>
38. Książek A., Zagrodna A., Słowińska-Lisowska M. Vitamin D, skeletal muscle function and athletic performance in athletes – a narrative review // *Nutrients.* 2019. Vol. 11, N 8. P. 1800. DOI: <https://doi.org/10.3390/nut11081800>
39. Dawson-Hughes B., Mithal A., Bonjour J.P., Boonen S., Burckhardt P. et al. IOF position statement: vitamin D recommendations for older adults // *Osteoporos. Int.* 2010. Vol. 21, N 7. P. 1151–1154. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00198-010-1285-3>
40. Дедов И.И., Мельниченко Г.А., Мокрышева Н.Г., Пигарова Е.А., Поваляева А.А., Рожинская Л.Я. и др. Проект федеральных клинических рекомендаций по диагностике, лечению и профилактике дефицита витамина D // *Остеопороз и остеопатия.* 2021. Т. 24, № 4. С. 4–26. DOI: <https://doi.org/10.14341/osteol2937>
41. Harju T., Gray B., Mavroedi A., Farooq A., Reilly J.J. Prevalence and novel risk factors for vitamin D insufficiency in elite athletes: systematic review and meta-analysis // *Eur. J. Nutr.* 2022. Vol. 61, N 8. P. 3857–3871. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00394-022-02967-z>
42. Demay M.B., Pittas A.G., Bikle D.D., Diab D.L., Kiely M.E., Lazaretti-Castro M. et al. Vitamin D for the prevention of disease: an Endocrine Society Clinical Practice Guideline // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2024. Vol. 109, N 8. P. 1907–1947. DOI: <https://doi.org/10.1210/clinem/dgae290>
43. Larson-Meyer D.E. The importance of vitamin D for athletes // *SSE (Sports Science Exchange).* 2015. Vol. 28, N 148. P. 1–6.
44. Wyatt P.B., Reiter C.R., Satalich J.R., O'Neill C.N., Edge C., Cyrus J.W. et al. Effects of vitamin D supplementation in elite athletes: a systematic review // *Orthop. J. Sports Med.* 2024. Vol. 12, N 1. Article ID 23259671231220371. DOI: <https://doi.org/10.1177/23259671231220371>
45. Bărsan M., Chelaru V.F., Răjnovanu A.G., Popa Ș.L., Socaciu A.I., Bădulescu A.V. Difference in levels of vitamin D between indoor and outdoor athletes: a systematic review and meta-analysis // *Int. J. Mol. Sci.* 2023. Vol. 24, N 8. P. 7584. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms24087584>
46. Allison R.J., Farooq A., Cherif A., Hamilton B., Close G.L., Wilson M.G. Why don't serum vitamin D concentrations associate with BMD by DXA? A case of being «bound» to the wrong assay? Implications for vitamin D screening // *Br. J. Sports Med.* 2018. Vol. 52, N 8. P. 522–526. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097130>
47. Теняева Е.А., Турова Е.А., Головач А.В., Бадтиева В.А., Артикулова И.Н. Исследование факторов риска остеопоротических переломов у ветеранов спорта // *Человек. Спорт. Медицина.* 2021. Т. 21, № 1. С. 177–182. DOI: <https://doi.org/10.14529/hsm210122>
48. Barry D.W., Hansen K.C., van Pelt R.E., Witten M., Wolfe P., Kohrt W.M. Acute calcium ingestion attenuates exercise-induced disruption of calcium homeostasis // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2011. Vol. 43, N 4. P. 617–623. DOI: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181f79fa8>
49. Haakonssen E.C., Ross M.L., Knight E.J., Cato L.E., Nana A., Wluka A.E. et al. The effects of a calcium-rich pre-exercise meal on biomarkers of calcium homeostasis in competitive female cyclists: a randomised crossover trial // *PLoS One.* 2015. Vol. 10, N 5. Article ID e0123302. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123302>
50. Борисова О.О. Питание спортсменов: зарубежный опыт и практические рекомендации : учебно-методическое пособие. Москва : Советский спорт, 2007. 132 с. ISBN: 978-5-9718-0220-4.
51. Knechtel B., Jastrzębski Z., Hill L., Nikolaidis P.T. Vitamin D and stress fractures in sport: preventive and therapeutic measures – a narrative review // *Medicina (Kaunas).* 2021. Vol. 57, N 3. P. 223. DOI: <https://doi.org/10.3390/medicina57030223>
52. Peeling P., Sim M., McKay A.K.A. Considerations for the consumption of vitamin and mineral supplements in athlete populations // *Sports Med.* 2023. Vol. 53, suppl. 1. P. 15–24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01875-4>
53. Тармаева И.Ю., Боева А.В. Минеральные вещества, витамины: их роль в организме. Проблемы микронутриентной недостаточности : учебное пособие; ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава России; кафедра гигиены труда и гигиены питания. Иркутск : ИГМУ, 2014. 89 с. УДК 577.118+612.015.6:613.2.
54. Matias C.N., Santos D.A., Monteiro C.P., Vasco A.M., Baptista F., Sardinha L.B. et al. Magnesium intake mediates the association between bone mineral density and lean soft tissue in elite swimmers // *Magnes. Res.* 2012. Vol. 25, N 3. P. 120–125. DOI: <https://doi.org/10.1684/mrh.2012.0317>
55. Громова О.А., Егоров Е.Ю., Торшин И.Ю., Громов А.Н., Гоголева И.В. О роли магния в спортивной медицине // *Русский медицинский журнал.* 2016. № 9. С. 560–571.
56. Хук-Величук Э. Минеральная плотность костной ткани и фактор питания у женщин, профессионально занимающихся волейболом // *Теория и практика физической культуры.* 2021. № 10. С. 52–54.
57. Díaz-Castro J., López-Frías M.R., Campos M.S., López-Frías M., Alférez M.J., Nestares T. et al. Severe nutritional iron-deficiency anaemia has a negative effect on some bone turnover biomarkers in rats // *Eur. J. Nutr.* 2012. Vol. 51, N 2. P. 241–247. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00394-011-0212-5>
58. Molina-López J., Molina J.M., Chiroso L.J., Florea D.I., Sáez L., Planells E. Effect of folic acid supplementation on homocysteine concentration and association with training in handball players // *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2013. Vol. 10, N 1. P. 10. DOI: <https://doi.org/10.1186/1550-2783-10-10>
59. Jeromson S., Gallagher I.J., Galloway S.D., Hamilton D.L. Omega-3 fatty acids and skeletal muscle health // *Mar. Drugs.* 2015. Vol. 13, N 11. P. 6977–7004. DOI: <https://doi.org/10.3390/md13116977>
60. Longo A.B., Ward W.E. Bone mineral density, and fragility fracture: findings from human studies // *Adv. Nutr.* 2016. Vol. 7, N 2. P. 299–312. DOI: <https://doi.org/10.3945/an.115.009472>
61. Tomczyk M., Heilesen J.L., Babiarz M., Calder P.C. Athletes can benefit from increased intake of EPA and DHA-evaluating the evidence // *Nutrients.* 2023. Vol. 15, N 23. P. 4925. DOI: <https://doi.org/10.3390/nut15234925>
62. Singh A., Failla M.L., Deuster P.A. Exercise-induced changes in immune function: effects of zinc supplementation // *J. Appl. Physiol.* (1985). 1994. Vol. 76, N 6. P. 2298–2303. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.1994.76.6.2298>
63. Schaafsma A., de Vries P.J., Saris W.H. Delay of natural bone loss by higher intakes of specific minerals and vitamins // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2001. Vol. 41, N 4. P. 225–249. DOI: <https://doi.org/10.1080/20014091091805>
64. Коденцова В.М., Рисник Д.В. Микронутриентные метаболические сети и множественный дефицит микронутри-

- ентов: обоснование преимуществ витаминно-минеральных комплексов // Микроэлементы в медицине. 2020. Т. 21, № 4. С. 3–20. DOI: <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2020-21-4-3-20>
65. Коденцова В.М., Рисник Д.В. Витамины K₁ и K₂ в питании детей // Вопросы питания. 2024. Т. 93, № 5. С. 6–13. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-5-6-13>
 66. Higdon J., Drake V. An Evidence-Based Approach to Vitamins and Minerals: Health Benefits and Intake Recommendations. 2nd ed. Stuttgart; New York: Thieme, 2012. 282 p. ISBN: 978-3-13-132452-8.
 67. Sahni S., Hannan M.T., Gagnon D., Blumberg J., Cupples L.A., Kiel D.P. et al. Protective effect of total and supplemental vitamin C intake on the risk of hip fracture – a 17-year follow-up from the Framingham Osteoporosis Study // Osteoporos. Int. 2009. Vol. 20, N 11. P. 1853–1861. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00198-009-0897-y>
 68. Umigai N., Kozai Y., Saito T., Takara T. Effects of paprika carotenoid supplementation on bone turnover in postmenopausal women: a randomized, double-blind, placebo-controlled, parallel-group comparison study // Food Nutr. Res. 2020. Vol. 64. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.29219/fnr.v64.4565>
 69. Li R., Qu H., Xu J., Yang H., Chen J., Zhang L., Yan J. Association between dietary intake of α -tocopherol and cadmium related osteoporosis in population ≥ 50 years // J. Bone Miner. Metab. 2023. Vol. 41. P. 501–511. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00774-023-01418-x>
 70. Paulsen G., Cumming K.T., Holden G., Hallén J., Ronnestad B.R., Sveen O. et al. Vitamin C and E supplementation hampers cellular adaptation to endurance training in humans: a double-blind, randomised, controlled trial // J. Physiol. 2014. Vol. 592, N 8. P. 1887–1901. DOI: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.267419>
- ## References
1. Wilson D.J. Osteoporosis and sport. Eur J Radiol. 2019; 110: 169–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.11.010>
 2. Abramova T.F., Nikitina T.M., Kochetkova N.I., Studenikina N.V., Nikitina K.I. Osteoporosis and physical activity: scientific and methodological manual. Moscow: Skayprint, 2013: 112 p. ISBN: 978-5-94634-044-1 (in Russian)
 3. Iordanskaya F.A., Tsepikova N.K. Bone and mineral metabolism in the system of monitoring the functional readiness of highly qualified athletes. Moscow: Sport, 2022: 152 p.: ill. ISBN: 978-5-907225-80-0. (in Russian)
 4. Tarasov A.V., Belichenko O.I., Smolensky A.V. Injuries and diseases of the musculoskeletal system in athletes (literature review). Terapevt [Therapeutist]. 2019; (5): 4–14 (in Russian)
 5. de la Puente Yagüe M., Collado Yurrita L., Ciudad Cabañas M.J., Cuadrado Cenizal M.A. Role of vitamin D in athletes and their performance: current concepts and new trends. Nutrients. 2020; 12 (2): 579–91. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12020579>
 6. Samoylov A.S., Zholinsky A.V., Rylova N.V., Bol'shakov I.V. Nutritional factors of bone health in athletes. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2023; 92 (3): 25–35. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-3-25-35> (in Russian)
 7. Belaya Z.E., Belova K.Yu., Biryukova E.V., Dedov I.I., Dzeranova L.K., Drapkina O.M., et al. Federal clinical guidelines for diagnosis, treatment and prevention of osteoporosis. Osteoporoz i osteopatii [Osteoporosis and Osteopathies]. 2021; 24 (2): 4–47. DOI: <https://doi.org/10.14341/osteol2937> (in Russian)
 8. Miggiano G.A., Gagliardi L. Diet, nutrition and bone health. Clin Ter. 2005; 156 (1–2): 47–56. PMID: 16080661.
 9. Sale C., Elliott-Sale K.J. Nutrition and athlete bone health. Sports Med. 2019; 49 (suppl 2): 139–51. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01161-2>
 10. Kerkisick C.M., Wilborn C.D., Roberts M.D., Smith-Ryan A., Kleiner S.M., Jäger R., et al. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. J Int Soc Sports Nutr. 2018; 15 (1): 38. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>
 11. Gromova O.A., Torshin I.Yu., Limanova O.A. Calcium and its synergists in support of connective and bone tissue structure. Lechashchiy vrach [Attending Physician]. 2014; (5): 69–76. (in Russian)
 12. Xiao P., Wang Z., Lu Z., Liu S., Huang C., Xu Y., Tian Y. The association between dietary flavonoid intake and bone mineral density and osteoporosis in US adults: data from NHANES 2007–2008, 2009–2010 and 2017–2018. BMC Public Health. 2024; 24 (1): 3168. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-024-20700-9>
 13. Wang Y., Xie D., Li J., Long H., Wu J., Wu Z., et al. Association between dietary selenium intake and the prevalence of osteoporosis: a cross-sectional study. BMC Musculoskelet Disord. 2019; 20 (1): 585. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2958-5>
 14. Areta J.L., Taylor H.L., Koehler K. Low energy availability: history, definition and evidence of its endocrine, metabolic and physiological effects in prospective studies in females and males. Eur J Appl Physiol. 2021; 121 (1): 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04516-0>
 15. Heikura I.A., Stellingwerff T., Areta J.L. Low energy availability in female athletes: from the lab to the field. Eur J Sport Sci. 2022; 22 (5): 709–19. DOI: <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1915391>
 16. Diplá K., Kraemer R.R., Constantini N.W., Hackney A.C. Relative energy deficiency in sports (RED-S): elucidation of endocrine changes affecting the health of males and females. Hormones (Athens). 2021; 20 (1): 35–47. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42000-020-00214-w>
 17. Nattiv A., Loucks A.B., Manore M.M., Sanborn C.F., Sundgot-Borgen J., Warren M.P.; American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. Med Sci Sports Exerc. 2007; 39 (10): 1867–82. DOI: <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318149f111>
 18. Sims S.T., Kerkisick C.M., Smith-Ryan A.E., Janse de Jonge X.A.K., Hirsch K.R., Arent S.M., et al. International Society of Sports Nutrition position stand: nutritional concerns of the female athlete. J Int Soc Sports Nutr. 2023; 20 (1): 2204066. DOI: <https://doi.org/10.1080/15502783.2023.2204066>
 19. Rutkowska M., Czajkowska M., Nowakowska I., Kowalczyk A., Król T., Dąbrowska-Galas M., et al. Eating behaviours in sportswomen from the Silesian training in different sports disciplines. Int J Environ Res Public Health. 2022; 19 (24): 16843. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192416843>
 20. Popp K.L., Cooke L.M., Bouxsein M.L., Hughes J.M. Impact of low energy availability on skeletal health in physically active adults. Calcif Tissue Int. 2022; 110 (5): 605–14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00223-022-00957-1>
 21. De Souza M.J., Ricker E.A., Mallinson R.J., Allaway H.C.M., Koltun K.J., Strock N.C.A., et al. Bone mineral density in response to increased energy intake in exercising women with oligomenorrhea/amenorrhea: the REFUEL randomized controlled trial. Am J Clin Nutr. 2022; 115 (6): 1457–72. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqac044>
 22. Mountjoy M., Sundgot-Borgen J.K., Burke L.M., Ackerman K.E., Blauwet C., Constantini N., et al. IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. Br J Sports Med. 2018; 52 (11): 687–97. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099193>
 23. Roseti L., Borciani G., Grassi F., Desando G., Gambari L., Grigolo B. Nutraceuticals in osteoporosis prevention. Front Nutr. 2024; 11 1445955. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1445955>
 24. Phillips S.M., Chevalier S., Leidy H.J. Protein «requirements» beyond the RDA: implications for optimizing health. Appl Physiol Nutr Metab. 2016; 41 (5): 565–72. DOI: <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0550>
 25. Mokrysheva N.G., Shestakova M.V., Shamkhalova M.Sh., Dzgoeva F.Kh., Martynov S.A., Shatskaya O.A., et al. Modern dietary recommendations for patients with endocrine pathology and chronic kidney disease. Edited by I.I. Dedov. Moscow: Pre100print, 2019: 48 p. ISBN: 978-5-6044055-3-6 (in Russian)
 26. Guidelines 2.3.1.0253-21. Rational nutrition. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. 2021: 72 p. (in Russian)
 27. Zilova I.S., Trushina E.N. Protein in the athlete's diet: rationale for intake levels at different training intensities to maintain lean body mass (a brief review). Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2023; 92 (4): 114–24. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-4-114-124> (in Russian)
 28. Doronina O.K., Kulaga E.N. Modern strategies in sports nutrition (a review article). Chelovek. Sport. Meditsina [Human. Sport. Medicine]. 2022; 22 (S2): 131–8. DOI: <https://doi.org/10.14529/hsm22s217> (in Russian)
 29. Kobel'kova I.V., Korosteleva M.M., Kobel'kova M.S. Specialized food products for the nutrition of athletes based on whey proteins. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika [Sports Medicine: Science and Practice]. 2021; 11 (4): 49–56. DOI: <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.4.6> (in Russian)
 30. Miroshnikov A.B., Smolensky A.V., Meshtel' A.V., Rybakova P.D. A new look at plant and animal protein. Klinicheskoe pitanie i metabolism [Clinical Nutrition and Metabolism]. 2021; 2 (4): 222–7. DOI: <https://doi.org/10.17816/clinutrl05296> (in Russian)
 31. Maughan R.J., Burke L.M., Dvorak J., Larson-Meyer D.E., Peeling P., Phillips S.M., et al. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. Br J Sports Med. 2018; 52 (7): 439–55. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099027>
 32. Kioka K., Aikawa Y., Wakasugi Y., Narukawa T., Fukuyasu T., Ohtsuki M., et al. Soy protein intake increased bone mineral density under nonenergy-deficiency conditions but decreased it under energy-deficiency conditions in young female rats. Nutr Res. 2022; 106: 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2022.08.001>

33. Morton R.W., Murphy K.T., McKellar S.R., Schoenfeld B.J., Henselmans M., Helms E., et al. A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *Br J Sports Med.* 2018; 52 (6): 376–84. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097608>
34. Banfi G., Lombardi G., Colombini A., Lippi G. Bone metabolism markers in sports medicine. *Sports Med.* 2010; 40 (8): 697–714. DOI: <https://doi.org/10.2165/11533090-000000000-00000>
35. Dietology. 5th ed. Edited by Yu. Baranovsky. Saint Petersburg: Piter, 2018: 1104 p.: ill. ISBN: 978-5-44-610987-6 (in Russian)
36. Lyuboshenko T.M., Lyapin V.A. The role of food and biologically active additives in the system of training athletes. Omsk: Izdatel'stvo SibGUFGK, 2011: 160 p. (in Russian)
37. Miromanov A.M., Gusev K.A. Hormonal regulation of osteogenesis: a review of the literature. *Traumatologiya i ortopediya Rossii [Traumatology and Orthopedics of Russia]*. 2021; 27 (4): 120–30. DOI: <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1609> (in Russian)
38. Książek A., Zagrodna A., Słowińska-Lisowska M. Vitamin D, skeletal muscle function and athletic performance in athletes – a narrative review. *Nutrients*. 2019; 11 (8): 1800. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11081800>
39. Dawson-Hughes B., Mithal A., Bonjour J.P., Boonen S., Burckhardt P., et al. IOF position statement: vitamin D recommendations for older adults. *Osteoporos Int.* 2010; 21 (7): 1151–4. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00198-010-1285-3>
40. Dedov I.I., Mel'nichenko G.A., Mokrysheva N.G., Pigarova E.A., Povalyaeva A.A., Rozhinskaya L.Ya., et al. Draft federal clinical practice guidelines for the diagnosis, treatment, and prevention of vitamin D deficiency. *Osteoporoz i osteopatii [Osteoporosis and Osteopathies]*. 2021; 24 (4): 4–26. DOI: <https://doi.org/10.14341/osteol2937> (in Russian)
41. Harju T., Gray B., Mavroedi A., Farooq A., Reilly J.J. Prevalence and novel risk factors for vitamin D insufficiency in elite athletes: systematic review and meta-analysis. *Eur J Nutr.* 2022; 61 (8): 3857–71. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00394-022-02967-z>
42. Demay M.B., Pittas A.G., Bikle D.D., Diab D.L., Kiely M.E., Lazaretti-Castro M., et al. Vitamin D for the prevention of disease: an Endocrine Society Clinical Practice Guideline. *J Clin Endocrinol Metab.* 2024; 109 (8): 1907–47. DOI: <https://doi.org/10.1210/clinem/dgae290>
43. Larson-Meyer D.E. The importance of vitamin D for athletes. *SSE (Sports Science Exchange)*. 2015; 28 (148): 1–6.
44. Wyatt P.B., Reiter C.R., Satalich J.R., O'Neill C.N., Edge C., Cyrus J.W., et al. Effects of vitamin D supplementation in elite athletes: a systematic review. *Orthop J Sports Med.* 2024; 12 (1): 23259671231220371. DOI: <https://doi.org/10.1177/23259671231220371>
45. Bârsan M., Chelaru V.F., Răsnoveanu A.G., Popa Ș.L., Socaci A.I., Bădulescu A.V. Difference in levels of vitamin D between indoor and outdoor athletes: a systematic review and meta-analysis. *Int J Mol Sci.* 2023; 24 (8): 7584. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms24087584>
46. Allison R.J., Farooq A., Cherif A., Hamilton B., Close G.L., Wilson M.G. Why don't serum vitamin D concentrations associate with BMD by DXA? A case of being «bound» to the wrong assay? Implications for vitamin D screening. *Br J Sports Med.* 2018; 52 (8): 522–6. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097130>
47. Tenyaeva E.A., Turova E.A., Golovach A.V., Badtjeva V.A., Artikulova I.N. Risk factors of osteoporotic fractures in master athletes. *Chelovek. Sport. Meditsina [Human. Sport. Medicine]*. 2021; 21 (1): 177–82. DOI: <https://doi.org/10.14529/hsm210122> (in Russian)
48. Barry D.W., Hansen K.C., van Pelt R.E., Witten M., Wolfe P., Kohrt W.M. Acute calcium ingestion attenuates exercise-induced disruption of calcium homeostasis. *Med Sci Sports Exerc.* 2011; 43 (4): 617–23. DOI: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181f79fa8>
49. Haakonssen E.C., Ross M.L., Knight E.J., Cato L.E., Nana A., Wluka A.E., et al. The effects of a calcium-rich pre-exercise meal on biomarkers of calcium homeostasis in competitive female cyclists: a randomised crossover trial. *PLoS One.* 2015; 10 (5): e0123302. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123302>
50. Borisova O.O. Athletes nutrition: foreign experience and practical recommendations: educational and methodical manual. Moscow: Sovetskiy sport, 2007: 132 p. ISBN: 978-5-9718-0220-4 (in Russian)
51. Knechtle B., Jastrzębski Z., Hill L., Nikolaidis P.T. Vitamin D and stress fractures in sport: preventive and therapeutic measures – a narrative review. *Medicina (Kaunas)*. 2021; 57 (3): 223. DOI: <https://doi.org/10.3390/medicina57030223>
52. Peeling P., Sim M., McKay A.K.A. Considerations for the consumption of vitamin and mineral supplements in athlete populations. *Sports Med.* 2023; 53 (suppl 1): 15–24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01875-4>
53. Tarmaeva I.Yu., Boeva A.V. Minerals, vitamins: their role in the body. Problems of micronutrient deficiency: textbook. Irkutsk State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation; Department of Occupational Health and Food Hygiene. Irkutsk: Irkutsk State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, 2014: 89 p. (in Russian)
54. Matias C.N., Santos D.A., Monteiro C.P., Vasco A.M., Baptista F., Sardinha L.B., et al. Magnesium intake mediates the association between bone mineral density and lean soft tissue in elite swimmers. *Magn Res.* 2012; 25 (3): 120–5. DOI: <https://doi.org/10.1684/mrh.2012.0317>
55. Gromova O.A., Egorova E.Yu., Torshin I.Yu., et al. Magnesium and its importance for sports medicine. *Russkiy meditsinskiy zhurnal [Russian Medical Journal]*. 2016; (9): 560–71. (in Russian)
56. Huk-Wieliczuk E. Bone mineral density in professional female volleyball players and dietary factors. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury [Theory and Practice of Physical Culture]*. 2021; (10): 52–4. (in Russian)
57. Díaz-Castro J., López-Frías M.R., Campos M.S., López-Frías M., Alférez M.J., Nestares T., et al. Severe nutritional iron-deficiency anaemia has a negative effect on some bone turnover biomarkers in rats. *Eur J Nutr.* 2012; 51 (2): 241–7. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00394-011-0212-5>
58. Molina-López J., Molina J.M., Chiroso L.J., Florea D.I., Sáez L., Planells E. Effect of folic acid supplementation on homocysteine concentration and association with training in handball players. *J Int Soc Sports Nutr.* 2013; 10 (1): 10. DOI: <https://doi.org/10.1186/1550-2783-10-10>
59. Jeromson S., Gallagher I.J., Galloway S.D., Hamilton D.L. Omega-3 fatty acids and skeletal muscle health. *Mar Drugs.* 2015; 13 (11): 6977–7004. DOI: <https://doi.org/10.3390/md13116977>
60. Longo A.B., Ward W.E. Bone mineral density, and fragility fracture: findings from human studies. *Adv Nutr.* 2016; 7 (2): 299–312. DOI: <https://doi.org/10.3945/an.115.009472>
61. Tomczyk M., Heleson J.L., Babiarz M., Calder P.C. Athletes can benefit from increased intake of EPA and DHA-evaluating the evidence. *Nutrients*. 2023; 15 (23): 4925. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15234925>
62. Singh A., Failla M.L., Deuster P.A. Exercise-induced changes in immune function: effects of zinc supplementation. *J Appl Physiol.* (1985). 1994; 76 (6): 2298–303. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.1994.76.6.2298>
63. Schaafsma A., de Vries P.J., Saris W.H. Delay of natural bone loss by higher intakes of specific minerals and vitamins. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2001; 41 (4): 225–49. DOI: <https://doi.org/10.1080/20014091091805>
64. Kodentsova V.M., Risnik D.V. Micronutrient metabolic networks and multiple micronutrient deficiency: a rationale for the advantages of vitamin-mineral supplements. *Mikroelementy v meditsine [Trace Elements in Medicine]*. 2020; 21 (4): 3–20. DOI: <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2020-21-4-3-20> (in Russian)
65. Kodentsova V.M., Risnik D.V. Vitamins K1 and K2 in children's nutrition. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2024; 93 (5): 6–13. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-5-6-13> (in Russian)
66. Higdon J., Drake V. An Evidence-Based Approach to Vitamins and Minerals: Health Benefits and Intake Recommendations. 2nd ed. Stuttgart; New York: Thieme, 2012: 282 p. ISBN: 978-3-13-132452-8.
67. Sahni S., Hannan M.T., Gagnon D., Blumberg J., Cupples L.A., Kiel D.P., et al. Protective effect of total and supplemental vitamin C intake on the risk of hip fracture – a 17-year follow-up from the Framingham Osteoporosis Study. *Osteoporos Int.* 2009; 20 (11): 1853–61. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00198-009-0897-y>
68. Umigai N., Kozai Y., Saito T., Takara T. Effects of paprika carotenoid supplementation on bone turnover in postmenopausal women: a randomized, double-blind, placebo-controlled, parallel-group comparison study. *Food Nutr Res.* 2020; 64: 1–9. DOI: <https://doi.org/10.29219/fnr.v64.4565>
69. Li R., Qu H., Xu J., Yang H., Chen J., Zhang L., Yan J. Association between dietary intake of α -tocopherol and cadmium related osteoporosis in population ≥ 50 years. *J Bone Miner Metab.* 2023; 41: 501–11. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00774-023-01418-x>
70. Paulsen G., Cumming K.T., Holden G., Hallén J., Ronnestad B.R., Sveen O., et al. Vitamin C and E supplementation hampers cellular adaptation to endurance training in humans: a double-blind, randomised, controlled trial. *J Physiol.* 2014; 592 (8): 1887–901. DOI: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.267419>

Для корреспонденции

Филипчук Анатолий Владиславович – ассистент кафедры
пропедевтики детских болезней, поликлинической
и неотложной педиатрии ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ
Минздрава России
Адрес: 414000, Российская Федерация, г. Астрахань,
ул. Бакинская, д. 121
Телефон: (8512) 66-94-80
E-mail: filipchuk777797@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1081-5687>

Джумагазиев А.А.¹, Шилина Н.М.², Безрукова Д.А.¹, Отто Н.Ю.¹, Сосиновская Е.В.¹,
Филипчук А.В.¹

Внешние факторы, способствующие развитию конституционально-экзогенного ожирения у детей

External factors contributing
to the development
of constitutional exogenous
obesity in children

Dzhumagaziev A.A.¹, Shilina N.M.²,
Bezrukova D.A.¹, Otto N.Yu.¹,
Sosinovskaya E.V.¹, Filipchuk A.V.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 414000, г. Астрахань, Российская Федерация

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

¹ Astrakhan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, 414000, Astrakhan, Russian Federation

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

Ожирение – многофакторное заболевание, связанное с избыточным отложением жировой ткани, сопровождающееся нарушением обменных процессов в организме и изменениями функции органов и систем. Особую тревогу вызывает детское ожирение, которое во многих случаях сохраняется и во взрослом возрасте. Наиболее часто встречается простое (конституционально-экзогенное, полигенное, идиопатическое) ожирение, связанное с избыточным поступлением калорий в условиях гиподинамии и наследственной предрасположенности.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов.

Вклад авторов. Дизайн исследования – Джумагазиев А.А.; сбор и обработка материала – Безрукова Д.А., Отто Н.Ю., Сосиновская Е.В., Филипчук А.В., Шилина Н.М.; написание текста – Джумагазиев А.А., Безрукова Д.А.; редактирование – Джумагазиев А.А., Шилина Н.М., Безрукова Д.А., Филипчук А.В.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Джумагазиев А.А., Шилина Н.М., Безрукова Д.А., Отто Н.Ю., Сосиновская Е.В., Филипчук А.В. Внешние факторы, способствующие развитию конституционально-экзогенного ожирения у детей // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 1. С. 37–49. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-37-49>

Статья поступила в редакцию 06.06.2024. **Принята в печать** 10.02.2025.

Funding. The authors declare no external funding for the study.

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

Contribution. Study design – Dzhumagaziev A.A.; data collection and processing – Bezrukova D.A., Otto N.Yu., Sosinovskaya E.V., Filipchuk A.V., Shilina N.M.; writing the text – Dzhumagaziev A.A., Bezrukova D.A.; editing – Dzhumagaziev A.A., Shilina N.M., Bezrukova D.A., Filipchuk A.V.; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Dzhumagaziev A.A., Shilina N.M., Bezrukova D.A., Otto N.Yu., Sosinovskaya E.V., Filipchuk A.V. External factors contributing to the development of constitutional exogenous obesity in children. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (1): 37–49. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-37-49> (in Russian)

Received 06.06.2024. **Accepted** 10.02.2025.

Цель работы – анализ данных литературы о влиянии внешних факторов на развитие конституционально-экзогенного ожирения у детей.

Материал и методы. Проанализировано 84 источника литературы, поиск по ключевым словам (дети, ожирение, факторы риска) проводили по базам данных PubMed, Scopus, Elsevier, eLibrary и Google Scholar. Предпочтение отдавали источникам, составленным с позиций доказательной медицины по высокому уровню достоверности и доказательности (метаанализы когортных исследований).

Результаты. Внешними факторами риска развития ожирения являются 3 группы факторов: факторы семьи и домашнего окружения (отношение родителей к грудному вскармливанию, отзывчивое, с положительными эмоциями кормление при чутком реагировании на сигналы ребенка о голоде и насыщении, воспитание у детей навыков и культуры оптимального, сбалансированного питания, семейные традиции, связанные с потреблением сладких, соленых продуктов и соков, размерами порций, быстрым или медленным стилем питания, продолжительностью времени, проводимого перед экраном, и сна, малоподвижный образ жизни, воздействие пассивного курения, психосоциального стресса, включая депрессию, неблагоприятного опыта детства, использование лекарственных средств, прием которых связан с увеличением массы тела, неблагоприятно сформированная микробиота кишечника), факторы близкого окружения (точки быстрого питания, неблагоприятная школьная среда, отсутствие условий для безопасных занятий физической активностью) и социально-политические факторы (культурные различия, неравенство отдельных социальных групп в отношении доступа к качественным медицинским услугам, образованию, безопасным пищевым продуктам и воде, которые могут приводить к различиям в состоянии здоровья, начиная от планирования и исходов беременности матери до подросткового возраста детей, маркетинг высококалорийных пищевых продуктов с высоким содержанием насыщенных жиров, простых углеводов и поваренной соли и сахаросодержащих напитков, ориентированный на детей).

Заключение. Ожирение является заболеванием, характерным для современного общества, на возникновение и развитие которого могут оказывать влияние все перечисленные внешние факторы риска. Большинство из этих факторов управляемые, в связи с чем знание и понимание их роли необходимо для выработки адекватных методов профилактики ожирения и использования их в клинической практике.

Ключевые слова: конституционально-экзогенное ожирение; дети; внешние факторы риска; прогноз

Obesity is a multifactorial disease associated with excessive deposition of adipose tissue, accompanied by impaired organism metabolic functions and changes in the function of organs and systems. Childhood obesity is of particular concern, which in many cases turns into obesity in adults. The most common is simple (constitutionally exogenous, polygenic, idiopathic) obesity associated with excessive intake of calories in conditions of physical inactivity and hereditary predisposition.

The purpose of the research was to analyze the literature data on the influence of external factors on the development of constitutionally exogenous obesity in children.

Material and methods. 84 literature sources were analyzed, keyword (children, obesity, risk factors) searches were conducted using PubMed, Scopus, Elsevier, eLibrary, and Google Scholar databases. The preference was given to the sources compiled from the standpoint of evidence-based medicine with a high level of reliability and evidence (meta-analyses of cohort studies).

Results. External risk factors for obesity development include 3 groups of factors: family and home environment factors (parents' attitude to breastfeeding, responsive, positive-emotion feeding while responding sensitively to the child's signals of hunger and satiety, fostering children's skills and culture of optimal, balanced nutrition, family traditions associated with sweet and salty foods and juices, portion sizes, fast or slow eating style, duration of screen time and sleep, sedentary lifestyle, exposure to secondhand smoke, psychosocial stress, depression, adverse childhood experiences, the use of medications associated with an increase in body weight, unfavorably altered intestinal microbiota), environmental factors (fast food outlets, an unfavorable school environment, lack of conditions for safe physical activity) and systemic and political factors (inequality of individual social groups regarding access to quality health services, education, safe food and water, which can lead to differences in health status, ranging from maternal pregnancy planning and outcomes to children's adolescence, marketing of high-calorie foods high in saturated fat, simple carbohydrates and table salt, and sugar-containing beverages aimed at children).

Conclusion. Obesity is a disease characteristic of modern society, the occurrence and development of which can be influenced by all the listed external risk factors. However most of these factors are manageable. Therefore, knowledge and understanding of the role of these external risk factors is necessary to develop adequate methods for obesity prevention and use them in clinical practice.

Keywords: constitutional and exogenous obesity; children; external risk factors; prognosis

Ожирение – многофакторное заболевание, связанное с избыточным отложением жировой ткани, сопровождающееся нарушением обменных процессов в организме и изменениями функционирования органов и систем. Согласно одному из последних актуальных определений, ожирение – это хроническое, прогрессирующее, рецидивирующее и поддающееся лечению многофакторное нейрорповеденческое заболевание, при котором увеличение жировых отложений в организме способствует дисфункции жировой ткани, что приводит к неблагоприятным метаболическим, физиологическим и психосоциальным последствиям для здоровья [1]. На лечение ожирения и ассоциированной с ним патологии приходится около 70% общих затрат на здравоохранение [2].

Особую тревогу вызывает детское ожирение. Сформировавшись в детском возрасте, оно ухудшает качество жизни ребенка, носит долгосрочный характер, со значительной долей вероятности пролонгируется во взрослую жизнь, характеризуясь более тяжелым течением, наличием коморбидных состояний и худшим прогнозом [3–6]. У детей с ожирением показатели качества жизни по сравнению со здоровыми детьми ниже на 19–22% [7]. Сопутствующие заболевания, возникшие на фоне ожирения у детей, сохраняются и прогрессируют во взрослом состоянии [8]. Распространенность детского ожирения растет [2, 9, 10]. Так, по прогнозам, приведенным в World Obesity Federation Obesity Atlas, количество детей с ожирением в мире возрастет с 8–10% в 2020 г. до 18–20% к 2035 г.

Наиболее часто встречается простое (конституционально-экзогенное, полигенное, идиопатическое) ожирение, которое связано с избыточным поступлением калорий в условиях гиподинамии и наследственной предрасположенности [3]. Реализация ожирения обычно происходит при условии суммарного накопления генетических и негенетических (средовых) влияний, благоприятных для манифестации процесса. Общая и специфическая системы адаптации до определенного момента сдерживают эту манифестацию, но постоянное воздействие среды на генотип способно вызвать срыв адаптации и полное развертывание симптомокомплекса ожирения [11].

Воздействуя на риски конституционально-экзогенного ожирения, которые во многом связаны с образом жизни, являются внешними факторами и могут корректироваться, управляться именно в детском возрасте, возможно предотвращение возникновения и прогрессирования заболевания.

Цель работы – анализ данных литературы о влиянии внешних факторов на развитие конституционально-экзогенного ожирения у детей.

Материал и методы

Проведен систематический обзор литературы за последние 15 лет (2010–2024 гг.), с использованием баз данных eLibrary и PubMed, выделяя источники с соблю-

дением следующих условий поиска: дети, ожирение, факторы риска. Проанализировано 84 источника литературы, предпочтение отдавалось источникам, составленным с позиций доказательной медицины по высокому уровню достоверности и доказательности (метаанализы когортных исследований).

По данным последних Клинических рекомендаций по обследованию и лечению детей и подростков с ожирением (Американская медицинская ассоциация), внешние факторы риска развития ожирения, можно разделить на 3 группы: факторы семьи и домашнего окружения, факторы близкого окружения (район и сообщества) и социально-политические факторы [1].

Факторы семьи и домашнего окружения

Воспитание навыков оптимального, сбалансированного питания. Вопросы поведения родителей по вскармливанию, а позже кормлению детей, воспитанию у них навыков оптимального, сбалансированного питания, культуры здорового питания имеют громадное значение для всей последующей жизни [12]. Внутриутробный период и первые 2 года жизни ребенка являются «критическим окном» для развития избыточной массы тела (МТ) или ожирения. Характер вскармливания (естественное или искусственное) после рождения может снизить риск реализации заложенных внутриутробно проблем, связанных с питанием, или, наоборот, увеличить их [13]. Отзывчивое, с положительными эмоциями кормление, при котором родители чутко реагируют на сигналы ребенка о голоде и насыщении, считается средством защиты от чрезмерного набора МТ. Было показано, что дети из таких семей употребляют больше здоровой пищи, более физически активны и чаще имеют нормальный индекс массы тела (ИМТ) по сравнению с детьми, выросшими в семьях без ограничений в поведении, со снисходительным или небрежным стилем воспитания [14, 15].

Кормление может выступать в роли отвлекающего и успокаивающего средства; использование сладостей в качестве награды, недостаточное понимание потребностей ребенка, а также интерпретация любых проявлений эмоций как чувства голода и игнорирование необходимости правильного формирования рациона ребенка – все это нарушает способность к распознаванию сигналов голода и насыщения, создавая условия для вероятного появления ожирения [16].

В результате пища становится доминирующим источником удовольствия и комфорта. Авторитарный родитель может не реагировать на сигналы ребенка о потреблении энергии, что приводит к снижению способности ребенка самостоятельно регулировать потребление энергии и более высокой вероятности перекармливания, когда ему предоставляется возможность поесть [17]. Крупное перекрестное исследование показало, что среди детей дошкольного и школьного возраста авторитарное или недолжное воспитание связано с более высоким риском

возникновения ожирения [18]. Более 40% подростков имеют нарушения пищевого поведения, которые могут приводить к перееданию и развитию либо прогрессирующему ожирению [19].

При эмоциогенном типе пищевого поведения стимулом к приему пищи также является не голод, а эмоциональный дискомфорт, который человек пытается облегчить с помощью высококалорийной еды, в которой преобладают продукты, богатые углеводами и жирами. Причиной переедания могут быть как отрицательные, так и положительные эмоции. Среди детей с ожирением эмоциональное переедание встречается чаще, чем у детей с нормальной МТ [19].

Систематический обзор ассоциаций между организацией семейно-домашней обстановки и детским ожирением показал, что большая организованность домашней обстановки, включающей соблюдение установленных в семье правил и ограничений, была обратно пропорционально связана с ожирением [20].

Семейные традиции, связанные со сладкими продуктами и соками. Проведенный с позиций доказательной медицины обзор 20 проспективных когортных и рандомизированных контролируемых исследований с 2013 по 2015 г. показал в 95% исследований, что потребление подслащенных сахаром напитков и соков было положительно ассоциировано с ожирением у детей [21]. На основе этого обзора и других, демонстрирующих связь между сладкими напитками и ожирением, было опубликовано заявление о необходимости ограничения потребления количества добавленного сахара с сахаросодержащими напитками детьми и подростками [22].

Размеры порций. Всесторонний обзор размера порций показал, что дети, которые готовят или получают большие порции любимых высококалорийных продуктов, обычно потребляют большее количество еды, вместе с тем долгосрочные исследования влияния больших порций с течением времени на ряд переменных, включая МТ, отсутствуют [23].

Семейное питание, связанное с частым использованием фастфуда. Систематический обзор потребления ультрапереработанных пищевых продуктов (фастфуд) у детей и подростков выявил положительную связь с ожирением [24].

Обеды вне дома и семейные трапезы. Доказано, что прием пищи вне дома как детьми, так и взрослыми связан с более высоким потреблением энергии. В систематическом обзоре исследований, проведенных среди детей и взрослых, потребление пищи в заведениях быстрого питания было связано со значительно более высокой прибавкой МТ по сравнению с таковой при использовании заведений питания других типов. Еда навынос также ассоциировалась с высоким ИМТ [25]. Следовательно, прием пищи вне дома связан с более высоким риском увеличения МТ или ИМТ. Вместе с тем увеличение частоты приема пищи в семье связано с более низким риском детского ожирения [26].

Просмотр телевизора и других электронных средств (видеоигры, компьютер, смартфон, планшет).

Время перед экраном стало повсеместной частью современного детства. Многие дети каждый день проводят часы перед экранами, смотря телевизор, используя смартфон, компьютер или играя в видеоигры. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендовала полностью избегать использования экрана у детей в возрасте от 18 до 24 мес и ограничить время использования экрана до 1 ч в день у детей в возрасте 2–5 лет [27, 28]. Хотя не существует единого мнения относительно количества времени, проведенного перед экраном, которое считается вредным для детей старшего возраста, обычно предлагается ограничить это время 2 ч в день. Исследования показали достоверную связь между временем, проведенным перед экраном, и ожирением у детей [28]. Чрезмерное время перед экраном приводит к снижению физической активности и очень часто к употреблению большого количества пищи, причем обычно продуктов, не относящихся к здоровому питанию, и сладких напитков, которые могут способствовать увеличению МТ. Маркетинг таких продуктов и напитков через экранные средства массовой информации также может способствовать развитию ожирения. В метаанализе выборки большого размера ($n=112\,489$) отмечено, что длительное время перед экраном связано с более высоким риском (в 1,27 раза) развития ожирения у подростков, при этом просмотр телевизора является наиболее значимым фактором [29]. Отмечается повышение риска избыточной МТ или ожирения на 42% при просмотре телевизора более 2 ч в день по сравнению с меньшим временем просмотра [30, 31].

Имеются данные, подтверждающие связь между просмотром видео- и телепередач и потреблением нездоровой пищи (фастфуд, чипсы, сахаросодержащие напитки) и высоким потреблением энергии [26]. Внешний вид или изображение продуктов и блюд во время телепросмотра может повлиять на диетическое поведение ребенка. Так, систематический обзор, изучающий выбор и потребление пищевых продуктов, показал, что реклама продуктов, включенных в развлекательные программы средств массовой информации, влияет на пищевое поведение детей [32, 33].

Хотя «экранное время» включает телевизор, компьютер, видео или видеоигры, мобильные телефоны и другие цифровые устройства, в большинстве опубликованных исследований изучалось влияние просмотра телепередач. Увеличение экранного времени может вытеснить физическую активность и нарушить сон [27]. С гендерных позиций мальчики, как правило, проводят больше времени за экранами мультимедийных устройств и других интернет-технологий, чем девочки [30].

Малоподвижный образ жизни (низкая физическая активность). Не менее значимый фактор набора избыточной МТ – низкая физическая активность во всех возрастных группах, особенно у подростков [34], которая связана с продолжительной работой за компьютером, низким вовлечением в уборку дома (квартиры), покупку и доставку продуктов, отсутствие занятий спортом, подвижными играми. Все более урбанизированный и циф-

ровой мир предлагает меньше возможностей для физической активности через подвижные игры. Избыточная МТ или ожирение еще больше сокращают возможности детей участвовать в групповых физических упражнениях, подвижных играх. В то же время было показано, что связь между малоподвижным поведением и ожирением варьирует от незначительной до отрицательной. Исследование, изучающее влияние только малоподвижного поведения на МТ с использованием измерений акселерометром, не выявило никакой связи между малоподвижным поведением и ожирением. Выявить последствия только сидячего образа жизни в исследованиях может быть непросто, поскольку его часто путают с другими понятиями, такими как физическая активность, время, проведенное у экрана, или повышенное потребление высококалорийной пищи, бедной эссенциальными нутриентами [35]. По данным анкетирования школьников Свердловской области в возрасте 11–15 лет, респонденты с избыточной МТ были в меньшей степени физически активны в сравнении со сверстниками с нормальной МТ [34].

Рекомендации ВОЗ по физической активности включают минимальные 60 мин умеренной или интенсивной физической активности ежедневно [27]. Фактические данные, к сожалению, подтверждают, что среди детей и подростков малоподвижный образ жизни является нормой, а не исключением, а появляющиеся сведения после пандемии COVID-19 подтверждают, что число детей и подростков, соблюдающих рекомендации по физической активности, сокращается. Пандемия COVID-19 привела к реализации политики, предусматривающей различные ограничения в повседневной жизни, включая социальное дистанцирование, закрытие государственных служб и школ, а также ограничения передвижения [36]. Необходимость социальной изоляции привела к возникновению новых случаев и возрастанию степени уже имеющегося ожирения, а также к развитию сопутствующих заболеваний. Среди механизмов, предложенных для объяснения этих ассоциаций, – снижение расхода энергии в связи с низкой физической активностью [37].

У детей и подростков малоподвижный образ жизни связан с повышенным риском развития ожирения, сердечно-сосудистым риском, ухудшением физической формы, поведенческими проблемами и снижением самооценки [36].

С возрастом количество часов, проведенных в школе, и время, затрачиваемое для выполнения домашних заданий и самостоятельной работы, также увеличивается, т.е. в подростковом возрасте увеличивается время вынужденного сидения. Длительные периоды бездействия особенно характерны для детей и подростков с ожирением. Здоровый день ребенка должен включать различные виды физической активности, сопровождая домашние задания различными движениями, ограничивая при этом статическую работу, когда это возможно. Такая стратегия, как «меньше сидеть и больше двигаться», может быть рекомендована детям с ожирением

для замены сидячего образа жизни физической активностью любой интенсивности, которая принесет пользу здоровью [38, 39].

Продолжительность сна (нарушенные циркадные ритмы). Еще одним из важных факторов риска развития ожирения является снижение продолжительности сна, которое характерно для современных детей и особенно подростков. Уменьшение продолжительности сна за последние десятилетия в среднем на 1,5 ч сопровождается как развитием синдрома хронической усталости, сопровождающимся ухудшением работоспособности, снижением внимания, двигательной активности, так и нарушениями центральных механизмов регуляции энергообмена: уменьшением выработки лептина и возрастанием концентрации грелина, что приводит к более высокому риску ожирения [40]. Процесс метаболизма также регулируется циркадными ритмами, в виде «центральных часов», расположенных в супрахиазматическом ядре головного мозга, и «периферическими часами», расположенными в различных тканях и органах тела. Наиболее выраженным циркадным ритмом является цикл «сон–бодрствование». Здоровый ночной сон необходим для полноценного функционирования мозга, памяти, регуляции метаболических процессов, созревания и роста. Достаточный сон необходим для поддержания здорового физического, умственного и эмоционального функционирования.

Обследование состояния здоровья и питания в рамках программы NHANES показало, что существует связь между малым количеством часов ежесуточного ночного сна и более высокой распространенностью ожирения [41]. Метаанализ проспективных когортных исследований также продемонстрировал обратную зависимость «доза–эффект» между продолжительностью сна и риском избыточной МТ и ожирением у детей. Короткую продолжительность сна связывают с гормональными изменениями: повышением концентрации грелина и снижением уровня лептина, приводящих к появлению или нарастанию чувства голода [42]. Ограничение сна как фактора риска ожирения связывают и с повышенным потреблением калорий [43].

Воздействие пассивного курения. Согласно систематическому обзору, у детей, до 8 лет жизни подвергшихся воздействию табачного дыма из окружающей среды, более высокий ИМТ по сравнению с их сверстниками, не подвергавшимися воздействию [44].

Психосоциальный стресс матери имеет большое значение еще в антенатальном периоде, оказывая влияние на функции эндокринной системы плода (гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковую систему и метаболизм глюкозы и инсулина), и в течение последующего постнатального периода. Метаанализ показал, что пренатальный психологический стресс матери был связан с более высоким риском детского и подросткового ожирения [45]. Психосоциальные и эмоциональные проблемы у самих детей, так же как и у взрослых, могут привести к увеличению МТ вследствие приемов пищи для подавления негативных эмоций при отсутствии чув-

ства голода, сопровождаемому снижением физической активности, малоподвижным образом жизни и нарушениями ночного сна [45]. Показано, что испытываемый родителями стресс может влиять на их детей-подростков, обуславливая большие объемы потребления пищи, более частые перекусы, приводя в итоге к увеличению МТ [46].

Депрессия. Доказано, что одна из составляющих психосоциального стресса – депрессия – является фактором риска как при детском, так и при взрослом ожирении [47]. У детей с ожирением чаще наблюдаются тревожные и депрессивные симптомы по сравнению с их сверстниками с нормальной МТ.

Неблагоприятный опыт детства (НОД). Выявляется связь между НОД и развитием избыточной МТ и ожирения. Влияние НОД проявляется, когда ребенок испытывает воздействие сильных, частых и/или продолжительных неблагоприятных факторов, таких как постоянная безнадзорность, злоупотребление психоактивными веществами со стороны опекуна, экономические трудности семьи, отсутствие адекватной поддержки взрослых [48].

К факторам НОД относятся также физическое, эмоциональное или сексуальное насилие в анамнезе, подверженность домашнему насилию, распад семьи в результате развода родителей, экономическая незащищенность, психические заболевания, потеря родителя из-за смерти или тюремного заключения [49].

У детей, подвергшихся неблагоприятному воздействию, могут наблюдаться также изменения в иммунологических, метаболических и эпигенетических процессах, которые повышают риск ожирения [50].

Свойства аппетита, способствующие набору массы тела. Различия в аппетите у детей проявляются уже в младенчестве, начиная с грудного вскармливания. Было показано, что стиль питания младенца имеет важное значение. Быстрый стиль питания, характеризующийся увеличением количества глотков пищи в минуту, может быть поведенческим маркером развития детского ожирения [51]. Было высказано предположение, что быстрое употребление пищи приводит к большому потреблению энергии.

Использование лекарственных средств. Использование ряда лекарственных препаратов связано с увеличением МТ. К таким средствам относятся глюкокортикоиды, производные сульфонилмочевины, инсулин, тиазолидиндионы, нейролептики, трициклические антидепрессанты, противоэпилептические препараты [52]. Величина риска, связанного с лекарственно-индуцированным ожирением, до конца не известна. Поэтому существует настоятельная необходимость в дополнительных исследованиях и последующей разработке стратегии снижения риска развития ожирения при использовании этих препаратов в лечении различных заболеваний.

Роль кишечного микробиома. Фактором, влияющим на формирование микробиоты будущего ребенка, является микробная колонизация ребенка микрофлорой матери и окружающей среды, которая происходит

в родах и постнатальном периоде. Внутриутробный и неонатальный периоды представляют собой критические этапы формирования микробиома ребенка, от которых во многом зависит состояние его здоровья в течение всей последующей жизни [53]. Большое влияние на формирование микробиоты новорожденного и ребенка грудного возраста оказывает характер вскармливания. При грудном вскармливании в фекалиях младенцев преобладают *Bifidobacterium* spp., в отличие от детей, находящихся на искусственном вскармливании [54].

Микробиота кишечника хорошо адаптируется к поглощению калорий, позволяя хозяину запасаться дополнительной энергией. В этой связи заслуживают внимания исследования кишечного микробиома по способности некоторых бактериальных штаммов вызывать неспецифическое воспаление, приводя к характерным для ожирения метаболическим изменениям [55]. Доказана роль в патогенезе ожирения нейротрансмиттерных нарушений в функционировании оси «кишечник – головной мозг». Учитывая роль микробиоты в развитии ожирения, пробиотики показали свою эффективность в снижении МТ [56].

Ожирение и чрезмерный набор МТ во время беременности оказывают негативное влияние на бактериальный состав грудного молока [57]. Установлено, что для микробиоты пациентов с ожирением характерны повышение числа бактерий типа *Firmicutes* при снижении содержания *Bacteroidetes* [58–60]. Изменение соотношения *Bacteroidetes* и *Firmicutes* у детей с ожирением по сравнению с детьми с нормальной МТ подтверждено в систематическом обзоре, который объединил данные разных исследований по кишечной микробиоте [61].

Модуляция микробиоты кишечника с использованием пре- и пробиотиков заявляется в качестве возможных стратегий профилактики и лечения ожирения [62–64].

Факторы близкого окружения (район и сообщества)

Школьная среда. Дети проводят немалую часть своего времени в школе. Образовательные учреждения играют важную роль, влияя на выбор детьми продуктов и в конечном счете на их МТ [65].

Манифестация ожирения чаще происходит в раннем школьном возрасте, причем у мальчиков достоверно раньше, чем у девочек. В большинстве случаев у детей были нарушения режима питания, гипокинезия [66]. Отмечена прямая связь между точками быстрого питания, а также круглосуточными магазинами, расположенными рядом со школами, и наличием ожирения у детей, причем эффект был сильнее у младших школьников. При этом выявлена более сильная связь между наличием точек быстрого питания и продуктовых магазинов, расположенных рядом со школами, и наличием ожирения [67].

Вместе с тем было показано, что пищевая среда по соседству имеет неоднозначную связь с ИМТ детей.

Одни исследования показали, что расстояние от дома до супермаркета в 1,6 км или меньше связано с более низким ИМТ [68], другие исследования свидетельствуют: чем больше супермаркетов расположено рядом с домом ребенка, тем выше ИМТ ребенка, либо не показывают никакой связи [69]. Было высказано предположение, что низкая доступность свежих фруктов и овощей может быть фактором риска детского и подросткового ожирения, поскольку может привести к увеличению зависимости от нездоровой пищи и ее потребления. Однако данные об этой связи также противоречивы. Недавний систематический обзор показал, хотя существует отрицательная связь между доступом к свежим фруктам и овощам и нездоровым пищевым поведением, связь между доступом к свежим фруктам и овощам и избыточной МТ и ожирением была неубедительной [70].

Выявляется роль точек быстрого питания, где продают относительно недорогие и калорийные блюда быстрого приготовления как источника нездоровой пищи с высоким содержанием насыщенных жиров, простых углеводов, сахара и поваренной соли (фастфуд), способствующей увеличению МТ детей. Из-за легкой доступности, вкуса и маркетинговых стратегий продукты фастфуд, как правило, пользуются популярностью у детей и подростков. Метаанализ наряду с недавним систематическим обзором выявил сложную и многогранную связь между посещением заведений быстрого питания и поведением, связанным с МТ у детей и подростков. Было показано, что эта связь сильнее в популяциях с более низким социально-экономическим статусом [71].

Доступ к безопасной физической активности. Окружение ребенка может влиять на уровень его физической активности. Например, проживание в городской среде с отсутствием безопасных мест для прогулок и/или озеленения, где дети могли бы играть, может привести к снижению уровня физической активности. Было показано, что большее пребывание в озелененных местах связано с более высоким уровнем физической активности и более низким риском ожирения. Выявлено неблагоприятное влияние на детское ожирение плотной жилой застройки, связанной с обусловленным дорожным движением загрязнением воздуха, показателями пешеходной доступности, малым количеством зеленых насаждений [72].

Факторы риска ожирения, которые могут контролироваться властными структурами на государственном или местном уровне

В настоящее время постулируется тезис о том, что важным внешним фактором повышенного риска развития детского ожирения является неравенство в экономическом, гражданско-политическом, культурном или экологическом отношении, которое может приводить к различиям в состоянии здоровья, начиная с рождения и до подросткового возраста, и оказывать неизбежное

влияние на детское ожирение [1]. Отмечается, что факторы риска ожирения встроены в социальную и экологическую структуру жизни детей, и подчеркивается необходимость экономических, гражданско-политических, культурных или экологических условий для обеспечения паритета и равноправия детей. Подчеркивается, что трудно внести или поддерживать изменения в здоровом поведении в среде, способствующей ожирению, которая благоприятствует нездоровому питанию и малоподвижному образу жизни [1].

Неблагоприятные экологические факторы. Воздействие опасных факторов окружающей среды во внутриутробный период, в младенчестве и в детском возрасте может оказывать влияние на здоровье и благополучие детей. Химические вещества, разрушающие эндокринную систему (Endocrine disrupting chemicals), могут проникать через плацентарный барьер и воздействовать на плод [73]. Имеются сведения, показывающие связь между пренатальным воздействием бисфенола А и полифторалкильных веществ и детским ожирением [74]. В раннем детстве воздействие химических веществ может происходить при вскармливании, вдыхании, проглатывании или проникновении через кожу. Дети подвергаются воздействию химических веществ, которые используются в бытовых изделиях, включая чистящие средства, пищевую упаковку, пестициды, ткани, обивку мебели. Сообщалось о вымывании химических веществ (например, бисфенолов, фталатов, парабенов и других химических веществ, разрушающих эндокринную систему) из бутылочек для кормления младенцев, одежды, защитных кремов при использовании подгузников. Воздействие эндокринных дизрапторов в раннем детстве может оказать влияние на программирование эндокринной системы и метаболизма и, как следствие, на ИМТ, сердечно-сосудистые и метаболические показатели в дальнейшей жизни [75].

Маркетинг пищевых продуктов с низкой пищевой ценностью. Маркетинг пищевых продуктов и напитков с низкой пищевой ценностью и высокой калорийностью, ориентированный на детей, как правило, негативно влияет на их диетический выбор и пищевое поведение. В настоящее время маркетинг для детей нацелен на привлекательные по вкусовым качествам, относительно недорогие продукты и напитки с высокой калорийностью, проводится через телевидение, веб-сайты, онлайн-игры, в супермаркетах и за пределами школ [76]. Было показано, что пищевые продукты и напитки, представленные в развлекательных программах средств массовой информации, влияют на пищевое поведение детей, а также увеличивают потребление таких продуктов [77]. Систематический обзор и метаанализ клинических исследований показали, что даже кратковременное воздействие рекламы нездоровых пищевых продуктов и напитков, ориентированной на детей, приводило к увеличению потребления такой пищи и изменению поведения во время и после воздействия [78]. В 2023 г. Европейское региональное

бюро ВОЗ опубликовало второе издание модели региональных профилей нутриентов, где приведен перечень критериев в области питания для защиты детей от маркетинга нездоровых продуктов питания и нездоровых безалкогольных напитков [79].

Социально-экономический статус детей. Ожирению более подвержены дети и подростки с низким социально-экономическим статусом. Дети в таких условиях могут не иметь доступа к безопасным местам для занятий физической активностью. Низкий социально-экономический статус в раннем детстве оказывает долгосрочное влияние на развитие избыточной МТ и ожирения, связанных с последствиями стресса, бедностью в раннем детстве [70]. Семьи с детьми в таких условиях будут бороться с бедностью, отсутствием доступа к здоровой пище и социальной поддержки. Особое место занимают дети из семей иммигрантов. Показатели избыточной МТ и ожирения в детском возрасте среди иммигрировавших семей существенно различаются как в зависимости от этнической принадлежности, так и от продолжительности иммиграции. Так, в США, где катанез семей иммигрантов проводится давно, выявлено, что у иммигрантов из стран с более низкой распространенностью ожирения эти показатели могут увеличиваться. Кроме того, в некоторых культурах могут предпочитаться большие размеры тела как показатель здоровья и достатка [80]. Этот культурный фактор может затруднить родителям понимание опасности избыточной МТ или ожирения их детей.

Недостаточная продовольственная безопасность. «Продовольственная безопасность – это элемент национальной безопасности государства, когда все люди в каждый момент времени имеют физический и экономический доступ к достаточной в количественном отношении безопасной пище, необходимой для ведения активной и здоровой жизни». В Римской декларации по всемирной продовольственной безопасности 1996 г. говорится об «...обязанности любого государства обеспечивать право каждого человека на доступ к безопасным для здоровья и полноценным пищевым продуктам в соответствии с правом на адекватное питание». Установлено, что корреляция между отсутствием продовольственной безопасности и наличием ожирения выше у подростков, которые, возможно, в большей степени сталкивались с недостаточной продовольственной безопасностью на протяжении своей жизни [81]. Продовольственная безопасность зависит и от уклада семьи. В семьях с низкой продовольственной безопасностью установлена связь между повышенным потреблением сахара из сладких напитков и реже происходящими совместными завтраками и ужинами [82]. В периоды снижения продовольственной безопасности, как это происходило во время пандемии COVID-19, изменения отношения к питанию в семье, выражающиеся как в стремлении ограничить потребление пищи с последующим переизбытком при свободном доступе к еде, так и принуждение к приему пищи с целью предоставить достаточное пита-

ние ребенку при недостатке продуктов в семье, могут служить дополнительным фактором риска развития ожирения у детей и подростков [83].

Лечение ожирения обходится дорого как пациентам, так и системе здравоохранения. Так, в 2019 г. ежегодные медицинские расходы, связанные с ожирением у детей в США, составили 1,3 млрд долларов. Медицинские расходы на детей с ожирением были на 116 долларов выше на человека в год, чем на детей с нормальной массой тела [84].

Заключение

Ожирение является заболеванием, характерным для современного общества, и все возможные внешние факторы риска ожирения: факторы семьи и домашнего окружения, факторы близкого окружения (район и сообщества) и социальные факторы – влияют на возникновение и развитие этой глобальной проблемы.

Оптимальное полноценное питание на антенатальном этапе и после рождения может снизить риск реализации заложенных внутриутробно проблем. Низкая физическая активность во всех возрастных группах детей является не менее значимым фактором развития ожирения, поскольку все более урбанизированный и цифровой мир предлагает мало возможностей для физической активности через подвижные игры и другие виды деятельности. Другим значимым фактором, способствующим возникновению ожирения, является сокращение времени, отводимого на сон, у нынешнего поколения. Пристальное внимание исследователей привлекает способность определенных бактериальных штаммов микробиоты кишечника вызывать неспецифическое воспаление, приводя к характерным для ожирения метаболическим изменениям.

Одним из ключевых факторов, влияющих на поступление пищевых веществ, является пищевое поведение. Его нарушения могут способствовать развитию и прогрессированию ожирения у детей. Кроме того, факторы риска ожирения на государственном уровне связаны с контролем за экологическими загрязнителями в пищевых продуктах, которые могут оказывать влияние на его возникновение. Значительное вклад на этом уровне может вносить также контроль с регулированием вплоть до запрета маркетинга несбалансированных пищевых продуктов и напитков в средствах массовой информации, адресное повышение уровня социально-экономического положения детей в многодетных и социально неблагополучных семьях для обеспечения доступа к здоровым и полноценным пищевым продуктам.

Ключевое значение как фактора протектора или риска детского ожирения отводится семье, ее укладу, традициям, представлениям, влияющим на выбор продуктов и блюд, включая количественные и качественные характеристики, культуру питания. Именно семья, начиная с первых месяцев жизни ребенка, дает основу для здорового или нездорового питания, где происходит

формирование вкусовых и пищевых привычек. Весьма символично, что для популяризации государственной политики в сфере защиты семьи, сохранения традиционных семейных ценностей 2024 год в России был объявлен Годом семьи.

Знание и понимание роли внешних факторов риска, а большинство из известных на сегодняшний день являются управляемыми, в развитии конституционально-экзогенного ожирения необходимо для выработки эффективных методов прогноза и профилактики ожирения.

Сведения об авторах

Джумагазиев Анвар Абдрашитович (Anvar A. Dzhumagaziev) – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры пропедевтики детских болезней, поликлинической и неотложной педиатрии ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России (Астрахань, Российская Федерация)

E-mail: anver_d@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-7202-5501>

Шилина Наталия Михайловна (Nataliya M. Shilina) – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории возрастной нутрициологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: n_shilina@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2784-2852>

Безрукова Дина Анваровна (Dina A. Bezrukova) – доктор медицинских наук, заведующий кафедрой пропедевтики детских болезней, поликлинической и неотложной педиатрии ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России (Астрахань, Российская Федерация)

E-mail: dina-bezrukova@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0001-6819-5797>

Отто Наталья Юрьевна (Natalia Yu. Otto) – кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики детских болезней, поликлинической и неотложной педиатрии ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России (Астрахань, Российская Федерация)

E-mail: natalia.otto@yandex.ru

<http://orcid.org/0000-0003-4249-2226>

Сосиновская Екатерина Валерьевна (Ekaterina V. Sosinovskaya) – ассистент кафедры пропедевтики детских болезней, поликлинической и неотложной педиатрии ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России (Астрахань, Российская Федерация)

E-mail: kati_mayu@mail.ru

<http://orcid.org/0009-0003-5526-5444>

Филипчук Анатолий Владиславович (Anatoliy V. Filipchuk) – ассистент кафедры пропедевтики детских болезней, поликлинической и неотложной педиатрии ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России (Астрахань, Российская Федерация)

E-mail: filipchuk777797@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1081-5687>

Литература

1. Hampl S.E., Hassink S.G., Skinner A.C., Armstrong S.C., Barlow S.E., Bolling C.F. et al. Executive summary: clinical practice guideline for the evaluation and treatment of children and adolescents with obesity // *Pediatrics*. 2023. Vol. 151, N 2. Article ID e2022060641 DOI: <https://doi.org/10.1542/peds.2022-060641>
2. Трошина Е.А., Ершова Е.В. Фармакотерапия ожирения: что нового? // *Проблемы эндокринологии*. 2018. Т. 64, № 4. С. 270–276. DOI: <https://doi.org/10.14341/probl9315>
3. Петеркова В.А., Безлепкина О.Б., Болотова Н.В., Богова Е.А., Васюкова О.В., Гириш Я.В. и др. Клинические рекомендации «Ожирение у детей» // *Проблемы эндокринологии*. 2021. Т. 67, № 5. С. 67–83. DOI: <https://doi.org/10.14341/probl12802>
4. Ward Z.J., Long M.W., Resch S.C., Giles C.M., Craddock A.L., Gortmaker S.L. Simulation of growth trajectories of childhood obesity into adulthood // *N. Engl. J. Med.* 2017. Vol. 377, N 22. P. 2145–2153. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1703860>
5. Петеркова В.А., Васюкова О.В. К вопросу о новой классификации ожирения у детей и подростков // *Проблемы эндокринологии* 2015. Т. 61, № 2. С. 39–44. DOI: <https://doi.org/10.14341/probl201561239-44>
6. Васюкова О.В., О कोरोков П.Л., Малиевский О.А., Неймарк А.Е., Зорин Е.А., Яшков Ю.И. и др. Клинические рекомендации «Ожирение у детей» // *Ожирение и метаболизм*. 2024. Т. 21, № 4. С. 439–453. DOI: <https://doi.org/10.14341/omet13194>
7. Лир Д.Н., Перевалов А.Я., Мишукова Т.А. Качество жизни детей дошкольного возраста с ожирением // *Вопросы питания*. 2021. Т. 90, № 5. С. 59–66. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-59-66>
8. Дахильгова Х.Т. Детское ожирение: современное состояние проблемы // *Вопросы детской диетологии*. 2019. Т. 17, № 5. С. 47–53. DOI: <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2019-5-47-53>
9. Козлов А.И., Вершубская Г.Г. Избыточная масса и ожирение у сельских школьников российской Арктики и Севера в 1994–2019 гг. // *Экология человека*. 2022. Т. 29, № 5. С. 357–366. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco105293>
10. Грицинская В.Л., Новикова В.П., Хавкин А.И. К вопросу об эпидемиологии ожирения у детей и подростков (систематический обзор и мета-анализ научных публикаций за 15-летний период) // *Вопросы практической педиатрии*. 2022. Т. 17, № 2. С. 126–135. DOI: <https://doi.org/10.20953/1817-7646-2022-2-126-135>
11. Туркина Т.И., Щербо С.Н., Талицкий В.В. Некоторые вопросы генетики ожирения и метаболизма у детей и подростков // *Медицинский алфавит*. 2017. Т. 1, № 6. С. 5–8.
12. Пырьева Е.А., Сафронова А.И., Гмошинская М.В. Новые продукты в питании детей раннего возраста и их роль в формировании пищевого поведения // *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2019. Т. 64, № 1. С. 130–135. DOI: <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2019-64-1-130-135>
13. Программа оптимизации питания детей в возрасте от 1 года до 3 лет в Российской Федерации : методические рекомендации. Москва : ФГАУ «НМИЦ здоровья детей» Минздрава России, 2019. 36 с. ISBN: 978-5-6043946-0-1.

14. Sokol R.L., Qin B., Poti J.M. Parenting styles and body mass index: a systematic review of prospective studies among children // *Obes. Rev.* 2017. Vol. 18, N 3. P. 281–292. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12497>
15. Павловская Е.В., Стародубова А.В. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных рекомендаций по диагностике и лечению ожирения у детей и подростков // *Медицинский оппонент*. 2023. Т. 23, № 3. С. 6–14.
16. Rankin J., Matthews L., Cobley S., Han A., Sanders R., Wiltshire H., Baker J. Psychological consequences of childhood obesity: psychiatric comorbidity and prevention // *Adolesc. Health Med. Ther.* 2016. Vol. 7. P. 125–146. DOI: <https://doi.org/10.2147/AHMT.S101631>
17. Patrick H., Hennessy E., McSpadden K., Oh A. Parenting styles and practices in children's obesogenic behaviors: scientific gaps and future research directions // *Child. Obes.* 2013. Vol. 9, N 5. P. 73–86. DOI: <https://doi.org/10.1089/chi.2013.0039>
18. Kakinami L., Barnett T.A., Séguin L., Paradis G. Parenting style and obesity risk in children // *Prev. Med.* 2015. Vol. 75, N 2. P. 18–22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2015.03.005>
19. Гириш Я.В., Юдицкая Т.А. Роль и место нарушений пищевого поведения в развитии детского ожирения // *Вестник СурГУ. Медицина* 2013. Т. 3, № 17. С. 14–21.
20. Bates C.R., Buscemi J., Nicholson L.M., Cory M., Jagpal A., Bohnert A.M. Links between the organization of the family home environment and child obesity: a systematic review // *Obes. Rev.* 2018. Vol. 19, N 5. P. 716–727. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12662>
21. Luger M., Lafontan M., Bes-Rastrollo M., Winzer E., Yumuk V., Farpour-Lambert N. Sugar-sweetened beverages and weight gain in children and adults: a systematic review from 2013 to 2015 and a comparison with previous studies // *Obes. Facts.* 2017. Vol. 10, N 6. P. 674–693. DOI: <https://doi.org/10.1159/000484566>
22. Muth N.D., Dietz W.H., Magge S.N., Johnson R.K.; American Academy of Pediatrics; Section on Obesity; Committee on Nutrition; American Heart Association. Public policies to reduce sugary drink consumption in children and adolescents // *Pediatrics*. 2019. Vol. 143, N 4. Article ID e20190282. DOI: <https://doi.org/10.1542/peds.2019-0282>
23. Birch L.L., Savage J.S., Fisher J.O. Right sizing prevention. Food portion size effects on children's eating and weight // *Appetite*. 2015. Vol. 88, N 2. P. 11–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.11.021>
24. Costa C.S., Del-Ponte B., Assunção M.C.F., Santos I.S. Consumption of ultra-processed foods and body fat during childhood and adolescence: a systematic review // *Public Health Nutr.* 2018. Vol. 21, N 1. P. 148–159. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1368980017001331>
25. Nago E.S., Lachat C.K., Dossa R.A., Kolsteren P.W. Association of out-of-home eating with anthropometric changes: a systematic review of prospective studies // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2014. Vol. 54, N 9. P. 1103–1116. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.627095>
26. Dallacker M., Hertwig R., Mata J. The frequency of family meals and nutritional health in children: a meta-analysis // *Obes. Rev.* 2018. Vol. 19, N 5. P. 638–653. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12659>
27. Guidelines on Physical Activity, Sedentary Behaviour and Sleep for Children under 5 Years of Age. WHO Guidelines Approved by the Guidelines Review Committee. Geneva, 2019. ISBN: 9789241550536.
28. Ramirez-Coronel A.A., Abdu W.J., Alshahrani S.H., Treve M., Jalil A.T., Alkhayat A.S. et al. Childhood obesity risk increases with increased screen time: a systematic review and dose-response meta-analysis // *J. Health Popul. Nutr.* 2023. Vol. 42, N 1. P. 5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41043-022-00344-4>
29. Haghighi P., Siri G., Soleimani E., Farhangi M.A., Alesaeidi S. Screen time increases overweight and obesity risk among adolescents: a systematic review and dose-response meta-analysis // *BMC Prim. Care*. 2022. Vol. 23, N 1. P. 161. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12875-022-01761-4>
30. Stiglic N., Viner R.M. Effects of screentime on the health and well-being of children and adolescents: a systematic review of reviews // *BMJ Open*. 2019. Vol. 9, N 1. Article ID e023191. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-023191>
31. Poorolajal J., Sahraei F., Mohamdadi Y., Doosti-Irani A., Moradi L. Behavioral factors influencing childhood obesity: a systematic review and meta-analysis // *Obes. Res. Clin. Pract.* 2020. Vol. 14, N 2. P. 109–118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.orcp.2020.03.002>
32. Jia P., Dai S., Rohli K.E., Ma Y., Yu C., Pan X. et al. Natural environment and childhood obesity: a systematic review // *Obes. Rev.* 2021. Vol. 22, N 1. Article ID e13097. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.13097>
33. Coombs N.A., Stamatakis E. Associations between objectively assessed and questionnaire-based sedentary behaviour with BMI-defined obesity among general population children and adolescents living in England // *BMJ Open*. 2015. Vol. 5, N 6. Article ID e007172. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-007172>
34. Намазова-Баранова Л.С., Ковтун О.П., Ануфриева Е.В., Набойченко Е.С. Значение поведенческих детерминант в формировании избыточной массы тела и ожирения у подростков // *Профилактическая медицина* 2019. Т. 22, № 4. С. 2043–2048. DOI: <https://doi.org/10.17116/profmed2019220424318>
35. Tripathi M., Mishra S.K. Screen time and adiposity among children and adolescents: a systematic review // *J. Public Health*. 2019. Vol. 28, N 4. P. 227–244. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10389-019-01043-x>
36. Helgadóttir B., Fröberg A., Kjellenberg K., Ekblom Ö., Nyberg G. COVID-19 induced changes in physical activity patterns, screen time and sleep among Swedish adolescents – a cohort study // *BMC Public Health*. 2023. Vol. 23, N 1. P. 380. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-023-15282-x>
37. Calcaterra V., Verduci E., Vandoni M., Rossi V., Di Profio E., Carnevale Pellino V. et al. Telehealth: a useful tool for the management of nutrition and exercise programs in pediatric obesity in the COVID-19 era // *Nutrients*. 2021. Vol. 13, N 11. P. 3689. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13113689>
38. Carson V., Hunter S., Kuzik N., Gray C.E., Poitras V.J., Chaput J.P. et al. Systematic review of sedentary behaviour and health indicators in school-aged children and youth: an update // *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2016. Vol. 41, N 6. P. 240–265. DOI: <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0630>
39. Thivel D., Tremblay M.S., Katzmarzyk P.T., Fogelholm M., Hu G., Maher C. et al. Associations between meeting combinations of 24-hour movement recommendations and dietary patterns of children: a 12-country study // *Prev. Med.* 2019. Vol. 118, N 1. P. 159–165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2018.10.025>
40. Романцова Т.И. Эпидемия ожирения: очевидные и вероятные причины // *Ожирение и метаболизм*. 2011. Т. 8, № 1. С. 5–19. DOI: <https://doi.org/10.14341/2071-8713-5186>
41. Ruan H., Xun P., Cai W., He K., Tang Q. Habitual sleep duration and risk of childhood obesity: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies // *Sci. Rep.* 2015. Vol. 5, N 3. Article ID 16160. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep16160>
42. Magee L., Hale L. Longitudinal associations between sleep duration and subsequent weight gain: a systematic review // *Sleep Med. Rev.* 2012. Vol. 16, N 3. P. 231–241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2011.05.005>
43. Larqué E., Labayen I., Flodmark C.E., Lissau I., Czernin S., Moreno L.A. et al. From conception to infancy - early risk factors for childhood obesity // *Nat. Rev. Endocrinol.* 2019. Vol. 15, N 8. P. 456–478. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0219-1>
44. Nadhiroh S.R., Djokosujono K., Utari D.M. The association between secondhand smoke exposure and growth outcomes of children: a systematic literature review // *Tob. Induc. Dis.* 2020. Vol. 18, N 2. P. 12. DOI: <https://doi.org/10.18332/tid/117958>
45. O'Connor S.G., Maher J.P., Belcher B.R., Leventhal A.M., Margolin G., Shonkoff E.T. et al. Associations of maternal stress with children's weight-related behaviours: a systematic literature review // *Obes. Rev.* 2017. Vol. 18, N 5. P. 514–525. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12522>
46. Koning M., Vink J.M., Renders C., Notten N., Eisinga R., Larsen J.K. Is the prospective link between parental stress and adolescent snack intake or weight outcome mediated by food parenting practices? // *Nutrients*. 2021. Vol. 13, N 8. P. 2485. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13082485>
47. Tate E.B., Wood W., Liao Y., Dunton G.F. Do stressed mothers have heavier children? A meta-analysis on the relationship between maternal stress and child body mass index // *Obes. Rev.* 2015. Vol. 16, N 5. P. 351–361. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12262>
48. Solmi M., Köhler C.A., Stubbs B., Koyanagi A., Bortolato B., Monaco F. et al. Environmental risk factors and nonpharmacological and nonsurgical interventions for obesity: an umbrella review of meta-analyses of cohort studies and randomized controlled trials // *Eur. J. Clin. Invest.* 2018. Vol. 48, N 12. Article ID e12982. DOI: <https://doi.org/10.1111/eci.12982>
49. Gualdi-Russo E., Manzon V.S., Masotti S., Toselli S., Albertini A., Celenza F. et al. Weight status and perception of body image in children: the effect of maternal immigrant status // *Nutr. J.* 2012. Vol. 11, N 3. P. 85. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2891-11-85>
50. Vourdoumpa A., Paltoglou G., Charmandari E. The genetic basis of childhood obesity: a systematic review // *Nutrients*. 2023. Vol. 15, N 6. P. 1416. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15061416>
51. Yengo L., Sidorenko J., Kemper K.E., Zheng Z., Wood A.R., Weedon M.N. et al. Meta-analysis of genome-wide association studies for height and body mass index in ~700000 individuals of European ancestry // *Hum. Mol. Genet.* 2018. Vol. 27, N 20. P. 3641–3649. DOI: <https://doi.org/10.1093/hmg/ddy271>
52. Berkowitz R.I., Moore R.H., Faith M.S., Stallings V.A., Kral T.V., Stunkard A.J. Identification of an obese eating style in 4-year-old children born at high and low risk for obesity // *Obesity (Silver Spring)*. 2010. Vol. 18, N 3. P. 505–512. DOI: <https://doi.org/10.1038/oby.2009.299>
53. Николаева И.В., Царегородцев А.Д., Шайхиева Г.С. Формирование кишечной микробиоты ребенка и факторы, влияющие

- на этот процесс // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2018. Т. 63, № 3. С. 13–18. DOI: <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2018-63-3-13-18>
54. Miller W.B. The eukaryotic microbiome: origins and implications for fetal and neonatal life // *Front. Pediatr.* 2016. Vol. 4, N 3. P. 96. DOI: <https://doi.org/10.3389/fped.2016.00096>
 55. Волкова Н.И., Ганенко Л.А., Головин С.Н., Березняк Е.А. Роль микробиоты кишечника в развитии ожирения и его метаболического профиля (часть I) // *Медицинский вестник Северного Кавказа*. 2019. Т. 14, № 1. С. 141–144. DOI: <https://doi.org/10.14300/mnnc.2019.14071>
 56. Тимашева Я.Р., Балхиярова Ж.Р., Кочетова О.В. Современное состояние исследований в области ожирения: генетические аспекты, роль микробиома и предрасположенность к COVID-19 // *Проблемы эндокринологии*. 2021. Т. 67, № 4. С. 20–35. DOI: <https://doi.org/10.14341/probl12775>
 57. Лифшиц К., Захарова И.Н., Дмитриева Ю.А. Влияние кишечного микробиома в норме и патологии на здоровье человека // *Медицинский совет*. 2017. № 1. С. 155–159. DOI: <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2017-1-155-159>
 58. Zhi C., Huang J., Wang J. Connection between gut microbiome and the development of obesity // *Eur. J. Clin. Microbiol. Infect. Dis.* 2019. Vol. 38, N 3. P. 1987–1998. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22179641>
 59. Collado M.C., Laitinen K., Salminen S., Isolauri E. Maternal weight and excessive weight gain during pregnancy modify the immunomodulatory potential of breast milk // *Pediatr. Res.* 2012. Vol. 2, N 1. P. 77–85. DOI: <https://doi.org/10.1038/pr.2012.42>
 60. Мазурина С.А., Максимова О.В., Гервасиева В.Б. Особенности микробиоты кишечника детей с аллергическими заболеваниями и различной массой тела // *Российский педиатрический журнал*. 2017. Т. 20, № 4. С. 202–206. DOI: [https://doi.org/10.18821/1560-9561-2017-20\(4\):202-206](https://doi.org/10.18821/1560-9561-2017-20(4):202-206)
 61. Голивец Т.П., Дубоносова Д.Г., Ликризон С.В. Ожирение и ассоциированные с ним заболевания – проблемные вопросы патогенеза и современные стратегии диагностики и лечения // *Актуальные проблемы медицины*. 2023. Т. 46, № 2. С. 123–143. DOI: <https://doi.org/10.52575/2687-0940-2023-46-2-123-143>
 62. Indiani C.M.D.S.P., Rizzardi K.F., Castelo P.M., Ferraz L.F.C., Darrieux M., Parisotto T.M. Childhood obesity and firmicutes/bacteroidetes ratio in the gut microbiota: a systematic review // *Child. Obes.* 2018. Vol. 14, N 8. P. 501–509. DOI: <https://doi.org/10.1089/chi.2018.0040>
 63. Волкова Н.И., Ганенко Л.А., Головин С.Н. Роль микробиоты кишечника в развитии ожирения и его метаболического профиля (часть II) // *Медицинский вестник Северного Кавказа*. 2019. Т. 14, № 2. С. 391–396. DOI: <https://doi.org/10.14300/mnnc.2019.14071>
 64. Краснопорова О.И., Смирнова Е.Н., Чистюсова Г.В., Батулин В.И., Торопова Е.А. Факторы, способствующие формированию ожирения у детей и подростков // *Ожирение и метаболизм*. 2013. Т. 10, № 1. С. 18–21. DOI: <https://doi.org/10.14341/2071-8713-5066>
 65. Профилактика ожирения у детей / под ред. А.П. Фисенко, В.А. Петерковой, С.Г. Макаровой. Москва: Полиграфист и издатель, 2020. 140 с. ISBN: 978-5-6044834-6-6.
 66. Matsuzaki M., Sánchez B.N., Acosta M.E., Botkin J., Sanchez-Vaznaugh E.V. Food environment near schools and body weight – a systematic review of associations by race/ethnicity, gender, grade, and socio-economic factors // *Obes. Rev.* 2020. Vol. 21, N 4. Article ID e12997. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12997>
 67. Fiechtner L., Kleinman K., Melly S.J., Sharifi M., Marshall R., Block J. et al. Effects of proximity to supermarkets on a randomized trial studying interventions for obesity // *Am. J. Public Health*. 2016. Vol. 106, N 3. P. 557–562. DOI: <https://doi.org/10.2105/AJPH.2015.302986>
 68. Griffiths C., Frearson A., Taylor A., Radley D., Cooke C. A cross sectional study investigating the association between exposure to food outlets and childhood obesity in Leeds, UK // *Int. J. Behav. Nutr. Phys.* Act. 2014. Vol. 11, N 4. P. 138. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12966-014-0138-4>
 69. Zhou Q., Zhao L., Zhang L., Xiao Q., Wu T., Visscher T. Neighborhood supermarket access and childhood obesity: a systematic review // *Obes. Rev.* 2021. Vol. 22, N 1. Article ID e12937. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12937>
 70. Li M., Mustillo S., Anderson J. Childhood poverty dynamics and adulthood overweight/obesity: the black box of childhood // *Soc. Sci. Res.* 2018. Vol. 76, N 3. P. 92–104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssres.2018.05.009>
 71. Islam M.Z., Johnston J., Sly P.D. Green space and early childhood development: a systematic review // *Rev. Environ. Health.* 2020. Vol. 35, N 2. P. 189–200. DOI: <https://doi.org/10.1515/reveh-2019-0046>
 72. Malacarne D., Handakas E., Robinson O. et al. The built environment as determinant of childhood obesity: a systematic literature review // *Obes. Rev.* 2022. Vol. 23, N 1. Article ID e13385. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.13385>
 73. Ghassabian A., Vandenberg L., Kannan K., Trasande L. Endocrine-disrupting chemicals and child health // *Annu. Rev. Pharm.* 2022. Vol. 62. P. 573–594. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-pharmtox-021921-093352>
 74. Kassotis C.D., Vandenberg L.N., Demeneix B.A., Porta M., Slama R., Trasande L. Endocrine-disrupting chemicals: economic, regulatory, and policy implications. // *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2020. Vol. 8, N 8. P. 719–730. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(20\)30128-5](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(20)30128-5)
 75. Kahn L.G., Philippat C., Nakayama S.F., Slama R., Trasande L. Endocrine-disrupting chemicals: implications for human health // *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2020. Vol. 8, N 8. P. 703–718. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(20\)30129-7](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(20)30129-7)
 76. Smith R., Kelly B., Yeatman H., Boyland E. Food marketing influences children's attitudes, preferences and consumption: a systematic critical review // *Nutrients*. 2019. Vol. 11, N 4. P. 875. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11040875>
 77. Villegas-Navas V., Montero-Simo M.J., Araque-Padilla R.A. The effects of foods embedded in entertainment media on children's food choices and food intake: a systematic review and meta-analyses // *Nutrients*. 2020. Vol. 12, N 4. P. 964. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12040964>
 78. Sadeghirad B., Duhaney T., Motaghipisheh S., Campbell N.R., Johnston B.C. Influence of unhealthy food and beverage marketing on children's dietary intake and preference: a systematic review and meta-analysis of randomized trials // *Obes. Rev.* 2016. Vol. 17, N 10. P. 945–959. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12445>
 79. WHO Regional Office for Europe Nutrient Profile Model: 2nd ed. WHO Reference Number: WHO/EURO:2023-6894-46660-68492.
 80. Harvard University, Center on the Developing Child. Key Concepts. Toxic Stress. URL: <https://developingchild.harvard.edu/science/key-concepts/toxic-stress/> (дата обращения: 05.10.2022).
 81. Burke M.P., Martini L.H., Çayır E., Hartline-Grafton H.L., Meade R.L. Severity of household food insecurity is positively associated with mental disorders among children and adolescents in the United States // *J. Nutr.* 2016. Vol. 146, N 10. P. 2019–2026. DOI: <https://doi.org/10.3945/jn.116.232298>
 82. Lee J., Kubik M.Y., Fulkerson J.A. Diet quality and fruit, vegetable, and sugar-sweetened beverage consumption by household food insecurity among 8- to 12-year-old children during summer months // *J. Acad. Nutr. Diet.* 2019. Vol. 119, N 10. P. 1695–1702. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2019.03.004>
 83. Adams E.L., Caccavale L.J., Smith D., Bean M.K. Food insecurity, the home food environment, and parent feeding practices in the era of COVID-19 // *Obesity (Silver Spring)*. 2020. Vol. 28, N 11. P. 2056–2063. DOI: <https://doi.org/10.1002/oby.22996>
 84. Centers for Disease Control and Prevention. Prevalence of Childhood Obesity in the United States. 2021. URL: <https://www.cdc.gov/obesity/data/childhood.html> (дата обращения: 05.10.2022).

References

1. Hampl S.E., Hassink S.G., Skinner A.C., Armstrong S.C., Barlow S.E., Bolling C.F., et al. Executive summary: clinical practice guideline for the evaluation and treatment of children and adolescents with obesity. *Pediatrics*. 2023; 151 (2): e2022060641 DOI: <https://doi.org/10.1542/peds.2022-060641>
2. Troshina E.A., Ershova E.V. Pharmacotherapy of obesity: what's new? *Problemy endokrinologii [Problems of Endocrinology]*. 2018; 64 (4): 270–6. DOI: <https://doi.org/10.14341/probl9315> (in Russian)
3. Peterkova V.A., Bezlepina O.B., Bolotova N.V., Bogova E.A., Vasyukova O.V., Girsh Ya.V. et al. Clinical guidelines «Obesity in children». *Problemy endokrinologii [Problems of Endocrinology]*. 2021; 67 (5): 67–83. DOI: <https://doi.org/10.14341/probl12802> (in Russian)
4. Ward Z.J., Long M.W., Resch S.C., Giles C.M., Cradock A.L., Gortmaker S.L. Simulation of growth trajectories of childhood obesity into adulthood. *N Engl J Med.* 2017; 377 (22): 2145–53. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMoal703860>
5. Peterkova V.A., Vasyukova O.V. About the new classification of obesity in the children and adolescents. *Problemy endokrinologii [Problems of Endocrinology]*. 2015; 61 (2): 39–44. DOI: <https://doi.org/10.14341/probl201561239-44> (in Russian)
6. Vasyukova O.V., Okorokov P.L., Malievsky O.A., Neymark A.E., Zorin E.A., Yashkov Ya.I., et al. Clinical recommendations «Obesity in children». *Ozhirenie i metabolism [Obesity and Metabolism]*. 2024; 21 (4): 439–53. DOI: <https://doi.org/10.14341/omet13194> (in Russian)

7. Lir D.N., Perevalov A.Ya., Mishukova T.A. The quality of life of overweight preschool children. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2021; 90 (5): 59–66. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-59-66> (in Russian)
8. Dakhkil'gova Kh.T. Childhood obesity: the current state of the problem. *Voprosy detskoy dietologii* [Problems of Pediatric Nutrition]. 2019; 17 (5): 47–53. DOI: <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2019-5-47-53> (in Russian)
9. Kozlov A.I., Vershubskaia G.G. Overweight and obesity in rural school-children of the Russian Arctic and the North in 1994–2019. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2022; 29 (5): 357–66. DOI: <https://doi.org/10.17816/humecol105293> (in Russian)
10. Gritsinskaya V.L., Novikova V.P., Khavkin A.I. On the epidemiology of obesity in children and adolescents (a systematic review and meta-analysis of scientific publications over a 15-year period). *Voprosy prakticheskoy pediatrii* [Problems of Practical Pediatrics]. 2022; 17 (2): 126–35. DOI: <https://doi.org/10.20953/1817-7646-2022-2-126-135> (in Russian)
11. Turkina T.I., Shcherbo S.N., Talitsky V.V. Some issues of obesity genetics and metabolism in children and adolescents. *Meditinskiy alfavit* [Medical Alphabet]. 2017; 1 (6): 5–8. (in Russian)
12. Pyr'eva E.A., Safronova A.I., Gmshinskaya M.V. New foods in the diet of young children and their role in shaping eating behavior. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii* [Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics]. 2019; 64 (1): 130–5. DOI: <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2019-64-1-130-135> (in Russian)
13. Nutrition optimization program for children aged 1 to 3 years in the Russian Federation: methodological recommendations. Moscow: FGAU «NMITs zdorov'ya detey» Minzdrava Rossii, 2019: 36 p. ISBN: 978-5-6043946-0-1. (in Russian)
14. Sokol R.L., Qin B., Poti J.M. Parenting styles and body mass index: a systematic review of prospective studies among children. *Obes Rev.* 2017; 18 (3): 281–92. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12497>
15. Pavlovskaya E.V., Starodubova A.V. Comparative analysis of domestic and foreign recommendations for the diagnosis and treatment of obesity in children and adolescents. *Meditinskiy opponent* [Medical Opponent]. 2023; 23 (3): 6–14. (in Russian)
16. Rankin J., Matthews L., Cobley S., Han A., Sanders R., Wiltshire H., Baker J. Psychological consequences of childhood obesity: psychiatric comorbidity and prevention. *Adolesc Health Med Ther.* 2016; 7: 125–46. DOI: <https://doi.org/10.2147/AHMT.S101631>
17. Patrick H., Hennessy E., McSpadden K., Oh A. Parenting styles and practices in children's obesogenic behaviors: scientific gaps and future research directions. *Child Obes.* 2013; 9 (5): 73–86. DOI: <https://doi.org/10.1089/chi.2013.0039>
18. Kakinami L., Barnett T.A., Séguin L., Paradis G. Parenting style and obesity risk in children. *Prev Med.* 2015; 75 (2): 18–22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2015.03.005>
19. Girsh Ya.V., Yuditskaya T.A. The role and place of eating disorders in the development of childhood obesity. *Vestnik SurGU. Meditsina* [Bulletin of SurSU. Medicine]. 2013. 3 (17): 14–21. (in Russian)
20. Bates C.R., Buscemi J., Nicholson L.M., Cory M., Jagpal A., Bohnert A.M. Links between the organization of the family home environment and child obesity: a systematic review. *Obes Rev.* 2018; 19 (5): 716–27. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12662>
21. Luger M., Lafontan M., Bes-Rastrollo M., Winzer E., Yumuk V., Farpour-Lambert N. Sugar-sweetened beverages and weight gain in children and adults: a systematic review from 2013 to 2015 and a comparison with previous studies. *Obes Facts.* 2017; 10 (6): 674–93. DOI: <https://doi.org/10.1159/000484566>
22. Muth N.D., Dietz W.H., Magge S.N., Johnson R.K.; American Academy of Pediatrics; Section on Obesity; Committee on Nutrition; American Heart Association. Public policies to reduce sugary drink consumption in children and adolescents. *Pediatrics.* 2019; 143 (4): e20190282. DOI: <https://doi.org/10.1542/peds.2019-0282>
23. Birch L.L., Savage J.S., Fisher J.O. Right sizing prevention. Food portion size effects on children's eating and weight. *Appetite.* 2015; 88 (2): 11–6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.11.021>
24. Costa C.S., Del-Ponte B., Assunção M.C.F., Santos I.S. Consumption of ultra-processed foods and body fat during childhood and adolescence: a systematic review. *Public Health Nutr.* 2018; 21 (1): 148–59. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1368980017001331>
25. Nago E.S., Lachat C.K., Dossa R.A., Kolsteren P.W. Association of out-of-home eating with anthropometric changes: a systematic review of prospective studies. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2014; 54 (9): 1103–16. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.627095>
26. Dallacker M., Hertwig R., Mata J. The frequency of family meals and nutritional health in children: a meta-analysis. *Obes Rev.* 2018; 19 (5): 638–53. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12659>
27. Guidelines on Physical Activity, Sedentary Behaviour and Sleep for Children under 5 Years of Age. WHO Guidelines Approved by the Guidelines Review Committee. Geneva, 2019. ISBN: 9789241550536.
28. Ramírez-Coronel A.A., Abdu W.J., Alshahrani S.H., Treve M., Jalil A.T., Alkhayat A.S., et al. Childhood obesity risk increases with increased screen time: a systematic review and dose-response meta-analysis. *J Health Popul Nutr.* 2023; 42 (1): 5. DO: <https://doi.org/10.1186/s41043-022-00344-4>
29. Haghighi P., Siri G., Soleimani E., Farhangi M.A., Alesaeidi S. Screen time increases overweight and obesity risk among adolescents: a systematic review and dose-response meta-analysis. *BMC Prim Care.* 2022; 23 (1): 161. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12875-022-01761-4>
30. Stiglic N., Viner R.M. Effects of screentime on the health and well-being of children and adolescents: a systematic review of reviews. *BMJ Open.* 2019; 9 (1): e023191. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-023191>
31. Poorolajal J., Sahraei F., Mohammedi Y., Doosti-Irani A., Moradi L. Behavioral factors influencing childhood obesity: a systematic review and meta-analysis. *Obes Res Clin Pract.* 2020; 14 (2): 109–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.orcp.2020.03.002>
32. Jia P., Dai S., Rohli K.E., Ma Y., Yu C., Pan X., et al. Natural environment and childhood obesity: a systematic review. *Obes Rev.* 2021; 22 (1): e13097. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.13097>
33. Coombs N.A., Stamatakis E. Associations between objectively assessed and questionnaire-based sedentary behaviour with BMI-defined obesity among general population children and adolescents living in England. *BMJ Open.* 2015; 5 (6): e007172. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-007172>
34. Namazova-Baranova L.S., Kovtun O.P., Anufrieva E.V., Naboychenko E.S. The importance of behavioral determinants in the formation of overweight and obesity in adolescents// *Profilakticheskaya meditsina* [Preventive Medicine]. 2019; 22 (4): 2043–8. DOI: <https://doi.org/10.17116/profmed2019220424318> (in Russian)
35. Tripathi M., Mishra S.K. Screen time and adiposity among children and adolescents: a systematic review. *J Public Health.* 2019; 28 (4): 227–44. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10389-019-01043-x>
36. Helgadóttir B., Fröberg A., Kjellenberg K., Ekblom Ö., Nyberg G. COVID-19 induced changes in physical activity patterns, screen time and sleep among Swedish adolescents – a cohort study, *BMC Public Health.* 2023; 23 (1): 380. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-023-15282-x>
37. Calcatera V., Verduci E., Vandoni M., Rossi V., Di Profio E., Carnevale Pellino V., et al. Telehealth: a useful tool for the management of nutrition and exercise programs in pediatric obesity in the COVID-19 era. *Nutrients.* 2021; 13 (11): 3689. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13113689>
38. Carson V., Hunter S., Kuzik N., Gray C.E., Poitras V.J., Chaput J.P., et al. Systematic review of sedentary behaviour and health indicators in school-aged children and youth: an update. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016; 41 (6): 240–65. DOI: <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0630>
39. Thivel D., Tremblay M.S., Katzmarzyk P.T., Fogelholm M., Hu G., Maher C., et al. Associations between meeting combinations of 24-hour movement recommendations and dietary patterns of children: a 12-country study. *Prev Med.* 2019; 118 (1): 159–65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2018.10.025>
40. Romantsova T.I. The obesity epidemic: obvious and probable causes. *Ozhirenie i metabolism* [Obesity and Metabolism]. 2011; 8 (1): 5–19. DOI: <https://doi.org/10.14341/2071-8713-5186> (in Russian)
41. Ruan H., Xun P., Cai W., He K., Tang Q. Habitual sleep duration and risk of childhood obesity: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Sci Rep.* 2015; 5 (3): 16160. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep16160>
42. Magee L., Hale L. Longitudinal associations between sleep duration and subsequent weight gain: a systematic review. *Sleep Med Rev.* 2012; 16 (3): 231–41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2011.05.005>
43. Larqué E., Labayen I., Flodmark C.E., Lissau I., Czernin S., Moreno L.A., et al. From conception to infancy – early risk factors for childhood obesity. *Nat Rev Endocrinol.* 2019; 15 (8): 456–78. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0219-1>
44. Nadhiroh S.R., Djokosujono K., Utari D.M. The association between secondhand smoke exposure and growth outcomes of children: a systematic literature review. *Tob Induc Dis.* 2020; 18 (2): 12. DOI: <https://doi.org/10.18332/tid/117958>
45. O'Connor S.G., Maher J.P., Belcher B.R., Leventhal A.M., Margolin G., Shonkoff E.T., et al. Associations of maternal stress with children's weight-related behaviours: a systematic literature review. *Obes Rev.* 2017; 18 (5): 514–25. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12522>
46. Koning M., Vink J.M., Renders C., Notten N., Eisinga R., Larsen J.K. Is the prospective link between parental stress and adolescent snack intake or weight outcome mediated by food parenting practices? *Nutrients.* 2021; 13 (8): 2485. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13082485>
47. Tate E.B., Wood W., Liao Y., Dunton G.F. Do stressed mothers have heavier children? A meta-analysis on the relationship between maternal stress and child body mass index. *Obes Rev.* 2015; 16 (5): 351–61. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12262>

48. Solmi M., Köhler C.A., Stubbs B., Koyanagi A., Bortolato B., Monaco F., et al. Environmental risk factors and nonpharmacological and nonsurgical interventions for obesity: an umbrella review of meta-analyses of cohort studies and randomized controlled trials. *Eur J Clin Invest.* 2018; 48 (12): e12982. DOI: <https://doi.org/10.1111/eci.12982>
49. Gualdi-Russo E., Manzon V.S., Masotti S., Toselli S., Albertini A., Celenza F., et al. Weight status and perception of body image in children: the effect of maternal immigrant status. *Nutr J.* 2012; 11 (3): 85. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2891-11-85>
50. Vourdoupas A., Paltoglou G., Charmandari E. The genetic basis of childhood obesity: a systematic review. *Nutrients.* 2023; 15 (6): 1416. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15061416>
51. Yengo L., Sidorenko J., Kemper K.E., Zheng Z., Wood A.R., Weedon M.N., et al. Meta-analysis of genome-wide association studies for height and body mass index in ~700000 individuals of European ancestry. *Hum Mol Genet.* 2018; 27 (20): 3641–9. DOI: <https://doi.org/10.1093/hmg/ddy271>
52. Berkowitz R.I., Moore R.H., Faith M.S., Stallings V.A., Kral T.V., Stunkard A.J. Identification of an obese eating style in 4-year-old children born at high and low risk for obesity. *Obesity (Silver Spring).* 2010; 18 (3): 505–12. DOI: <https://doi.org/10.1038/oby.2009.299>
53. Nikolaeva I.V., Tsaregorodtsev A.D., Shaykhiyeva G.S. Formation of the intestinal microbiota of a child and the factors influencing this process. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii [Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics]*. 2018; 63 (3): 13–8. DOI: <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2018-63-3-13-18> (in Russian)
54. Miller W.B. The eukaryotic microbiome: origins and implications for fetal and neonatal life. *Front Pediatr.* 2016; 4 (3): 96. DOI: <https://doi.org/10.3389/fped.2016.00096>
55. Volkova N.I., Ganenko L.A., Golovin S.N., Bereznyak E.A. The role of the gut microbiota in the development of obesity and its metabolic profile (part I). *Meditinskiy vestnik Severnogo Kavkaza [Medical Bulletin of North Caucasus]*. 2019; 14 (1): 141–4. DOI: <https://doi.org/10.14300/mnnc.2019.14071> (in Russian)
56. Timasheva Y.R., Balkhiyarova Zh.R., Kochetova O.V. The current state of research in the field of obesity: genetic aspects, the role of the microbiome and predisposition to COVID-19. *Problemy endokrinologii [Problems of Endocrinology]*. 2021; 67 (4): 20–35. DOI: <https://doi.org/10.14341/probl12775> (in Russian)
57. Lifshitz L., Zakharova I.N., Dmitrieva Y.A. Effect of intestinal microbiome in norm and pathology on human health. *Meditinskiy sovet [Medical Council]*. 2017; (1): 155–9. DOI: <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2017-1-155-159> (in Russian)
58. Zhi C., Huang J., Wang J. Connection between gut microbiome and the development of obesity. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* 2019; 38 (3): 1987–98. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22179641>
59. Collado M.C., Laitinen K., Salminen S., Isolauri E. Maternal weight and excessive weight gain during pregnancy modify the immunomodulatory potential of breast milk. *Pediatr Res.* 2012; 2 (1): 77–85. DOI: <https://doi.org/10.1038/pr.2012.42>
60. Mazurina S.A., Maksimova O.V., Gervazieva V.B. Features of the intestinal microbiota of children with allergic diseases and different body weight. *Rossiyskiy pediatricheskiy zhurnal [Russian Journal of Pediatrics]*. 2017; 20 (4): 202–6. DOI: [https://doi.org/10.18821/1560-9561-2017-20\(4\):202-206](https://doi.org/10.18821/1560-9561-2017-20(4):202-206) (in Russian)
61. Golivets T.P., Dubonosova D.G., Likrizon S.V. Obesity and related diseases – problematic issues of pathogenesis and modern diagnostic and treatment strategies. *Aktual'nye problemy meditsiny [Actual Problems of Medicine]*. 2023; 46 (2): 123–43. DOI: <https://doi.org/10.52575/2687-0940-2023-46-2-123-143> (in Russian)
62. Indiani C.M.D.S.P., Rizzardi K.F., Castelo P.M., Ferraz L.F.C., Darrieux M., Parisotto T.M. Childhood obesity and firmicutes/bacteroidetes ratio in the gut microbiota: a systematic review. *Child Obes.* 2018; 14 (8): 501–9. DOI: <https://doi.org/10.1089/chi.2018.0040>
63. Volkova N.I., Ganenko L.A., Golovin S.N. The role of gut microbiota in the development of obesity and its metabolic profile (part II). *Meditinskiy vestnik Severnogo Kavkaza [Medical Bulletin of North Caucasus]*. 2019; 14 (2): 391–6. DOI: <https://doi.org/10.14300/mnnc.2019.14071> (in Russian)
64. Krasnoperova O.I., Smirnova E.N., Chistousova G.V., Baturin V.I., Toropova E.A. Determinants of obesity in children and adolescents. *Ozhirenie i metabolism [Obesity and Metabolism]*. 2013; 10 (1): 18–21. DOI: <https://doi.org/10.14341/2071-8713-5066> (in Russian)
65. Prevention of obesity in children. Edited by A.P. Fisenko, V.A. Peterkova, S.G. Makarova. Moscow: Poligrafist i izdatel', 2020: 140 p. (in Russian)
66. Matsuzaki M., Sánchez B.N., Acosta M.E., Botkin J., Sanchez-Vaznaugh E.V. Food environment near schools and body weight – a systematic review of associations by race/ethnicity, gender, grade, and socio-economic factors. *Obes Rev.* 2020; 21 (4): e12997. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12997>
67. Fiechter L., Kleinman K., Melly S.J., Sharifi M., Marshall R., Block J., et al. Effects of proximity to supermarkets on a randomized trial studying interventions for obesity. *Am J Public Health.* 2016; 106 (3): 557–62. DOI: <https://doi.org/10.2105/AJPH.2015.302986>
68. Griffiths C., Frearson A., Taylor A., Radley D., Cooke C. A cross sectional study investigating the association between exposure to food outlets and childhood obesity in Leeds, UK. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2014; 11 (4): 138. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12966-014-0138-4>
69. Zhou Q., Zhao L., Zhang L., Xiao Q., Wu T., Visscher T. Neighborhood supermarket access and childhood obesity: a systematic review. *Obes Rev.* 2021; 22 (1): e12937. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12937>
70. Li M., Mustillo S., Anderson J. Childhood poverty dynamics and adulthood overweight/obesity: the black box of childhood. *Soc Sci Res.* 2018; 76 (3): 92–104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssresearch.2018.05.009>
71. Islam M.Z., Johnston J., Sly P.D. Green space and early childhood development: a systematic review. *Rev Environ Health.* 2020; 35 (2): 189–200. DOI: <https://doi.org/10.1515/reveh-2019-0046>
72. Malacarne D., Handakas E., Robinson O., et al. The built environment as determinant of childhood obesity: a systematic literature review. *Obes Rev.* 2022; 23 (1): e13385. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.13385>
73. Ghassabian A., Vandenberg L., Kannan K., Trasande L. Endocrine-disrupting chemicals and child health. *Annu Rev.* 2022; 62: 573–94. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-pharmtox-021921-093352>
74. Kassotis C.D., Vandenberg L.N., Demeneix B.A., Porta M., Slama R., Trasande L. Endocrine-disrupting chemicals: economic, regulatory, and policy implications. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2020; 8 (8): 719–30. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(20\)30128-5](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(20)30128-5)
75. Kahn L.G., Philippat C., Nakayama S.F., Slama R., Trasande L. Endocrine-disrupting chemicals: implications for human health. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2020; 8 (8): 703–18. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(20\)30129-7](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(20)30129-7)
76. Smith R., Kelly B., Yeatman H., Boyland E. Food marketing influences children's attitudes, preferences and consumption: a systematic critical review. *Nutrients.* 2019; 11 (4): 875. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11040875>
77. Villegas-Navas V., Montero-Simo M.J., Araque-Padilla R.A. The effects of foods embedded in entertainment media on children's food choices and food intake: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients.* 2020; 12 (4): 964. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12040964>
78. Sadeghirad B., Duhaney T., Motaghipisheh S., Campbell N.R., Johnston B.C. Influence of unhealthy food and beverage marketing on children's dietary intake and preference: a systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Obes Rev.* 2016; 17 (10): 945–59. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12445>
79. WHO Regional Office for Europe Nutrient Profile Model: 2nd ed. WHO Reference Number: WHO/EURO:2023-6894-46660-68492.
80. Harvard University, Center on the Developing Child. Key Concepts. Toxic Stress. URL: <https://developingchild.harvard.edu/science/key-concepts/toxic-stress/> (date of access October 05, 2022).
81. Burke M.P., Martini L.H., Çayır E., Hartline-Grafton H.L., Meade R.L. Severity of household food insecurity is positively associated with mental disorders among children and adolescents in the United States. *J Nutr.* 2016; 146 (10): 2019–26. DOI: <https://doi.org/10.3945/jn.116.232298>
82. Lee J., Kubik M.Y., Fulkerson J.A. Diet quality and fruit, vegetable, and sugar-sweetened beverage consumption by household food insecurity among 8- to 12-year-old children during summer months. *J Acad Nutr Diet.* 2019; 119 (10): 1695–702. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2019.03.004>
83. Adams E.L., Caccavale L.J., Smith D., Bean M.K. Food insecurity, the home food environment, and parent feeding practices in the era of COVID-19. *Obesity (Silver Spring).* 2020; 28 (11): 2056–63. DOI: <https://doi.org/10.1002/oby.22996>
84. Centers for Disease Control and Prevention. Prevalence of Childhood Obesity in the United States. 2021. URL: <https://www.cdc.gov/obesity/data/childhood.html> (date of access October 05, 2022).

Для корреспонденции

Хамидулина Халидя Хизбулаевна – доктор медицинских наук, профессор, директор Филиала РПОХБВ ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, заведующий кафедрой гигиены ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России
 Адрес: 121087, Российская Федерация, г. Москва, Багратионовский проезд, д. 8, к. 2
 Телефон: (499) 145-60-23
 E-mail: Khamidulina.KhKh@fncg.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7319-5337>

Хамидулина Х.Х.^{1, 2}, Тарасова Е.В.¹, Проскурина А.С.^{1, 2}, Назаренко А.К.^{1, 3}, Дорофеева Е.В.¹

Актуальные вопросы регулирования контаминантов в пищевой продукции

Current issues of regulation of contaminants in food

Khamidulina Kh.Kh.^{1, 2}, Tarasova E.V.¹, Proskurina A.S.^{1, 2}, Nazarenko A.K.^{1, 3}, Dorofeeva E.V.¹

¹ Филиал «Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ» Федерального бюджетного учреждения науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 121087, г. Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 125993, г. Москва, Российская Федерация

³ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», 125047, г. Москва, Российская Федерация

¹ Russian Register of Potentially Hazardous Chemical and Biological Substances – Branch of F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 121087, Moscow, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Ministry of Health of the Russian Federation, 125993, Moscow, Russian Federation

³ D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, 125047, Moscow, Russian Federation

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Хамидулина Х.Х.; сбор и обработка данных – Проскурина А.С., Назаренко А.К., Дорофеева Е.В.; написание статьи – Хамидулина Х.Х., Тарасова Е.В.; редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Хамидулина Х.Х., Тарасова Е.В., Проскурина А.С., Назаренко А.К., Дорофеева Е.В. Актуальные вопросы регулирования контаминантов в пищевой продукции // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 1. С. 50–63. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-50-63>
Статья поступила в редакцию 31.10.2024. **Принята в печать** 21.01.2025.

Funding. The study had no sponsorship.

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

Contribution. Study concept and design – Khamidulina Kh.Kh.; data collection and processing – Proskurina A.S., Nazarenko A.K., Dorofeeva E.V.; article writing – Khamidulina Kh.Kh., Tarasova E.V.; editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Khamidulina Kh.Kh., Tarasova E.V., Proskurina A.S., Nazarenko A.K., Dorofeeva E.V. Current issues of regulation of contaminants in food. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (1): 50–63. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-50-63> (in Russian)

Received 31.10.2024. **Accepted** 21.01.2025.

В Российской Федерации обеспечение продовольственной безопасности является одной из основных задач государственной политики, что нашло отражение в национальной Доктрине продовольственной безопасности, декларирующей необходимость не только контроля продукции на соответствие обязательным требованиям технических регламентов Евразийского экономического союза, но и гармонизации норм качества и безопасности пищевой продукции с международными.

Цель работы – сравнительный анализ регулирования основных контаминантов пищевой продукции в Российской Федерации с международными подходами, выявление необходимости гармонизации характеристик и параметров качества пищевой продукции.

Материал и методы. Проведен сравнительный анализ нормативно-правовых актов РФ и Евразийского экономического союза, документов Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных наций и Всемирной организации здравоохранения, Кодекса Алиментариус, национальных и международных баз данных по токсичности и опасности химических веществ. В рамках исследования выполнен поиск данных литературы за последние 8 лет с использованием библиографических платформ Elsevier, eLIBRARY, PubMed.

Результаты. Традиционно наибольшую обеспокоенность Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека вызывают вопросы регулирования тяжелых металлов, пестицидов, микотоксинов, ветеринарных препаратов и химических веществ, поступающих в пищевую продукцию в результате технологических процессов. Управление опасностью и риском воздействия контаминантов в пищевой продукции основано на установлении и актуализации гигиенических нормативов, в том числе максимально допустимых уровней остаточного содержания, (временных) допустимых суточных доз потребления, допустимых уровней миграции из тары и упаковки, запрещении и (или) ограничении применения высокоопасных химических веществ, их замене более безопасными альтернативами, изменении технологических процессов.

Заключение. Сравнительный анализ показал, что, несмотря на активные действия Роспотребнадзора по разработке новых стандартов, гигиенических нормативов и методических указаний по контролю содержания контаминантов, в ряде областей необходима гармонизация с международными требованиями на основе фундаментальных исследований в области гигиены и науки о питании. Требуют актуализации нормативы допустимого содержания свинца в пищевой продукции, максимально допустимых уровней остаточных количеств ряда пестицидов в сельскохозяйственных культурах. Кроме того, международная деятельность Российской Федерации в рамках Роттердамской конвенции в части процедуры предварительного обоснованного согласия указывает на необходимость принятия своевременных релевантных решений по запрещению или ограничению особо опасных химических веществ и пестицидов.

Ключевые слова: пищевая продукция; контаминанты; опасность; регулирование

In the Russian Federation, ensuring food security is one of the main tasks of state policy, which is reflected in the national Food Security Doctrine, which declares the need not only to control products for compliance with the mandatory requirements of the technical regulations of the Eurasian Economic Union, but also to harmonize food quality and safety standards with international ones.

The purpose of the work was to identify priorities for the development or revision of characteristics and parameters of food safety and quality in the Russian Federation, taking into account global trends.

Material and methods. The comparative analysis of the normative legal acts of the Russian Federation and the Eurasian Economic Union, documents of the Food and Agriculture Organization of the United Nations and the World Health Organization, Codex Alimentarius, national and international databases on the toxicity and danger of chemicals has been carried out. As part of the study, a search of literature for the last 8 years was performed using Elsevier, eLIBRARY, PubMed bibliographic platforms.

Results. Traditionally, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Rospotrebnadzor) is most concerned about the regulation of heavy metals, pesticides, mycotoxins, veterinary drugs and chemicals entering food as a result of technological processes. The management of the danger and risk of exposure to contaminants in food is based on the establishment and updating of hygienic standards, including the maximum permissible levels of residual content, (temporary) permissible daily doses of consumption, permissible levels of migration from containers and packaging, prohibition and (or) restriction of the use of highly hazardous chemicals, their replacement with safer alternatives, changing technological processes.

Conclusion. A comparative analysis showed that despite the active actions of Rospotrebnadzor to develop new standards, hygienic regulations and guidelines for the control of contaminants, harmonization with international requirements is needed in a number of areas based on fundamental research in the field of hygiene and nutrition science. The standards for the permissible lead content in food and the maximum permissible levels of residual amounts of a number of pesticides in agricultural crops require updating. In addition, activities under the Rotterdam Convention's prior informed consent procedure indicate the need for timely and relevant decisions on the prohibition or restriction of particularly hazardous chemicals and pesticides.

Keywords: food; contaminants; hazard; regulation

Ведущим фактором в сохранении здоровья нации является обеспечение безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. Международное научное сообщество, структуры Организации Объединенных Наций, контрольно-надзорные органы государств, мировая общественность уделяют этой проблеме огромное внимание. Созданная в 1963 г. при участии Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций и Всемирной организации здравоохранения Комиссия «Кодекс Алиментариус»¹ ведет активную деятельность по разработке единых международных стандартов на пищевую продукцию, а также норм, правил и руководств, призванных защитить здоровье потребителя и обеспечить безопасность продовольствия. Так же как и во всем мире, в Российской Федерации обеспечение продовольственной безопасности является одной из основных задач государственной политики, что нашло отражение в национальной Доктрине продовольственной безопасности², декларирующей необходимость не только контроля продукции на соответствие обязательным требованиям технических регламентов Евразийского экономического союза (ЕАЭС), но и гармонизации с международными требованиями, нормами и параметрами качества и безопасности пищевой продукции на основе фундаментальных исследований в области гигиены и науки о питании.

Цель работы – сравнительный анализ регулирования основных загрязнителей пищевой продукции в Российской Федерации с международными подходами, выявление необходимости гармонизации характеристик и параметров качества пищевой продукции.

Материал и методы

Проведен сравнительный анализ нормативно-правовых актов РФ и ЕАЭС, документов продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных наций и Всемирной организации здравоохранения, Кодекс Алиментариус, национальных и международных баз данных по токсичности и опасности хими-

ческих веществ. В рамках исследования выполнен поиск данных литературы за последние 8 лет с использованием библиографических платформ Elsevier, eLIBRARY, PubMed.

Результаты и обсуждение

Загрязнение пищевой продукции может происходить на любом этапе продовольственной цепочки, включая сырье (природные и антропогенные загрязнители), производство (технологические загрязнители), хранение (вещества, мигрирующие из тары и упаковки) и реализацию. Спектр загрязнителей широк и постоянно пополняется новыми наименованиями: от традиционных загрязнителей, таких как тяжелые металлы (свинец, ртуть, кадмий), пестициды, нитрозосоединения, полиароматические углеводороды, диоксины, до антибиотиков, гормональных и ветеринарных препаратов, токсинов, генетически модифицированных организмов, наночастиц и т.д. [1, 2].

Управление опасностью и риском воздействия загрязнителей в пищевой продукции основано на установлении и актуализации гигиенических нормативов, в том числе максимально допустимых уровней остаточного содержания, (временных) допустимых суточных доз потребления (ВДСД/ДСД), допустимых уровней миграции из тары и упаковки и других, запрещении и (или) ограничении применения высокоопасных химических веществ (пестицидов), их замене более безопасными альтернативами, изменении технологических процессов и т.д.

Традиционно наибольшую обеспокоенность Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека вызывают вопросы регулирования тяжелых металлов, пестицидов, микотоксинов, ветеринарных препаратов и химических веществ, поступающих в пищевую продукцию в результате технологических процессов (см. рисунок).

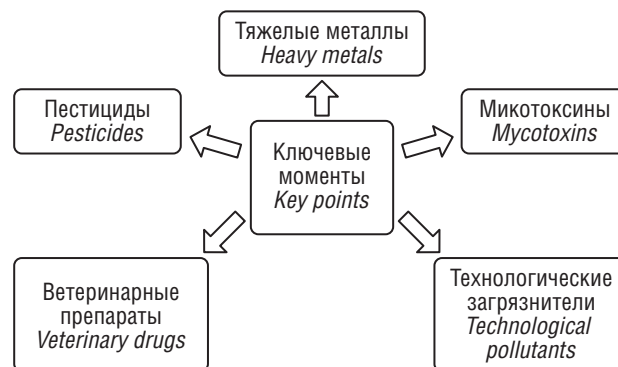
Значительную роль в загрязнении пищевой продукции играют пестициды, которые жестко регулируются мировым сообществом вплоть до ограничения и запре-

¹ Codex Alimentarius. Международные стандарты пищевых продуктов. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/home/ru/> (дата обращения: 24.09.2024) (далее по тексту – Кодекс Алиментариус).

² Указ Президента РФ от 21.01.2020 № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/> (дата обращения: 29.10.2024).

щения, свидетельством чего может служить значительное расширение перечня особо опасных химических веществ и пестицидов, попадающих под действие процедуры предварительного обоснованного согласия в рамках Роттердамской конвенции³. Процедура предварительного обоснованного согласия подразумевает, что вещества, запрещенные или ограниченные на национальном уровне, не могут экспортироваться в другие государства – стороны Роттердамской конвенции без предварительного согласования с национальным назначенным органом страны-импортера. Таким национальным назначенным органом в Российской Федерации является Филиал РПОХБВ ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, который осуществляет обмен информацией об экспорте-импорте опасных химических веществ и пестицидов. В рамках этой деятельности ежегодно оцениваются номенклатура, количество, область применения и импортеры опасной продукции, поступающей на территорию РФ [3]. К сожалению, не все государства-импортеры четко выполняют свои обязательства в рамках Роттердамской конвенции, поэтому информация об импорте опасной продукции носит ограниченный характер и включает в основном данные, полученные от стран Европейского союза (ЕС) и Великобритании. Сравнительный анализ объемов некоторых пестицидов, ввозимых на территорию РФ по процедуре предварительного обоснованного согласия, представлен в табл. 1.

Обращает на себя внимание тот факт, что карбофуран, хлорпирифос, перметрин, цинеб запрещены к применению в странах Европейского союза без права подачи повторной заявки на получение разрешения, ципроконазол не разрешен к применению с 31 мая 2021 г., является веществом-кандидатом на замену. Анализ, представленный в табл. 2, свидетельствует о том, что вещества, запрещенные в одних государствах, активно наводняют рынок стран, где отсутствуют запретительно-ограничи-



Актуальные направления регулирования контаминантов в пищевой продукции

Current directions of regulation of contaminants in food

тельные мероприятия. Поэтому постоянный мониторинг международного регулирования токсикантов является пусковым механизмом для принятия своевременных релевантных решений.

Анализ токсичности запрещенных пестицидов показал, что помимо ранее установленных эффектов (острой токсичности, сенсибилизации, генотоксичности, репродуктивной токсичности, канцерогенности и токсичности для представителей водной биоты) все они являются эндокринными разрушителями с широким спектром нарушений органов и систем. Сравнение допустимых суточных доз пестицидов, принятых в Российской Федерации и странах Европейского союза, выявило необходимость пересмотра нормативных величин с учетом данного вида воздействия.

Кроме того, необходимо отметить, что при оценке опасности пестицидов, принятой в Российской Федерации, недостаточное внимание уделяется воздействию на эндокринную систему. Согласно методическим

Таблица 1. Пестициды, ввозимые на территорию РФ по процедуре предварительного обоснованного согласия (килограммы в пересчете на действующее вещество)

Table 1. Pesticides imported into the territory of the Russian Federation under the Prior Informed Consent procedure (kg in terms of active substance)

Наименование (номер CAS*) <i>Name (number CAS)</i>	Область применения <i>Scope of application</i>	Тоннаж, кг / <i>Tonnage, kg</i>					
		2019	2020	2021	2022	2023	2024 (октябрь) / <i>(october)</i>
Карбофуран / <i>Carbofuran</i> (1563-66-2)	Пестицид / <i>Pesticide</i>	23 600	18 880	–	–	–	–
Перметрин / <i>Permethrin</i> (52645-53-1)	Пестицид / <i>Pesticide</i>	102	1827	5669	4649	5096	7292
Хлорпирифос / <i>Chlorpyrifos</i> (2921-88-2)	Пестицид / <i>Pesticide</i>	–	–	–	1	20 028	68
Цинеб / <i>Zineb</i> (12122-67-7)	Пестицид / <i>Pesticide</i>	62	43 030	47 721	79 454	48 000	18 000
Ципроконазол / <i>Cyproconazole</i> (94361-06-5)	Пестицид / <i>Pesticide</i>	–	–	–	–	–	2841

* Регистрационный номер химического вещества (англ. Chemical Abstracts Service registry number, далее – CAS).

³ Роттердамская конвенция о процедуре предварительного обоснованного согласия в отношении отдельных опасных химических веществ и пестицидов в международной торговле. <https://pic.int/> (дата обращения: 29.10.2024).

Таблица 2. Сравнительный анализ ряда пестицидов, оказывающих воздействие на эндокринную систему

Table 2. Comparative analysis of a number of pesticides that affect the endocrine system

Наименование (номер CAS) Name (CAS number)	РФ (статус ^a , назначение ^a , ДСД/ВДСД ^b) RF (status ^a , purpose ^a , permissible daily dose/ temporary permissible daily dose ^b)	ЕС (статус ^c , дата и основания принятия решения ^c , ДСД ^c) EU (status ^c , date and grounds for decision-making ^c , permissible daily dose ^c)	Воздействие на эндокринную систему (класс опасности и основные виды нарушений) ^d Effects on the endocrine system (hazard class and main types of disorders) ^d
Карбофуран <i>Carbofuran</i> (1563-66-2)	Разрешен /фунгицид/ ДСД – 0,002 мг/кг <i>Allowed /fungicide/ Permissible daily dose – 0.002 mg/kg</i>	Запрещен без права подачи повторной заявки и продления. Запрет с 13 декабря 2007 г. Основания: – очень высокая острая токсичность; – чрезвычайно токсичен для водных организмов с долгосрочными последствиями. ДСД – 0,00015 мг/кг <i>Prohibited without the right to re-apply and renew. The ban has been in effect since December 13, 2007. Grounds: – very high acute toxicity; – extremely toxic to aquatic organisms with long-term effects. Permissible daily dose – 0.00015 mg/kg</i>	1В класс опасности – влияние на подвижность сперматозоидов; – изменение уровней прогестерона, эстрадиола, тестостерона; – нарушение углеводного обмена (изменение уровня глюкозы) Hazard category 1B – effect on sperm motility; – changes in progesterone, estradiol, and testosterone levels; – violation of carbohydrate metabolism (changes in glucose levels)
Диазинон <i>Diazinon</i> (333-41-5)	Разрешен/ инсектицид/ ВДСД – 0,005 мг/кг <i>Allowed/insecticide/ Temporary permissible daily dose – 0.005 mg/kg</i>	Запрещен без права подачи повторной заявки и продления. Запрет с 6 декабря 2007 г. Основания: – чрезвычайно токсичен для водных организмов с долгосрочными последствиями; – вероятно, канцероген для человека (МАИР ^e группа 2A). ДСД – 0,0002 мг/кг <i>Prohibited without the right to re-apply and renew. The ban has been in effect since December 6, 2007. Grounds: – extremely toxic to aquatic organisms with long-term effects; – probably a carcinogen for humans (IARC^e group 2A). Permissible daily dose – 0.0002 mg/kg</i>	1В класс опасности – нарушение морфологии и функции мужских репродуктивных органов (снижение массы яичек, уровня тестостерона); – нарушение сперматогенеза (изменение морфологии, снижение количества сперматозоидов); – влияние на фертильность; – нарушение углеводного обмена (глюконеогенез); – изменение уровней эстрогенов, лютеинизирующего, фолликулостимулирующего гормонов Hazard category 1B – violation of the morphology and function of male reproductive organs (decreased testicular mass, testosterone levels); – violation of spermatogenesis (change in morphology, decrease in the number of spermatozoa); – effect on fertility; – violation of carbohydrate metabolism (gluconeogenesis); – changes in the levels of estrogens, luteinizing, follicle-stimulating hormones
Ципроконазол <i>Suiproconazole</i> (94361-06-5)	Разрешен/ инсектицид, фунгицид/ ДСД – 0,01 мг/кг <i>Allowed/insecticide, fungicide/ Permissible daily dose – 0.01 mg/kg</i>	Не разрешен до подачи новой заявки / кандидат на замену. Срок одобрения истек 31 мая 2021 г. Основания: – репротоксикант класса опасности 1В по СГС* (влияние на развитие потомства); – чрезвычайно токсичен для водных организмов с долгосрочными последствиями. ДСД – 0,02 мг/кг <i>Not allowed until a new application is submitted / candidate for replacement. The approval period expired on May 31, 2021. Grounds: – a reprotoxicant of hazard category 1B according to the GHS* (effect on the development of offspring); – extremely toxic to aquatic organisms with long-term effects. Permissible daily dose – 0.02 mg/kg</i>	2 класс опасности – влияние на фертильность; – влияние на стероидогенез; – изменение уровня эстрадиола Hazard class 2 – effects on fertility; – effect on steroidogenesis; – changes in estradiol levels

Продолжение табл. 2

Наименование (номер CAS) <i>Name</i> (CAS number)	РФ (статус ^а , назначение ^а , ДСД/ВДСД ^б) <i>RF</i> (status ^a , purpose ^a , permissible daily dose/ temporary permissible daily dose ^b)	ЕС (статус ^с , дата и основания принятия решения ^г , ДСД ^г) <i>EU</i> (status ^c , date and grounds for decision-making ^d , permissible daily dose ^d)	Воздействие на эндокринную систему (класс опасности и основные виды нарушений) ^а <i>Effects on the endocrine system</i> (hazard class and main types of disorders) ^e
Фенитротрион <i>Fenitrothion</i> (122-14-5)	Разрешен/ инсектицид/ ДСД – 0,006 мг/кг <i>Allowed/insecticide/ Permissible daily dose – 0.006 mg/kg</i>	Запрещен без права подачи повторной заявки и продления. Запрет с 25 ноября 2007 г. Основание: – чрезвычайно токсичен для водных организмов с долгосрочными последствиями. ДСД – 0,005 мг/кг <i>Prohibited without the right to re-apply and renew.</i> <i>The ban has been in effect</i> <i>since November 25, 2007.</i> <i>Grounds:</i> – <i>extremely toxic to aquatic organisms</i> <i>with long-term effects.</i> <i>Permissible daily dose – 0.005 mg/kg</i>	1В класс опасности – нарушение морфологии и функции мужских репродуктивных органов (снижение массы простаты, семенных пузырьков, снижение уровня дигидроксиандростерона); – нарушение углеводного обмена (гипогликемия); – нарушение морфологии надпочечников (изменение массы) Hazard category 1B – <i>violation of the morphology and function</i> <i>of male reproductive organs (decrease</i> <i>in prostate mass, seminal vesicles, decrease</i> <i>in dihydroxytestosterone levels);</i> – <i>violation of carbohydrate metabolism</i> <i>(hypoglycemia);</i> – <i>violation of the morphology of the adrenal</i> <i>glands (weight change)</i>
Беномил <i>Benomyl</i> (17804-35-2)	Разрешен/фунгицид/ ДСД – 0,02 мг/кг <i>Allowed /fungicide/ Permissible daily dose – 0.02 mg/kg</i>	Запрещен без права подачи повторной заявки и продления. Запрет с 26 ноября 2002 г. Основания: – мутаген класса опасности 1В по СГС; – репротоксикант класса опасности 1В по СГС (влияние на фертильность и развитие потомства); – кожный сенсibilизатор; – чрезвычайно токсичен для водных организмов с долгосрочными последствиями. ДСД – не установлен <i>Prohibited without the right to re-apply and renew.</i> <i>The ban has been in effect since November 26, 2002.</i> <i>Grounds:</i> – <i>mutagen hazard category 1B according</i> <i>to the GHS;</i> – <i>a reprotoxicant of hazard category</i> <i>1B according to the GHS</i> <i>(effect on fertility and offspring development);</i> – <i>skin sensitizer;</i> – <i>extremely toxic to aquatic organisms</i> <i>with long-term effects.</i> <i>Permissible daily dose – not established</i>	1В класс опасности – нарушение морфологии надпочечников (изменение массы); – нарушение сперматогенеза (изменение морфологии, снижение количества сперматозоидов); – отрицательное воздействие на мужские репродуктивные органы (яички, придатки яичек, семявыносящие протоки) Hazard category 1B – <i>violation of the morphology of the adrenal</i> <i>glands (weight change);</i> – <i>violation of spermatogenesis</i> <i>(morphological change, decrease</i> <i>in the number of spermatozoa);</i> – <i>negative effects on male reproductive organs</i> <i>(testicles, testicular appendages, vas deferens)</i>
Хлорпирифос <i>Chlorpyrifos</i> (2921-88-2)	Разрешен/ инсектицид/ ВДСД – 0,01 мг/кг <i>Allowed /insecticide/ Temporary permissible daily dose – 0.01 mg/kg</i>	Запрещен без права подачи повторной заявки и продления. Запрет с 16 февраля 2020 г. Основания: – потенциально стойкий, биоаккумулирующий, токсичный; – чрезвычайно токсичен для водных организмов с долгосрочными последствиями; – кожный сенсibilизатор; – обладает потенциалом генотоксичности и нейротоксичности. ДСД – не установлен <i>Prohibited without the right to re-apply and renew.</i> <i>Ban from February 16, 2020.</i> <i>Grounds:</i> – <i>potentially persistent, bioaccumulative, toxic;</i>	1В класс опасности – нарушение морфологии и функции щитовидной железы (изменение уровней гормонов); – нарушение морфологии и функции молочных желез (гиперплазия, опухоли); – нарушение сперматогенеза; – влияние на сексуальное поведение; – влияние на выживаемость половых клеток; – изменение уровня лютеинизирующего гормона; – нарушение углеводного обмена (ускорение развития диабета) Hazard category 1B – <i>violation of the morphology and function</i> <i>of the thyroid gland (changes in hormone levels);</i>

Наименование (номер CAS) Name (CAS number)	РФ (статус ^a , назначение ^a , ДСД/ВДСД ^b) RF (status ^a , purpose ^a , permissible daily dose/ temporary permissible daily dose ^b)	ЕС (статус ^c , дата и основания принятия решения ^c , ДСД ^d) EU (status ^c , date and grounds for decision-making ^d , permissible daily dose ^d)	Воздействие на эндокринную систему (класс опасности и основные виды нарушений) ^e Effects on the endocrine system (hazard class and main types of disorders) ^e
		– extremely toxic to aquatic organisms with long-term effects; – skin sensitizer; – has the potential of genotoxicity and neurotoxicity. Permissible daily dose – not established	– violation of the morphology and function of the mammary glands (hyperplasia, tumors); – violation of spermatogenesis; – influence on sexual behavior; – effect on germ cell survival; – changes in luteinizing hormone levels; – violation of carbohydrate metabolism (acceleration of diabetes development)
Цинеб / Zineb (12122-67-7)	Разрешен/фунгицид/ ДСД – 0,02 мг/кг Allowed/fungicide/ Permissible daily dose – 0.02 mg/kg	Запрещен без права подачи повторной заявки и продления. Запрет с 22 марта 2001 г. Основание: – кожный сенсibilизатор. ДСД – 0,03 мг/кг Prohibited without the right to re-apply and renew. The ban has been in effect since March 22, 2001. Grounds: – a skin sensitizer. Permissible daily dose – 0.03 mg/kg	1В класс опасности – нарушение морфологии и функции щитовидной железы (изменение уровней гормонов, гипертрофия, гиперплазия, аденома) Hazard category 1B – violation of the morphology and function of the thyroid gland (changes in hormone levels, hypertrophy, hyperplasia, adenoma)
Перметрин Permethrin (52645-53-1)	Разрешен/ инсектицид/ ДСД – 0,05 мг/кг Allowed/insecticide/ Permissible daily dose – 0.05 mg/kg	Запрещен без права подачи повторной заявки и продления. Запрет с 25 июля 2003 г. Основания: – чрезвычайно токсичен для водных организмов с долгосрочными последствиями; – кожный сенсibilизатор. ДСД – не установлен Prohibited without the right to re-apply and renew. The ban has been in effect since July 25, 2003. Grounds: – extremely toxic to aquatic organisms with long-term effects; – a skin sensitizer. Permissible daily dose – not established	1В класс опасности – нарушение морфологии тимуса (изменение массы); – утеротропный эффект; – нарушение сперматогенеза; – нарушение морфологии и функции мужских репродуктивных органов (снижение массы простаты, яичек, семенных пузырьков, изменение морфологии семенных канальцев, желез Купера, функции клеток Сертоли); – влияние на стероидогенез; – нарушение углеводного обмена (гипогликемия) Hazard category 1B – violation of the morphology of the thymus (weight change); – uterotrophic effect; – violation of spermatogenesis; – violation of the morphology and function of male reproductive organs (decrease in the mass of the prostate, testicles, seminal vesicles, change in the morphology of the seminal tubules, Cooper glands, Sertoli cell function); – effect on steroidogenesis; – violation of carbohydrate metabolism (hypoglycemia)

Примечание. ^a – государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации /по состоянию на 04.09.2024/; ^b – СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»; ^c – Регламент (ЕС) № 1107/2009 о размещении на рынке средств защиты растений; ^d – база данных ЕС по пестицидам (доступно https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/eu-pesticides-database_en); ^e – МР 1.2.0313-22 «Оценка и классификация опасности эндокринных разрушителей»; ^f – Международное агентство по изучению рака; ^g – Согласованная на глобальном уровне система классификации и маркировки химических веществ (СГС).

ВДСД/ДСД – (временная) допустимая суточная доза.

Notes. ^a – the state catalog of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation /as of 04.09.2024/; ^b – SanPiN 1.2.3685-21 «Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors to humans»; ^c – Regulation (EU) No. 1107/2009 concerning the placing of plant protection products on the market; ^d – EU database on pesticides (available https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/eu-pesticides-database_en); ^e – MR 1.2.0313-22 «Assessment and classification of the danger of endocrine disruptors»; ^f – International Agency for Research on Cancer; ^g – Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS).

рекомендациям⁴, препараты и их действующие вещества оцениваются по острой токсичности при различных путях поступления, кумуляции, раздражающему действию, сенсибилизации, отдаленным эффектам (канцерогенности, мутагенности, репротоксичности, включая тератогенность и эмбриотоксичность), стойкости в почве, при этом воздействие на эндокринную систему практически не рассматривается, что идет вразрез с мировыми тенденциями.

Отдельного обсуждения заслуживают вопросы включения некоторых пестицидов в Стокгольмскую и Роттердамскую конвенции. В настоящее время в центре внимания мирового сообщества находится хлорпирифос – пестицид, который является потенциальным стойким, биоаккумулирующим и токсичным, а также очень стойким и очень биоаккумулирующим веществом, обладает кожной сенсибилизацией, гено- и нейротоксичностью, чрезвычайно токсичен для водных организмов с долгосрочными последствиями. Кроме того, хлорпирифос нарушает морфологию и функции молочных и щитовидной желез, половых органов, сексуальное поведение, углеводный обмен. В соответствии с требованиями конвенций была проведена оценка риска, убедительно доказывающая неприемлемость его использования в сельском хозяйстве. Вместе с тем возникал вопрос о наличии доступных альтернатив. Сегодня рядом стран предложены аналоги для основных культур:

- овощи: циперметрин, дельтаметрин, перметрин, имидаклоприд, луфенурон, эмаметин бензоат, абамектин, азадихлорин, хлорфлуазурон, диафентиурон, спиносид, тиоциклам гидрооксалат, эсфенвалерат, малатион, диазинон и т.д.;
- рис: малатион, фенитротин + фенобукарб, этофенпрокс, бупрофезин + картап гидрохлорид, бупрофезин + эсфенвалерат, бупрофезин + тебуфенозид и т.д.

Внедрение альтернатив требует оценки их безопасности и возможных социально-экономических рисков.

При регулировании контаминантов в пищевой продукции особое внимание уделяется остаточным количествам пестицидов, широко применяемых в современном сельском хозяйстве. Российская Федерация активно реагирует на новые вызовы, разрабатывая нормы остаточного содержания пестицидов в пищевой продукции и аналитические методы их контроля. Преимущественно наблюдается согласованность нормативов РФ с Кодексом Алиментариус, однако в ряде случаев требуется более эффективное реагирование (пересмотр в сторону ужесточения) (табл. 3).

Приоритетными загрязнителями окружающей среды и, как следствие, продовольственного сырья и пищевой продукции являются тяжелые металлы (свинец, ртуть, кадмий), оказывающие политропное действие на орга-

низм человека, вызывая практически все специфические и отдаленные эффекты [4, 5]. Сравнительный анализ допустимых уровней содержания токсичных элементов (кадмия, ртути, свинца) в пищевой продукции, установленных в Российской Федерации, с международными нормами показал, что некоторую озабоченность вызывает регулирование свинца (табл. 4).

Несмотря на то что для ряда наименований пищевой продукции, особенно предназначенной для детского питания (например, детские смеси), наблюдается хорошее соответствие гигиенических нормативов международным нормам, допустимые уровни содержания свинца в мясе крупного рогатого скота, а также в молоке и молочных продуктах в Российской Федерации несколько завышены, что требует дополнительной оценки возможного риска для здоровья человека и их последующего пересмотра с учетом новых научных данных.

Принимая во внимание тот факт, что ТР ТС 021/2011, действующий в Российской Федерации, разрабатывался более 10 лет назад, а также международный подход к нормированию свинца в пищевой продукции, основные принципы которого базируются на:

- отсутствию безопасного уровня воздействия;
- оценке фактического содержания металла в пищевой продукции по различным регионам;
- установлении «настолько низкого допустимого уровня содержания, насколько это возможно с учетом экономических факторов»;

а также общую тенденцию к ужесточению нормативов, целесообразно проработать вопрос о необходимости пересмотра части норм максимально допустимых уровней заинтересованными федеральными органами исполнительной власти РФ совместно с государствами ЕАЭС.

При выращивании продуктивных животных широко используются ветеринарные препараты (антибиотики, антигельминтные средства, гормоны), остаточные количества которых определяются в традиционной пищевой продукции, такой как мясо, молоко и изделия из них [6–8]. Помимо того, что подобные вещества могут вызывать аллергические реакции, отравления, нарушать работу различных органов и систем (печень, почки) человека, основная их опасность заключается в том, что у микроорганизмов постепенно вырабатывается резистентность, в том числе к препаратам, наиболее широко используемым в медицинских целях. В связи с этим в законодательства ряда стран были введены запреты на использование, в частности, антибиотиков в качестве стимуляторов роста [9].

На площадке Евразийской экономической комиссии в последние годы по инициативе Республики Беларусь активно обсуждается вопрос включения новых антибиотиков и антипротозойных препаратов в Единые

⁴ Методические рекомендации МР 1.2.0235-21 «Гигиеническая классификация пестицидов и агрохимикатов по степени опасности» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 15 февраля 2021 г.). <https://base.garant.ru/407586426/> (дата обращения: 29.10.2024).

Таблица 3. Сравнительный анализ максимальных допустимых уровней остаточных количеств (мг/кг) пестицидов в сельскохозяйственных культурах в Российской Федерации, Кодексе Алиментариус и Европейском союзе

Table 3. Comparative analysis of the maximum permissible levels of residual amounts (mg/kg) of pesticides in agricultural crops in the Russian Federation, Codex Alimentarius and the European Union

Наименование (номер CAS) Name (CAS number)	Наименование культуры The name of the crop	РФ ^а RF ^а	Кодекс Алиментариус Codex Alimentarius	ЕС ^б EU ^б
Карбофуран / Carbofuran (1563-66-2)	Свекла сахарная / Sugar beet	0,2	0,2	0,01
	Рапс / Rapeseed	0,1	0,05*	0,02
Диазинон / Diazinon (333-41-5)	Картофель / Potato	0,1	Отменен / Cancelled	0,01
	Капуста / Cabbage	0,5	Отменен / Cancelled	0,01
	Лук (кроме лука на перо) / Onion (except green onion)	0,1	Отменен / Cancelled	0,05
	Овощные культуры / Vegetable crops	0,5	Отменен / Cancelled	0,01
	Пшеница / Wheat	0,1	Отменен / Cancelled	0,01
	Свекла сахарная / Sugar beet	0,1	–	0,1
Ципроконазол / Cyproconazole (94361-06-5)	Пшеница / Wheat	0,05	0,08	0,1
	Ячмень / Barley	0,05	0,08	0,2
	Горох / Peas	0,07	0,02* (сухой) / 0,01 (сочные семена) 0.02* (dry) / 0.01 (juicy seeds)	0,05
	Соя (бобы) / Soybeans	0,07	0,07	0,07
	Рис / Rice	0,1	–	0,1
	Подсолнечник (семена) / Sunflower (seeds)	0,5	–	0,05
Фенитротион / Fenitrothion (122-14-5)	Яблоня, груша / Apple, pear	0,5	0,5	0,01
	Пшеница, ячмень / Wheat, barley	6,0	6	0,05
	Картофель / Potato	0,01	0,1*	0,01
Беномил / Benomyl (17804-35-2)	Пшеница, рожь / Wheat, rye	0,5	–	0,1
	Свекла сахарная / Sugar beet	0,1	–	0,1
	Подсолнечник (семена) / Sunflower (seeds)	0,1	–	0,1
	Кукуруза / Corn	0,1	–	0,01
	Рис / Rice	0,5	–	0,01
Хлорпирифос / Chlorpyrifos (2921-88-2)	Сахарная свекла / Sugar beet	0,05	–	0,01
	Пшеница, ячмень / Wheat, barley	0,5	–	0,01
	Соя (бобы) / Soybeans	0,1	–	0,01
	Рапс (зерно) / Rapeseed (grain)	0,05	–	
Цинеб / Zineb (12122-67-7)	Картофель / Potato	0,1	–	0,01
	Виноград / Grape	0,6	–	0,01
	Яблоня, груша / Apple, pear	0,6	–	0,01
Перметрин / Permethrin (52645-53-1)	Картофель / Potato	0,05	0,05*	0,05
	Огурцы / Cucumbers	0,5	0,5	0,05
	Томаты / Tomatoes	1,0	1	0,05
	Яблоня / Apple	2,0	2	0,05

Примечание. * – на пределе определения или около него; ^а – СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»; ^б – Регламент (ЕС) № 396/2005 о максимальных остаточных количествах пестицидов в продуктах питания и кормах растительного и животного происхождения.

Note. * – at or near the identification limit; ^а – SanPiN 1.2.3685-21 «Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors to humans»; ^б – Regulation (EU) No 396/2005 on maximum residue levels of pesticides in or on food and feed of plant and animal origin.

санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), а также в Технический регламент ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Решением Коллегии Евразийской экономической комиссии от 23.06.2023 № 70⁵ в ТР ТС 021/2011 было внесено Приложение 5_1, содер-

жащее максимально допустимые уровни содержания остаточных количеств 75 ветеринарных лекарственных средств в пищевой продукции животного происхождения, в том числе порядка 60 антибиотиков.

Вместе с тем в отношении регулирования антигельминтных препаратов наблюдались существенные пробелы. Мировым сообществом введены гигиениче-

⁵ Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 23 июня 2023 г. № 70 «О внесении изменений в некоторые решения Комиссии Таможенного союза и Совета Евразийской экономической комиссии». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407267264/> (дата обращения: 29.10.2024).

Таблица 4. Сравнительный анализ допустимых уровней содержания свинца в пищевой продукции (мг/кг), установленных Российской Федерацией, Кодексом Алиментариус, Европейским союзом

Table 4. Comparative analysis of permissible levels of lead content in food (mg/kg) established by the Russian Federation, Codex Alimentarius, European Union

Наименование продукции <i>Name of the product</i>	РФ ^а <i>RF^a</i>	Кодекс Алиментариус <i>Codex Alimentarius</i>	ЕС ^б <i>EU^b</i>
Детские смеси / <i>Infant food</i>	0,02	0,01–0,02	0,01–0,02
Жиры и масла, включая молочный жир <i>Fats and oils, including milk fat</i>	0,1	0,08	0,1
Фрукты, ягоды / <i>Fruit, berries</i>	0,4	0,1–0,2	0,1–0,2
Грибы и продукты из них / <i>Mushrooms and their products</i>	0,5	0,3	–
Мясо крупного рогатого скота, свиней, овец, птицы <i>Meat of cattle, pigs, sheep, poultry</i>	0,5	0,1	0,1
Алкогольные напитки / <i>Alcoholic beverages</i>	0,3	0,1–0,2	0,1–0,2

Примечание. ^а – Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»; ^б – Регламент комиссии (ЕС) № 2023/915 о максимальных уровнях содержания определенных загрязняющих веществ в продуктах питания.

Note. ^a – Technical Regulation of the Customs Union TR CU 021/2011 “On Food Safety”; ^b – Commission Regulation (EU) No. 2023/915 on maximum levels for certain contaminants in food.

ские нормативы на препараты группы бензимидазолов (альбендазол, фенбендазол, флубендазол), имидазотиазолов (левамизол), салициланилидов (рафоксанид, оксиклозанид), производных пиперазина, которые представляют серьезную опасность для здоровья человека.

Альбендазол обладает низкой острой токсичностью при пероральном введении (LD₅₀ 2400 мг/кг, крысы; 1500 мг/кг, мыши; >10 000 мг/кг, хомяки), но гепатотоксичен, вызывает аллергические реакции, пороки развития у потомства, генотоксичен [10–13].

Фенбендазол вызывает поражение печени (гепатоцеллюлярную гипертрофию, вакуолизацию и пролиферацию желчных протоков), а также крови и кроветворной системы при многократном/продолжительном воздействии [10–13].

Флубендазол оказывает воздействие на систему крови, желудочно-кишечный тракт, яички, генотоксичен в микроядерном тесте *in vivo* [10–13].

Левамизол обладает умеренной острой токсичностью при пероральном введении (LD₅₀ 480 мг/кг, крысы; 210 мг/кг, мыши; 700 мг/кг, кролики), кожной сенсибилизацией, мутагенной активностью, воздействует на систему крови [10–13].

Антигельминтные препараты группы салициланилидов характеризуются репродуктивной токсичностью (рафоксанид), нейро- и гепатотоксичностью (оксиклозанид) [10–13].

Производные пиперазина обладают умеренной острой токсичностью при пероральном введении (LD₅₀ 1900–6226 мг/кг, крысы; 600–2400 мг/кг, мыши – для пиперазина), сенсибилизирующим и репротоксическим действиями [10–13].

Принимая во внимание высокую опасность данной группы ветеринарных препаратов для здоровья человека, Минздравом Республики Беларусь было предложено внести в Технический регламент ТР ТС 021/2011 нормы максимально допустимых уровней остаточных количеств антигельминтных препаратов. За основу были

приняты величины, научно обоснованные с использованием оценки риска и рекомендованные в Европейском союзе (табл. 5).

В настоящее время Решением Коллегии Евразийской экономической комиссии от 25.06.2024 № 72 указанные нормативы внесены в Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). Решение вступит в силу после включения установленных максимально допустимых уровней в ТР ТС 021/2011.

Не сходит с повестки дня и вопрос нормирования микотоксинов. Практически на каждом заседании Комитета Комиссии «Кодекс Алиментариус» по загрязняющим примесям в пищевой продукции обсуждаются допустимые уровни содержания афлатоксинов, ократоксина А, фумонизина В₁ и др. Сложность регулирования данной группы веществ заключается в том, что множественное заражение кормов и пищевой продукции различными токсинами является довольно распространенным сценарием, вместе с тем сведения о токсичности при совместном воздействии носят ограниченный характер [14, 15]. В последние годы рядом исследователей проводятся работы по оценке риска воздействия на человека нескольких микотоксинов с использованием различных инновационных клеточных моделей (2D- и 3D-сфероидов), что может способствовать не только пониманию механизма множественного действия микотоксинов на клеточном уровне, но и пересмотру компетентными органами соответствующих нормативов с учетом более детальной оценки риска [16, 17].

Так, в отношении афлатоксинов Комиссия Кодекс Алиментариус предлагает норматив суммарного содержания афлатоксинов В₁, В₂, G₁ и G₂ в зерновых и продуктах, полученных из них, на уровне 0,01 мг/кг, тогда как в Российской Федерации анализируют и регулируют только содержание наиболее токсичного афлатоксина В₁ на уровне 0,005 мг/кг. Обращает на себя

Таблица 5. Сравнительный анализ максимально допустимых уровней остаточных количеств ветеринарных препаратов (мг/кг)
Table 5. Comparative analysis of the maximum permissible levels of residual amounts of veterinary drugs (mg/kg)

Наименование препарата (номер CAS) Name of the drug (CAS number)	Органы (ткани) Organs (tissues)	ЕС ^a EU ^a	ВОЗ Кодекс Алиментариус WHO Codex Alimentarius	РФ (ЕАЭС) ^б RF (EAEU) ^b
Альбендазол Albendazole (54965-21-8)	Мясо / Meat	0,1	0,1	0,1
	Жир / Fat	0,1	0,1	0,1
	Печень / Liver	1	5	1
	Почки / Kidneys	0,5	5	0,5
Фенбендазол Fenbendazole (43210-67-9)	Молоко / Milk	0,1	0,1 мг/л / mg/l	0,05
	Мясо / Meat	0,05	0,1	0,05
	Жир / Fat	0,05	0,1	0,05
	Печень / Liver	0,5	0,5	0,5
	Почки / Kidneys	0,05	0,1	0,05
	Молоко / Milk	0,01	КРС и овцы / Cattle and sheep	0,01
Флубендазол Flubendazole (31430-15-6)	Яйца / Eggs	1,3	–	0,65
	Мясо / Meat	0,05	0,2/0,01	0,05/0,01
	Кожа и жир / Skin and fat	0,05	Птица/свины / Poultry/Pigs	0,05/0,05
	Печень / Liver	0,4	0,5/0,01	0,4/0,01
	Почки / Kidneys	0,3	–	0,3/0,3
Левамизол Levamisole (14769-73-4)	Яйца / Eggs	0,4	Птица / Poultry	Птица / Poultry
	Мясо / Meat	0,01	0,01	0,01
	Жир / Fat	0,01	КРС, овцы, свиньи, птица Cattle, sheep, pigs, poultry	КРС, овцы, свиньи, птица Cattle, sheep, pigs, poultry
	Печень / Liver	0,1	0,1	0,1
	Почки / Kidneys	0,01	0,01	0,01
Раfoxанид Rafoxanide (22662-39-1)	Мясо / Meat	0,03/0,1	–	0,03/0,1
	Жир / Fat	0,03/0,25		0,03/0,25
	Печень / Liver	0,01/0,15		0,01/0,15
	Почки / Kidneys	0,04/0,15		0,04/0,15
	Молоко / Milk	0,01		–
Оксиклозанид Oxyclozanide (2277-92-1)	Мясо / Meat	0,02	–	0,02
	Жир / Fat	0,02		0,02
	Печень / Liver	0,5		0,5
	Почки / Kidneys	0,1		0,1
	Молоко / Milk	0,01		0,01
Пиперазин Piperazine (110-85-0)	Мясо / Meat	0,4	–	0,4
	Кожа и жир / Skin and fat	0,8		0,8
	Печень / Liver	2		2
	Почки / Kidneys	1		1
	Яйца / Eggs	2		2

Примечание. ^a – Регламент Комиссии (ЕС) № 37/2010 о фармакологически активных веществах и их классификации в отношении предельно допустимых остатков в продуктах животного происхождения; ^б – Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии № 72 «О внесении изменения в раздел 1 главы II Единых санитарно-эпидемиологических и гигиенических требований к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)».

КРС – крупный рогатый скот.
Note. ^a – Commission Regulation (EU) No. 37/2010 on pharmacologically active substances and their classification regarding maximum residue limits in foodstuffs of animal origin; ^b – Decision of the Board of the Eurasian Economic Commission No. 72 «On Amending Section 1 of Chapter II of the Unified Sanitary, Epidemiological and Hygienic Requirements for Products (Goods) Subject to Sanitary and epidemiological surveillance (control)».

Таблица 6. Сравнительный анализ максимально допустимых уровней микотоксинов в пищевой продукции (мг/кг), установленных Российской Федерацией, Кодексом Алиментариус, Европейским союзом

Table 6. Comparative analysis of the maximum permissible levels of mycotoxins in food (mg/kg) established by the Russian Federation, Codex Alimentarius, European Union

Наименование микотоксина <i>Name of the mycotoxin</i>	Наименование продукции <i>Name of the product</i>	РФ ^а <i>RF^a</i>	Кодекс Алиментариус <i>Codex Alimentarius</i>	ЕС ^б <i>EU^b</i>
Афлатоксин В ₁ <i>Aflatoxin B₁</i>	Продукты переработки злаковых и зернобобовых культур <i>Products of processing of cereals and legumes</i>	0,005	–	0,002
	Масла растительные <i>Vegetable oils</i>	0,005	–	–
	Продукты на соевой основе <i>Soy-based products</i>	Не допускается (<0,00015 мг/кг) <i>Not allowed (<0.00015 mg/kg)</i>	–	–
	Каши на молочно-зерновой основе <i>Cereals based on milk and grain</i>	Не допускается (<0,00015 мг/кг) <i>Not allowed (<0.00015 mg/kg)</i>	–	–
Афлатоксин М ₁ / <i>Aflatoxin M₁</i>	Молоко / <i>Milk</i>	0,0005	0,005	0,0005
Афлатоксины (сумма В ₁ , В ₂ , G ₁ и G ₂) <i>Aflatoxins (sum of B₁, B₂, G₁ and G₂)</i>	Зерновые и продукты, полученные из зерновых (мука) <i>Cereals and products derived from cereals (flour)</i>	–	0,01	0,004
Охратоксин А <i>Ochratoxin A</i>	Продукты переработки злаковых культур <i>Processed cereal products</i>	0,005	0,005 (не переработанные) <i>0.005 (not recycled)</i>	0,003
Дезоксиниваленол <i>Deoxynivalenol</i>	Шрот / <i>Schrot</i>	0,7	1,0	–
Патулин / <i>Patulin</i>	Яблочный сок / <i>Apple juice</i>	0,05	0,05	0,05
Зеараленон / <i>Zearalenone</i>	Отруби / <i>Bran</i>	1,0	–	0,075

Пр и м е ч а н и е. ^а – Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»; ^б – Регламент комиссии (ЕС) № 2023/915 о максимальных уровнях содержания определенных загрязняющих веществ в продуктах питания.
N o t e. ^a – Technical Regulation of the Customs Union TR CU 021/2011 «On Food Safety»; ^b – Commission Regulation (EU) No. 2023/915 on maximum levels for certain contaminants in food.

внимание тот факт, что в странах Европейского союза нормативы по афлатоксину В₁ в пищевой продукции в 2 раза жестче, чем в Российской Федерации (табл. 6).

Высокоопасные химические вещества могут поступать и (или) образовываться в пищевой продукции в результате технологических процессов. Промышленная и кулинарная обработка может приводить к образованию акриламида, глицидиловых эфиров жирных кислот, нитрозоаминов, 3-монохлор-1,2-пропандиола и других, многие из которых обладают канцерогенным действием [18–20]. Основные регуляторные решения для данной группы загрязнителей направлены на изменение технологических процессов и организацию мониторинга их содержания в пищевой продукции с использованием официальных аналитических методов контроля [1]. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека совместно

с профильными институтами активно разрабатываются методические указания и ГОСТы по определению содержания загрязнителей.

Заключение

В Российской Федерации вопросы безопасности пищевой продукции являются приоритетным направлением в области регулирования химического фактора. Несмотря на то что в государстве активно разрабатываются новые стандарты, гигиенические нормативы и методические указания по контролю содержания загрязнителей, в ряде областей необходима гармонизация с международными требованиями, нормами и параметрами качества и безопасности пищевой продукции на основе фундаментальных исследований в области гигиены и науки о питании.

Сведения об авторах

Хамидулина Халидя Хизбулаевна (*Khalidya Kh. Khamidulina*) – доктор медицинских наук, профессор, директор Филиала РПОХБВ ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, заведующий кафедрой гигиены ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России (Москва, Российская Федерация)
E-mail: Khamidulina.KhKh@fncg.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7319-5337>

Тарасова Елена Владимировна (*Elena V. Tarasova*) – кандидат химических наук, заместитель директора Филиала РПОХБВ ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора (Москва, Российская Федерация)

E-mail: tarasova.ev@fncg.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4020-3123>

Проскурина Ангелина Сергеевна (*Angelina S. Proskurina*) – врач по общей гигиене Филиала РПОХБВ ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, ассистент кафедры гигиены ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России (Москва, Российская Федерация)

E-mail: proskurina.as@fncg.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2124-6440>

Назаренко Андрей Константинович (*Andrey K. Nazarenko*) – химик-эксперт Филиала РПОХБВ ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, аспирант ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева (Москва, Российская Федерация)

E-mail: Nazarenko.AK@fncg.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0178-4540>

Дорофеева Екатерина Валентиновна (*Ekaterina V. Dorofeeva*) – начальник информационно-аналитического отдела, врач по общей гигиене Филиала РПОХБВ ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора (Москва, Российская Федерация)

E-mail: dorofeeva.ev@fncg.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8901-7914>

Литература

- Onyeaka H., Ghosh S., Obileke K., Miri T., Odeyemi O.A., Nwaiwu O. et al. Preventing chemical contaminants in food: challenges and prospects for safe and sustainable food production // *Food Control*. 2024. Vol. 155. Article ID 110040. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110040>
- Wang H.-P., Huang X.-H., Chen J.-N., Dong M., Nie C.-Z., Qin Lei. Micro- and nano-plastics in food systems: Distribution, combined toxicity with environmental contaminants, and removal strategies // *Chem. Eng. J.* 2023. Vol. 476. Article ID 146430. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146430>
- Хамидулина Х.Х., Тарасова Е.В., Проскурина А.С., Гусева Е.А. Анализ поступающих на рынок России запрещенных или строго ограниченных химических веществ и пестицидов в рамках Роттердамской конвенции о процедуре предварительного обоснованного согласия в отношении отдельных опасных химических веществ и пестицидов в международной торговле // *Токсикологический вестник*. 2021. Т. 29, № 4. С. 30–39. DOI: <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2021-29-4-30-39>
- Scutaraşu E.C., Trincă L.C. Heavy metals in foods and beverages: global situation, health risks and reduction methods // *Foods*. 2023. Vol. 12. Article ID 3340. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12183340>
- Angon P.B., Islam M.S., Kc S., Das A., Anjum N., Poudel A. et al. Sources, effects and present perspectives of heavy metals contamination: soil, plants and human food chain // *Heliyon*. 2024. Vol. 10, N 7. Article ID e28357. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28357>
- Зайко Е.В., Батаева Д.С. Идентификация рисков, связанных с сырьем животного происхождения // *Теория и практика переработки мяса*. 2018. Т. 3, № 4. С. 23–31. DOI: <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-4-23-31>
- Shi R., Yu Z., Wu W., Ho H., Wang J., Wang Y. et al. A survey of 61 veterinary drug residues in commercial liquid milk products in China // *J. Food Prot.* 2020. Vol. 83, N 7. P. 1227–1233. DOI: <https://doi.org/10.4315/JFP-20-048>
- Bedi M., Sapozhnikova Y., Ng C. Evaluating contamination of seafood purchased from U.S. retail stores by persistent environmental pollutants, pesticides and veterinary drugs // *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Expo. Risk Assess.* 2024. Vol. 41, N 3. P. 325–338. DOI: <https://doi.org/10.1080/19440049.2024.2310128>
- Suryawanshi S.J., Jain S., Sharma R.K., Chawla R., Arora S., Shukla V.K. et al. Current veterinary regulations and way ahead // *Res. Vet. Sci.* 2024. Vol. 166. Article ID 105101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2023.105101>
- Registry of Toxic Effects of Chemical Substances Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS) [Электронный ресурс] // CCOHS RTECS. Canadian Centre Occupational Health and Safety. URL: <https://www.ccohs.ca/products/rtecs> (дата обращения: 29.10.2024).
- Pubchem [Электронный ресурс] // National Center for Biotechnology Information. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> (дата обращения: 29.10.2024).
- Chemicals, pesticides and toxics topics [Электронный ресурс] // The Environmental Protection Agency (EPA). URL: <https://www.epa.gov> (дата обращения: 29.10.2024).
- Dissemination portal with information on chemical substances registered under REACH [Электронный ресурс] // European Chemicals Agency's (ECHA). URL: <https://echa.europa.eu> (дата обращения: 29.10.2024).
- More S.J., Bampidis V., Benford D., Bennekou S.H., Bragard C., Halldorsson T.I. et al. Guidance on harmonised methodologies for human health, animal health and ecological risk assessment of combined exposure to multiple chemicals // *EFSA J.* 2019. Vol. 17, N 3. Article ID e05634. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5634>
- Kumar P., Mahato D.K., Kamle M., Mohanta T.K., Kang S.G. Aflatoxins: a global concern for food safety, human health and their management // *Front. Microbiol.* 2017. Vol. 7. Article ID 2170. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02170>
- Beatriz A.L., Nolwenn H. Innovative in vitro approaches to toxicological investigations of mycotoxins effects // *EFSA J.* 2022. Vol. 20, suppl 2. Article ID e200907. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.e200907>
- Аксенов И.В., Седова И.Б., Чалый З.А., Тутельян В.А. Альтернативные токсины как фактор риска для здоровья населения // *Анализ риска здоровью*. 2023. № 4. С. 146–157. DOI: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.4.14>
- 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>
- Merhi A., Naous G.E., Daher R., Abboud M., Mroueh M., Taleb R.I. Carcinogenic and neurotoxic risks of dietary acrylamide consumed through cereals among the Lebanese population // *BMC Chem.* 2020. Vol. 14, N 1. P. 53. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13065-020-00705-2>
- Макаренко М.А., Малинкин А.Д., Бессонов В.В., Боков Д.О. Определение эфиров монохлорпропандиола и глицидиловых эфиров методом длительной щелочной переэтерификации с газовой хроматографией с tandemным масс-спектрометрическим детектированием в пищевых растительных маслах и масложировых продуктах // *Вопросы питания*. 2020. Т. 89, № 6. С. 113–122. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10084>

References

- Onyeaka H., Ghosh S., Obileke K., Miri T., Odeyemi O.A., Nwaiwu O. et al. Preventing chemical contaminants in food: challenges and prospects for safe and sustainable food production. *Food Control*. 2024; 155: 110040. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110040>
- Wang H.-P., Huang X.-H., Chen J.-N., Dong M., Nie C.-Z., Qin Lei. Micro- and nano-plastics in food systems: Distribution, combined toxicity with environmental contaminants, and removal strategies. *Chem Eng J.* 2023; 476: 146430. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146430>

3. Khamidulina Kh.Kh., Tarasova E.V., Proskurina A.S., Guseva E.A. Analysis of banned or severely restricted chemicals and pesticides entering the Russian market under the Rotterdam Convention on the prior informed consent procedure for certain hazardous chemicals and pesticides in international trade. *Toksikologicheskiy vestnik [Toxicological Bulletin]*. 2021; 29 (4): 30–9. DOI: <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2021-29-4-30-39> (in Russian)
4. Scutarașu E.C., Trincă L.C. Heavy metals in foods and beverages: global situation, health risks and reduction methods. *Foods*. 2023; 12: 3340. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12183340>
5. Angon P.B., Islam M.S., Kc S., Das A., Anjum N., Poudel A., et al. Sources, effects and present perspectives of heavy metals contamination: soil, plants and human food chain. *Heliyon*. 2024; 10 (7): e28357. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28357>
6. Zayko E.V., Bataeva D.S. Identification of risks associated with raw materials of animal origin. *Teoriya i praktika pererabotki myasa [Theory and Practice of Meat Processing]*. 2018; 3 (4): 23–31. DOI: <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-4-23-31> (in Russian)
7. Shi R., Yu Z., Wu W., Ho H., Wang J., Wang Y., et al. A survey of 61 veterinary drug residues in commercial liquid milk products in China. *J Food Prot.* 2020; 83 (7): 1227–33. DOI: <https://doi.org/10.4315/JFP-20-048>
8. Bedi M., Sapozhnikova Y., Ng C. Evaluating contamination of seafood purchased from U.S. retail stores by persistent environmental pollutants, pesticides and veterinary drugs. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 2024; 41 (3): 325–38. DOI: <https://doi.org/10.1080/19440049.2024.2310128>
9. Suryawanshi S.J., Jain S., Sharma R.K., Chawla R., Arora S., Shukla V.K., et al. Current veterinary regulations and way ahead. *Res Vet Sci.* 2024; 166: 105101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2023.105101>
10. Registry of Toxic Effects of Chemical Substances Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS) [Electronic resource]. In: CCOHS RTECS. Canadian Centre Occupational Health and Safety. URL: <https://www.ccohs.ca/products/rtecs> (date of access October 29, 2024).
11. Pubchem [Electronic resource]. In: National Center for Biotechnology Information. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> (date of access October 29, 2024).
12. Chemicals, pesticides and toxics topics [Electronic resource]. In: The Environmental Protection Agency (EPA). URL: <https://www.epa.gov> (date of access October 29, 2024).
13. Dissemination portal with information on chemical substances registered under REACH [Electronic resource]. In: European Chemicals Agency's (ECHA). URL: <https://echa.europa.eu> (date of access October 29, 2024).
14. More S.J., Bampidis V., Benford D., Bennekou S.H., Bragard C., Hall-dorsson T.I., et al. Guidance on harmonised methodologies for human health, animal health and ecological risk assessment of combined exposure to multiple chemicals. *EFSA J.* 2019; 17 (3): e05634. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5634>
15. Kumar P., Mahato D.K., Kamle M., Mohanta T.K., Kang S.G. Aflatoxins: a global concern for food safety, human health and their management. *Front Microbiol.* 2017; 7: 2170. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02170>
16. Beatriz A.L., Nolwenn H. Innovative in vitro approaches to toxicological investigations of mycotoxins effects. *EFSA J.* 2022; 20 (suppl 2): e200907. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.e200907>
17. Aksenov I.V., Sedova I.B., Chaliy Z.A., Tutelyan V.A. Alternaria toxins as a risk factor for population health. *Analiz riska zdorov'yu [Health Risk Analysis]*. 2023; (4): 146–57. DOI: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.4.14.eng> (in Russian)
18. 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>
19. Merhi A., Naous G.E., Daher R., Abboud M., Mroueh M., Taleb R.I. Carcinogenic and neurotoxic risks of dietary acrylamide consumed through cereals among the Lebanese population. *BMC Chem.* 2020; 14 (1): 53. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13065-020-00705-2>
20. Makarenko M.A., Malinkin A.D., Bessonov V.V., Bokov D.O. Alkaline transesterification CG-MS/MS method of monochloropropanediol and glycidyl esters' determination in some edible fats, oils and fat blends on Russian market. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2020; 89 (6): 113–22. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10084> (in Russian)

Для корреспонденции

Романенко Сергей Павлович – кандидат медицинских наук, заместитель директора по научной работе
ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора
Адрес: 630108, Российская Федерация, г. Новосибирск,
ул. Пархоменко, д. 7
Телефон: (383) 343-32-08
E-mail: romanenko_sp@niig.su
<https://orcid.org/0000-0003-1375-0647>

Попова А.Ю.^{1,2}, Шевкун И.Г.¹, Новикова И.И.³, Романенко С.П.³

Об основных результатах мониторинга питания детей школьного возраста, реализованного в рамках федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография»

Main results of nutrition monitoring of school-age children implemented within the framework of the Federal Project "Public Health Improvement" of the National Project "Demography"

Popova A.Yu.^{1,2}, Shevkun I.G.¹,
Novikova I.I.³, Romanenko S.P.³

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

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 125993, г. Москва, Российская Федерация

³ Федеральное бюджетное учреждение науки «Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 630108, г. Новосибирск, Российская Федерация

¹ Federal Service for Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 127994, Moscow, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Ministry of Health of the Russian Federation, 125993, Moscow, Russian Federation

³ Novosibirsk Research Institute of Hygiene, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 630108, Novosibirsk, Russian Federation

Одной из основ национальной безопасности государства является здоровье подрастающего поколения. В его формировании ведущая роль принадлежит образовательному процессу, обязательным элементом которого является питание. Учитывая значимость приверженности принципам здорового

Финансирование. Работа не имела спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Попова А.Ю.; написание текста – Шевкун И.Г., Новикова И.И., Романенко С.П.; редактирование, утверждение окончательного варианта, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Попова А.Ю., Шевкун И.Г., Новикова И.И., Романенко С.П. Об основных результатах мониторинга питания детей школьного возраста, реализованного в рамках федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография» // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 1. С. 64–70. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-64-70>

Статья поступила в редакцию 17.10.2024. **Принята в печать** 09.01.2025.

Funding. The study had no sponsorship support.

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

Contribution. Concept and design of the study – Popova A.Yu.; text writing – Shevkun I.G., Novikova I.I., Romanenko S.P.; editing, approval of the final version of the article – all authors.

For citation: Popova A.Yu., Shevkun I.G., Novikova I.I., Romanenko S.P. Main results of nutrition monitoring of school-age children implemented within the framework of the Federal Project "Public Health Improvement" of the National Project "Demography". Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (1): 64–70. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-64-70> (in Russian)

Received 17.10.2024. **Accepted** 09.01.2025.

питания, особое значение приобретает мониторинг питания, осуществляемый Роспотребнадзором совместно с ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» в рамках федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография».

Цель работы – оценка особенностей питания детей школьного возраста для разработки научно обоснованных управленческих решений в здоровьесбережении.

Материал и методы. В рамках исследования в 85 субъектах РФ проведено масштабное интервьюирование 3 групп респондентов: руководители школ (более 16 тыс.), операторы питания (более 2400), обучающиеся 2, 5 и 10-х классов и их родители (законные представители/более 650 тыс.).

Результаты. Выявлены позитивные изменения в организации питания, в том числе в 66,3% школ был расширен ассортимент предлагаемых продуктов и блюд здорового питания, в 25,5% внесены позитивные изменения в режим питания, в 36,8% организаций были улучшены условия для приема пищи. С положительной стороны следует отметить изменение вкусовых привычек у школьников: увеличилось количество детей, ежедневно употребляющих фрукты (с 52,2% в 2021 г. до 60,6% в 2024 г., $p < 0,05$) и овощи (с 33,2 до 45,1%, $p < 0,05$); сократилось число детей, досаливающих пищу (с 14,1 до 12,7%, $p < 0,05$) и добавляющих в напитки более 2 чайных ложек сахара (с 21,3 до 15,6%, $p < 0,05$).

Заключение. По итогам мониторинга питания школьников с учетом выявленных особенностей питания и состояния здоровья детей были разработаны рекомендации по профилактике нарушений здоровья школьников, связанных с пищевым фактором, по всем субъектам РФ, участвовавшим в мониторинге, и структура дорожной карты по улучшению питания детей, предусматривающей мероприятия в отношении питания ребенка в семье и школе.

Ключевые слова: здоровое питание; дети; подростки; пищевые стереотипы; пищевые привычки; мониторинг

One of the foundations of the state national security is the health of the younger generation. The leading role in its formation belongs to the educational process, an indispensable element of which is nutrition. Given the importance of adherence to the principles of healthy nutrition, nutrition monitoring carried out by the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in cooperation with the Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety within the framework of the federal project "Public Health Improvement" of the national project "Demography" is of particular importance.

The objective of the research was to assess the nutritional characteristics of school-age children for the development of scientifically based management decisions in health care.

Material and methods. Within the framework of the study, a large-scale interviewing of 3 groups of respondents was conducted in 85 subjects of the Russian Federation: school administrators (more than 16 thousand), catering operators (more than 2400), students in grades 2, 5, and 10, and their parents/legal representatives (more than 650 thousand).

Results. Positive changes in the organization of catering have been noted, including an increased range of healthy food and dishes in 66.3% of schools, positive changes in the dietary regime in 25.5% of schools and improved eating conditions in 36.8% of organisations. On the positive side, changes in schoolchildren's eating habits have been revealed: the proportion of children consuming fruit and vegetables daily has increased (from 52.2% in 2021 to 60.6% in 2024, and from 33.2 to 45.1%, respectively, $p < 0.05$); the number of children adding salt to their food and adding more than 2 tablespoons of sugar to drinks has decreased (from 14.1 to 12.7%, and from 21.3 to 15.6%, respectively, $p < 0.05$).

Conclusion. Based on the results of the monitoring of schoolchildren's nutrition and taking into account the identified peculiarities of children's diet and health, recommendations were developed for the prevention of nutrition-related health disorders among schoolchildren in all constituent entities of the Russian Federation that participated in the monitoring, and a roadmap for improving children's nutrition was developed, including measures related to children's nutrition in the family and at school.

Keywords: healthy nutrition; children; adolescents; food stereotypes; eating habits; monitoring

Одной из основ национальной безопасности государства является здоровье подрастающего поколения. В его формировании ведущая роль принадлежит образовательному процессу, обязательный элемент которого – питание. Одним из важнейших направлений научных исследований в области питания детей школьного возраста является совершенствование органи-

зации питания в общеобразовательных организациях, нацеленное на комплексную модернизацию системы питания в школах [1–4].

Многие зарубежные исследователи акцентируют внимание на значении школьного питания. По их мнению, школьная среда играет важную роль в обеспечении питанием и поддержании здоровья [5–7].

Многолетнее изучение долгосрочного влияния программы, включающей бесплатные обеды всем ученикам начальной школы в Швеции, показало, что участие в программе оказало существенное воздействие на уровень образования и здоровье, что, по мнению авторов, может объяснить большую часть влияния программы на социально-экономическое положение участников исследования в течение всей жизни [8].

На ключевую роль школьного бесплатного питания в укреплении здоровья, но при условии соблюдения баланса между здоровой и популярной пищей, указывают исследования, проведенные S. Mauer и соавт. (2022) в Осло [9]. Эксперимент по внедрению в течение года здорового бесплатного питания в сельских школах Норвегии, в большинстве из которых дети питаются принесенными из дома ланчами, выявил увеличение потребления школьниками овощей, что имеет существенное значение для здоровья [10]. На увеличение потребления фруктов и овощей в условиях школы указывают исследования, проведенные в Великобритании [11].

Исследования K.Y. Grannon и соавт. (2020) показали, что внедрение школьных завтраков при наличии традиционного питания в школьных столовых существенно увеличило количество питающихся 9- и 10-классников в среднем на 25,7% (с 7,9–38,1 до 14,1–47,5%, $p=0,004$) [12]. Дети, получающие школьный завтрак ежедневно, в отличие от тех, кто получал его от 0 до 4 раз в неделю, потребляли в целом больше фруктов, овощей, молочных продуктов, а следовательно, пищевых волокон и кальция, что свидетельствует о потенциальной важности для пищевой ценности рациона регулярного употребления школьного питания [13].

Большое значение школьному питанию отводится исследователями в профилактике избыточной массы тела и ожирения, распространенность которых является одной из актуальных проблем современной медицины [14, 15].

Учитывая значимость приверженности принципам здорового питания, особое значение приобретает мониторинг питания, направленный на изучение особенностей питания детей школьного возраста в условиях общеобразовательной организации и в условиях семьи, осуществляемый Роспотребнадзором совместно с ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» в рамках федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография».

Материал и методы

Основной инструмент исследования – интервьюирование. Интервьюирование проводили по 3 группам респондентов: руководители общеобразовательных организаций, операторы питания, обучающиеся 2,

5 и 10-х классов общеобразовательных организаций и их родители (законные представители). Исследование проводили в 85 субъектах РФ в соответствии с МР 2.3.0340-24 «Гигиена питания. Подготовка и проведение мониторинга питания обучающихся общеобразовательных организаций»¹. В соответствии с программой исследования Роспотребнадзором были проинтервьюированы за 5 лет (с 2019 по 2024 г.) более 16 тыс. руководителей общеобразовательных организаций, 2439 операторов питания и более 650 тыс. обучающихся и их родителей.

Программой исследования большое внимание уделялось оценке пищевых привычек и пищевого поведения детей, структуры школьного и внешкольного питания, режима питания, частоты потребления отдельных групп продуктов. В ходе мониторинга был осуществлен формализованный сбор информации об организации питания, рисках здоровью, связанных с пищевым фактором и низкой физической активностью детей, региональных особенностях питания и распространенности ожирения.

Для оценки организации питания были использованы такие интегральные показатели, как охват детей организованным питанием, индекс несъедаемости, удельный вес детей, удовлетворенных организацией и структурой питания.

Индекс несъедаемости (удельный вес несъеденной пищи от массы выданной пищи) оценивали по интервальным коридорам средних значений: от 0 до 5% – низкий, от 5 до 10% – средний, 10% и выше – высокий.

В работе использовали методы описательной статистики. Результаты всех показателей представлены в процентах от общего объема выборки, критический уровень значимости (p) принимали равным 0,05.

Результаты и обсуждение

За анализируемый период выявлены позитивные изменения в организации питания, произошедшие по большинству общеобразовательных организаций, в том числе в 66,3% общеобразовательных организаций был расширен ассортимент предлагаемых продуктов и блюд здорового питания, в 25,5% организаций были внесены позитивные изменения в режим питания обучающихся, в 59,3% организаций удалось добиться улучшения органолептических показателей блюд, в 36,8% организаций были улучшены условия для приема пищи. В качестве инноваций в организации питания в единичных общеобразовательных организациях была введена практика питания по типу шведского стола и вариативное питание с возможностью самостоятельного выбора блюд обучающимися.

По результатам мониторинга охват обучающихся организованным горячим питанием по общеобразователь-

¹ Методические рекомендации МР 2.3.0340-24 «Подготовка и проведение мониторинга питания обучающихся общеобразовательных организаций» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 6 марта 2024 г.).

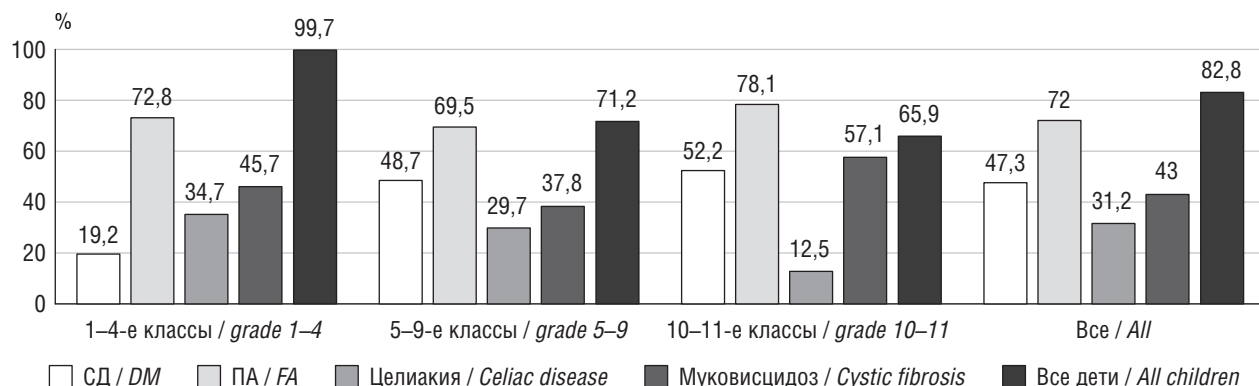


Рис. 1. Показатели охвата детей организованным горячим питанием (в %), в том числе детей с заболеваниями, требующими индивидуального подхода

СД – сахарный диабет; ПА – пищевая аллергия.

Fig. 1. Indicators of coverage of children with organized hot meals (in %), including children with diseases requiring an individual approach

DM – diabetes mellitus; FA – food allergy.

ным организациям, участвовавшим в мониторинге, суммарно по всем возрастным группам составил 82,8%, в том числе по возрастным группам: 1–4-е классы – 99,7%; 5–9-е классы – 71,2%; 10–11-е классы – 65,9%. Охват организованным питанием детей, страдающих пищевой аллергией, составил 72,0%, сахарным диабетом – 47,3%, муковисцидозом – 43,0%, целиакией – 31,2% (рис. 1).

В интервал, соответствующий низким значениям индекса несъедаемости, было отнесено 36,2% общеобразовательных организаций, в интервал средних значений – 52,6% школ, в интервал высоких значений попали 11,2% школ. При этом высокий индекс несъедаемости (средний выше 10%) по возрастной группе «1–4-е классы» отмечался в 17,1% общеобразовательных организаций, принявших участие в анкетировании; по группе «5–9-е классы» – в 8,7% школ; по группе «10–11-е классы» – в 6,4% школ.

Третий интегральный показатель, характеризующий организацию питания, – это структура ассортимента

дополнительного питания обучающихся. Так, в отличие от предыдущих лет, в 2023–2024 гг. на лидирующие позиции в ассортименте дополнительного питания вышли каши и гарниры, отодвинув кондитерские изделия на второй план. Однако в структуре самостоятельного выбора блюд и продуктов дополнительного питания лидирующее положение занимали выпечные изделия, их обычно приобретали для перекуса 35,3% респондентов (рис. 2).

В качестве следующего интегрального показателя, характеризующего систему школьного питания, использовали оценку удовлетворенности детей условиями для приема пищи, качеством блюд и объемами порций. Количество удовлетворенных среди обучающихся младших классов было стабильно выше и составило 80–90% против 70–75% среди старшеклассников. Критериями, подтверждающими качество организации питания в общеобразовательных организациях, являлись субъективные показатели оценки, такие как чистота помещений, достаточность столовой по площади для приема

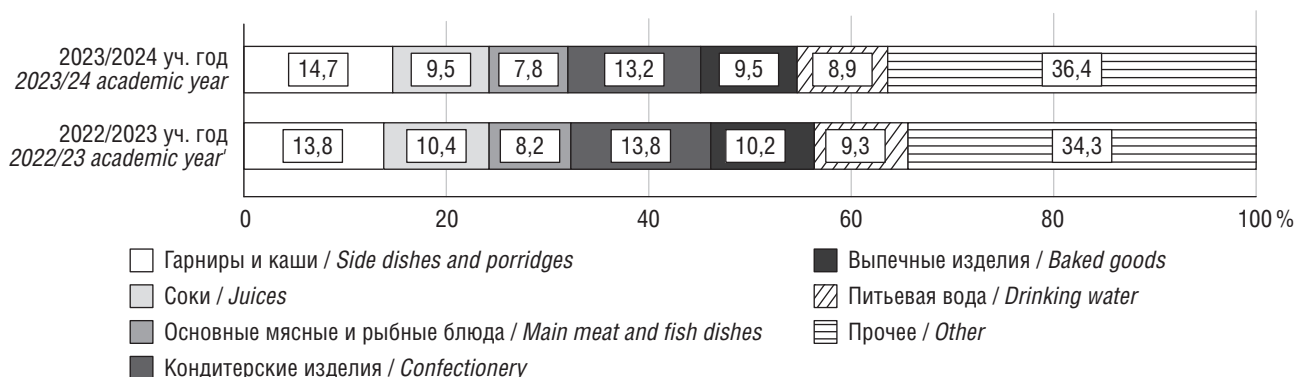


Рис. 2. Структура предложений дополнительного питания в общеобразовательных организациях (в %)

Fig. 2. Structure of supplementary food offerings in education organizations (in %)

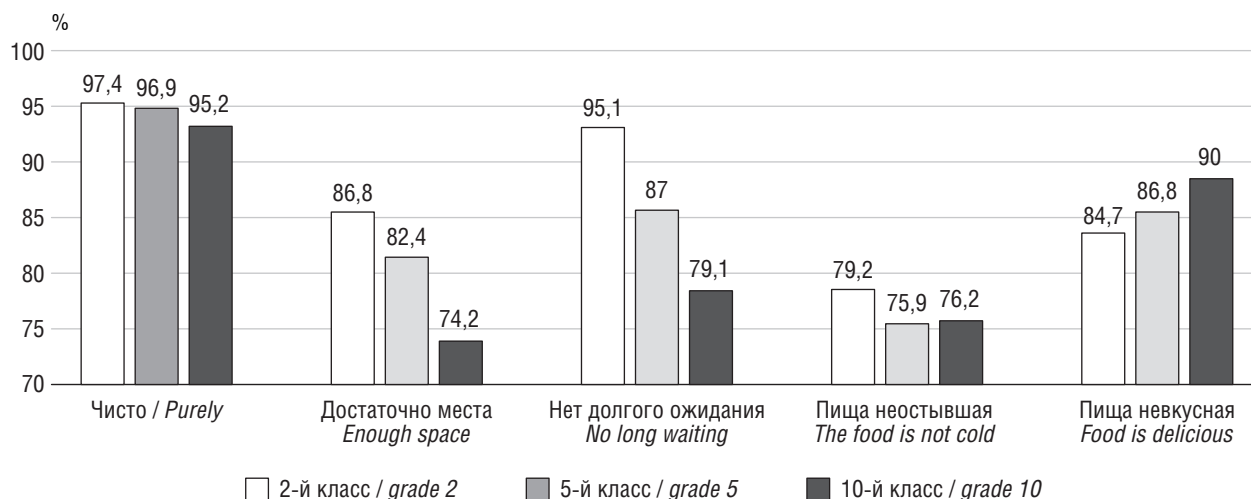


Рис. 3. Количество респондентов, считающих, что в столовой преимущественно всегда достаточно чисто, достаточно места для приема пищи, быстрое обслуживание, неостывшая и вкусная пища (в %)

Fig. 3. The proportion of respondents who believe that the canteen is usually clean enough, there is enough space for eating, the service is fast, the food is not cold and is tasty (in %)

пищи, скорость обслуживания, вкус и температура выдаваемых горячих блюд (рис. 3). Считали, что в столовой преимущественно чисто, подавляющее большинство респондентов – 96,7%; указали на достаточность места для приема пищи 82,1% респондентов; на быстроту обслуживания и отсутствие долгого ожидания – 88,2% респондентов; согласились с высказыванием, что детям выдается пища преимущественно неостывшая, 77,3% респондентов; считали пищу, выдаваемую в школьной столовой, вкусной 86,8% респондентов.

Ключевые предложения по улучшению питания обучающихся включали решение вопросов по обеспечению возможности выбора детьми вариантов меню или отдельных блюд в основном питании (38,6%); введение для старшеклассников питания по типу шведского стола (32,4%); предоставление детям возможности приобретения горячих блюд в дополнительном питании (23,0%); исключение из ассортимента дополнительного питания шоколада и кондитерских изделий промышленного изготовления (13,9%); введение второго завтрака для детей 1–4-х классов с выдачей им ежедневно молока (15,9%); включение в меню горячих напитков без сахара (19,6%); увеличение продолжительности перемен для приема пищи до 30 мин (26,5%); обеспечение удобного режима работы столовой или буфета (не менее чем до 17 ч, когда дети могут получить питание – 19,8% респондентов).

Следует отметить с положительной стороны изменение вкусовых привычек у школьников, позволившее сократить количество детей с привычкой добавлять в горячие напитки более 2 чайных ложек сахара с 21,3% в 2021 г. до 15,6% в 2024 г. ($p < 0,05$), а также с привычкой досаливать готовые блюда с 14,1 до 12,7% ($p < 0,05$). Несомненно, положительным результатом работы по пропаганде здорового питания является увеличение количества детей, потребляющих фрукты и овощи ежедневно [фрукты – с 52,2% в 2021 г. до 60,6% в 2024 г.

($p < 0,05$); овощи – с 33,2% в 2021 г. до 45,1% в 2024 г. ($p < 0,05$)]. Однако осталась практически без изменения частота ежедневного потребления в домашних условиях продуктов, содержащих в значительном количестве критически значимые нутриенты – это колбаса (16,0–16,5%), кетчуп (8–9%), майонез (9–10%), пирожные и торты (2–3%), выпечные изделия (9–10%), а также имела тенденция к росту удельного веса детей, потребляющих ежедневно фастфуд (с 1,0 до 2,4%, $p > 0,05$) и сладкие газированные напитки (с 5,4 до 7,3%, $p > 0,05$).

Заключение

Выявленные положительные изменения в питании детей школьного возраста, несомненно, являются результатом многогранной межведомственной работы с населением по формированию приверженности здоровому питанию. Большим подспорьем в улучшении питания детей стали разработанные Роспотребнадзором сборники типовых меню и рецептов блюд для детей всех возрастных групп. С учетом выявленных в процессе мониторинга региональных особенностей питания и состояния здоровья детей были разработаны рекомендации по профилактике нарушений здоровья школьников, связанных с пищевым фактором, по всем субъектам РФ, участвовавшим в мониторинге, и дорожные карты, содержащие перечень мероприятий по улучшению питания ребенка в семье и школе. Результаты реализации дорожных карт, по прогнозным данным, должны способствовать увеличению удельного веса детей, имеющих навыки здорового питания и реализующих их на практике; улучшению структуры питания за счет разнообразия ассортимента пищевых продуктов и блюд в предлагаемом детям в общеобразовательных организациях основном меню; повышению удовлетворенности детей организацией питания в общеобразо-

вательной организации; повышению охвата детей организованным горячим питанием, в том числе учащихся 5–11-х классов; снижению индекса несъедаетости; сокращению удельного веса детей с высокой частотой потребления продуктов, содержащих в значительном количестве критические нутриенты, ежегодно не менее чем на 5%, а по группе детей с избыточной массой

тела и ожирением доведение данного показателя до 0; сокращению удельного веса детей, имеющих привычку досаливать готовые блюда; сокращению количества детей, имеющих привычку добавлять в горячий напиток более двух чайных ложек сахара; снижению распространенности у детей избыточной массы тела и ожирения.

Сведения об авторах

Попова Анна Юрьевна (Anna Yu. Popova) – доктор медицинских наук, профессор, руководитель Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главный государственный санитарный врач Российской Федерации, заведующий кафедрой организации санитарно-эпидемиологической службы ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России (Москва, Российская Федерация)

E-mail: kaf.orgses.rmapo@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4315-5307>

Шевкун Ирина Геннадьевна (Irina G. Shevkun) – кандидат медицинских наук, начальник Управления санитарного надзора Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Москва, Российская Федерация)

E-mail: Shevkun_IG@gsen.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1796-360X>

Новикова Ирина Игоревна (Irina I. Novikova) – доктор медицинских наук, профессор, директор ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора (Новосибирск, Российская Федерация)

E-mail: novikova_ii@niig.su

<https://orcid.org/0000-0003-1105-471X>

Романенко Сергей Павлович (Sergey P. Romanenko) – кандидат медицинских наук, заместитель директора по научной работе ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора (Новосибирск, Российская Федерация)

E-mail: romanenko_sp@niig.su

<https://orcid.org/0000-0003-1375-0647>

Литература

- Попова А.Ю., Шевкун И.Г., Яновская Г.В., Новикова И.И. Гигиеническая оценка организации питания школьников в общеобразовательных организациях Российской Федерации // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30, № 2. С. 7–12. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-2-7-12>
- Новикова И.И., Романенко С.П., Лобкис М.А., Гавриш С.М. Оценка факторов риска избыточной массы тела и ожирения у детей школьного возраста для разработки действенных программ профилактики // Science for Education Today. 2022. Т. 12, № 3. С. 132–148. DOI: <https://doi.org/10.15293/2658-6762.2203.07>
- Романенко С.П., Шепелева О.А., Сорокина А.В., Шевкун И.Г., Новикова И.И. Оценка знаний, формирующих у школьников осознанную потребность в здоровом питании как основном элементе здорового образа жизни // Science for Education Today. 2023. Т. 13, № 1. С. 135–158. DOI: <https://doi.org/10.15293/2658-6762.2301.07>
- Потапкина Е.П., Мажаева Т.В., Сеницына С.В., Козубская В.И., Чугунова О.В., Гращенков Д.В. Интегрированный подход к обеспечению качественного, безопасного и здорового питания школьников // Индустрия питания. 2024. Т. 9, № 1. С. 91–103. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2024-9-1-10>
- Kinderknecht K., Harris C., Jones-Smith J. Association of the Healthy, Hunger-Free Kids Act with dietary quality among children in the US National School Lunch Program // JAMA. 2020. Vol. 324, N 4. P. 359–368. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2020.9517>
- Acito M., Cangelosi G., Petrelli F., Moretti M., Villarini M., Celestino A. et al. Eating and lifestyle habits and primary school health-related pro-grams: a survey involving Italian children and teachers // Ann. Ig. 2024. Vol. 36, N 2. P. 123–143. DOI: <https://doi.org/10.7416/ai.2024.2599>
- Abdulwahab I.J., Alzahrani N.A., Khouja J.H. A comprehensive review of school-based lifestyle interventions to reduce childhood obesity in the Eastern Mediterranean Region // Cureus. 2024. Vol. 16, N 7. Article ID 64305. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.64305>
- Lundborg P., Rooth D.O., Alex-Petersen J. Long-term effects of childhood nutrition: evidence from a school lunch reform // Rev. Econ. Stud. 2022. Vol. 89, N 2. P. 876–908. DOI: <https://doi.org/10.1093/restud/rdab028>
- Mauer S., Torheim L.E., Terragni L. Children's participation in free school meals: a qualitative study among pupils, parents, and teachers // Nutrients. 2022. Vol. 14, N 6. P. 1282. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14061282>
- Vik F.N., Heslien K.E.P., Van Lippevelde W., Overby N.C. Effect of a free healthy school meal on fruit, vegetables and unhealthy snacks intake in Norwegian 10- to 12-year-old children // BMC Public Health. 2020. Vol. 20, N 1. P. 1369. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09470-2>
- Mak T.N., Prynne C.J., Cole D., Fitt E., Roberts C., Bates B. et al. Assessing eating context and fruit and vegetable consumption in children: new methods using food diaries in the UK National Diet and Nutrition Survey Rolling Programme // Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act. 2012. Vol. 9. P. 126. DOI: <https://doi.org/10.1186/14795868-9-126>
- Grannon K.Y., Nanney M.S., Wang Q., Larson N., Hearst M.O., Berge J., Caspi C.E. Do high school students participate in second chance breakfast programs? // J. Sch. Health. 2020. Vol. 90, N 2. P. 119–126. DOI: <https://doi.org/10.1111/josh.12857>
- Au L.E., Gurzo K., Gosliner W., Webb K.L., Crawford P.B., Ritchie L.D. Eating school meals daily is associated with healthier dietary intakes: the Healthy Communities Study // J. Acad. Nutr. Diet. 2018. Vol. 118, N 8. P. 1474–1481.e1. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2018.01.010>
- Новикова И.И., Романенко С.П., Сорокина А.В., Савченко О.А. Об актуальности пересмотра нормативов продовольственного обеспечения обучающихся в образовательных учреждениях кадетского типа // Здоровье населения и среда обитания. 2021. Т. 334, № 1. С. 39–43. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-334-1-39-43>
- Сизова Е.П., Лобкис М.А., Романенко С.П., Гавриш С.М., Сорокина А.В. Оценка фактического питания детей по результатам мониторинговых мероприятий на примере Республики Татарстан // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30, № 2. С. 37–46. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-2-37-46>

References

1. Popova A.Yu., Shevkun I.G., Yanovskaya G.V., Novikova I.I. Hygienic assessment of organizing school nutrition in the Russian Federation. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya* [Public Health and Life Environment]. 2022; 30 (2): 7–12. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-2-7-12> (in Russian)
2. Novikova I.I., Romanenko S.P., Lobkis M.A., Gavrish S.M. Assessment of risk factors for overweight and obesity in school-age children for the development of effective prevention programs. *Science for Education Today*. 2022; 12 (3): 132–48. DOI: <https://doi.org/10.15293/2658-6762.2203.07> (in Russian)
3. Romanenko S.P., Shepeleva O.A., Sorokina A.V., Shevkun I.G., Novikova I.I. Assessment of the knowledge that forms a conscious need for healthy nutrition in school children as the main element of a healthy lifestyle. *Science for Education Today*. 2023; 13 (1): 135–58. DOI: <https://doi.org/10.15293/2658-6762.2301.07> (in Russian)
4. Potapkina E.P., Mazhaeva T.V., Sinitsyna S.V., Kozubskaya V.I., Chugunova O.V., Grashchenkov D.V. An integrated approach to the high-quality, safe and healthy nutrition provision for schoolchildren. *Industriya pitaniia* [Food Industry]. 2024; 9 (1): 91–103. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2024-9-1-10> (in Russian)
5. Kinderknecht K., Harris C., Jones-Smith J. Association of the Healthy, Hunger-Free Kids Act with dietary quality among children in the US National School Lunch Program. *JAMA*. 2020; 324 (4): 359–68. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2020.9517>
6. Acito M., Cangelosi G., Petrelli F., Moretti M., Villarini M., Celestino A., et al. Eating and lifestyle habits and primary school health-related pro-grams: a survey involving Italian children and teachers. *Ann Ig*. 2024; 36 (2): 123–43. DOI: <https://doi.org/10.7416/ai.2024.2599>
7. Abdulwahab I.J., Alzahrani N.A., Khouja J.H. A comprehensive review of school-based lifestyle interventions to reduce childhood obesity in the Eastern Mediterranean Region. *Cureus*. 2024; 16 (7): 64305. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.64305>
8. Lundborg P., Rooth D.O., Alex-Petersen J. Long-term effects of childhood nutrition: evidence from a school lunch reform. *Rev Econ Stud*. 2022; 89 (2): 876–908. DOI: <https://doi.org/10.1093/restud/rdab028>
9. Mauer S., Torheim L.E., Terragni L. Children's participation in free school meals: a qualitative study among pupils, parents, and teachers. *Nutrients*. 2022; 14 (6): 1282. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14061282>
10. Vik F.N., Heslien K.E.P., Van Lippevelde W., Overby N.C. Effect of a free healthy school meal on fruit, vegetables and unhealthy snacks intake in Norwegian 10- to 12-year-old children. *BMC Public Health*. 2020; 20 (1): 1369. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09470-2>
11. Mak T.N., Prynne C.J., Cole D., Fitt E., Roberts C., Bates B., et al. Assessing eating context and fruit and vegetable consumption in children: new methods using food diaries in the UK National Diet and Nutrition Survey Rolling Programme. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2012; 9: 126. DOI: <https://doi.org/10.1186/14795868-9-126>
12. Grannon K.Y., Nanney M.S., Wang Q., Larson N., Hearst M.O., Berge J., Caspi C.E. Do high school students participate in second chance breakfast programs? *J Sch Health*. 2020; 90 (2): 119–26. DOI: <https://doi.org/10.1111/josh.12857>
13. Au L.E., Gurzo K., Gosliner W., Webb K.L., Crawford P.B., Ritchie L.D. Eating school meals daily is associated with healthier dietary intakes: the Healthy Communities Study. *J Acad Nutr Diet*. 2018; 118 (8): 1474–81.e1. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2018.01.010>
14. Novikova I.I., Romanenko S.P., Sorokina A.V., Savchenko O.A. The relevance of revising food supply norms for students of cadet-type boarding schools. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya* [Public Health and Life Environment]. 2021; 334 (1): 39–43. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-334-1-39-43> (in Russian)
15. Sizova E.P., Lobkis M.A., Romanenko S.P., Gavrish S.M., Sorokina A.V. Assessment of actual nutrition of schoolchildren in the republic of Tatarstan based on the results of monitoring activities. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya* [Public Health and Life Environment]. 2022; 30 (2): 37–46. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-2-37-46> (in Russian)

Для корреспонденции

Турчанинов Денис Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой гигиены, питания человека ФГБОУ ВО ОмГМУ Минздрава России

Адрес: 644099, г. Омск, ул. Ленина, д. 12

Телефон: (3812) 65-00-95

E-mail: omskgsen@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6298-4872>

Меньщикова Ю.В., Вильмс Е.А., Турчанинов Д.В., Козубенко О.В., Брусенцова А.В., Турчанинова М.С., Юнацкая Т.А., Глаголева О.Н., Чубарова А.Д.

Гигиеническая оценка эффективности реализации федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» в части формирования приверженности здоровому питанию взрослого населения Омской области в 2018–2023 гг.

Hygienic assessment of the effectiveness of the implementation of the Federal Project «Strengthening public health» in terms of forming a commitment to healthy nutrition among the adult population of the Omsk region in 2018–2023

Menshchikova Yu.V., Vilms E.A., Turchaninov D.V., Kozubenko O.V., Brusentsova A.V., Turchaninova M.S., Yunatskaya T.A., Glagoleva O.N., Chubarova A.D.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 644099, г. Омск, Российская Федерация

Omsk State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, 644099, Omsk, Russian Federation

В Омской области, с 2019 г. вошедшей в число 5 пилотных регионов России по реализации мер формирования здорового питания в рамках федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография», накоплен опыт, потенциально позволяющий оценить эффективность таких мер в рамках среднесрочных программ на уровне региона, что является актуальной задачей.

Цель исследования – гигиеническая оценка эффективности мер формирования приверженности здоровому питанию населения Омской области в период реализации мероприятий федерального проекта «Укрепление общественного здоровья».

Материал и методы. В 2018 г. сформирована квотированная по полу, возрасту, территориям проживания репрезентативная выборка взрослого населения Омской области в возрасте 18–85 лет ($n=241$), в 2023 г. – аналогичная выборка ($n=506$). Все обследуемые были опрошены по единому вопроснику, содержащему социально-демографические данные, формы изучения частоты потребления пищевых продуктов и 24-часового воспроизведения питания, блок вопросов,

Финансирование. Работа не имела спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Турчанинов Д.В., Вильмс Е.А. Меньщикова Ю.В.; сбор и обработка данных – Козубенко О.В., Брусенцова А.В., Турчанинова М.С., Юнацкая Т.А., Глаголева О.Н., Чубарова А.Д.; написание текста – Меньщикова Ю.В., Вильмс Е.А.; редактирование – Турчанинов Д.В.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Меньщикова Ю.В., Вильмс Е.А., Турчанинов Д.В., Козубенко О.В., Брусенцова А.В., Турчанинова М.С., Юнацкая Т.А., Глаголева О.Н., Чубарова А.Д. Гигиеническая оценка эффективности реализации федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» в части формирования приверженности здоровому питанию взрослого населения Омской области в 2018–2023 гг. // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 1. С. 71–81. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-71-81>

Статья поступила в редакцию 17.10.2024. **Принята в печать** 15.01.2025.

касающихся оценки знаний и практик в области здорового питания и построения ежедневного рациона.

Результаты. В 2023 г. по сравнению с 2018 г. уменьшилась с 42,7 до 37,2% доля населения с потреблением энергии выше величины физиологической потребности ($p < 0,01$). Существенно снизилось медианное потребление насыщенных жирных кислот, холестерина, фосфолипидов, транс-изомеров жирных кислот, увеличилось потребление полиненасыщенных жирных кислот, пищевых волокон ($p \leq 0,0003$). Произошло значимое увеличение потребления витаминов В₁, С, магния, калия, снизилось количество в рационе витаминов D, В₂, биотина, холина, кальция, цинка. Выявлено улучшение уровня знаний и практик взрослого населения региона в области здорового питания.

Заключение. Результаты свидетельствуют об успешной реализации мер формирования приверженности здоровому питанию взрослого населения региона в рамках федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография» по отдельным направлениям. Определены приоритетные для коррекции проблемы питания населения на ближайшую перспективу. Предложенная модель оценки эффективности мер формирования приверженности здоровому питанию населения может быть использована для совершенствования профилактической деятельности на региональном уровне.

Ключевые слова: гигиена питания; оценка эффективности; здоровое питание; профилактика; национальный проект «Демография»; фактическое питание; взрослое население; Омская область

In the Omsk region, which since 2019 has been one of the five pilot regions of Russia for the implementation of measures to promote healthy eating within the framework of the federal project «Strengthening Public Health» of the national project «Demography», experience has been accumulated that potentially allows us to assess the effectiveness of such measures within the framework of medium-term programs at the regional level, which is an urgent task.

Objective of the study: hygienic assessment of the effectiveness of measures to form commitment to healthy nutrition among the population of the Omsk region during the implementation of the federal project «Strengthening Public Health».

Material and methods. In 2018, a representative sample of the adult population aged 18–85 years ($n=241$) was formed, quota-based by gender, age, and area of residence; in 2023, a similar sample ($n=506$) was formed. All subjects were interviewed using a single questionnaire containing socio-demographic data, forms for studying the frequency of food consumption and 24-hour food reproduction, a block of questions concerning the assessment of knowledge and practices in the field of healthy eating and the construction of a daily diet.

Results. In 2023, compared to 2018, the proportion of the population with energy consumption above the physiological requirement decreased from 42.7 to 37.2% ($p < 0.01$). The median consumption of saturated fatty acids, cholesterol, phospholipids, trans-isomers of fatty acids decreased significantly, while the consumption of polyunsaturated fatty acids and dietary fiber increased ($p \leq 0.0003$). There was a significant increase in the consumption of vitamins B₁, C, magnesium, potassium, while the amount of vitamins D, B₂, biotin, choline, calcium, and zinc in the diet decreased. An improvement in the level of knowledge and practices of the adult population of the region in the field of healthy nutrition was revealed.

Conclusion. The results indicate the successful implementation of measures to form a commitment to healthy nutrition among the adult population of the region within the framework of the federal project «Strengthening Public Health» of the national project «Demography» in certain areas. Priority problems of population nutrition for correction in the near future have been identified. The proposed model for assessing the effectiveness of measures to form commitment to healthy nutrition among the population can be used to improve preventive activities at the regional level.

Keywords: food hygiene; efficiency assessment; healthy nutrition; prevention; national project «Demography»; actual nutrition; adult population; Omsk region

Funding. The study had no sponsorship support.

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

Contribution. Concept and design of the study – Turchaninov D.V., Vilms E.A., Menshchikova Yu.V.; data collection and processing – Kozubenko O.V., Brusentsova A.V., Turchaninova M.S., Yunatskaya T.A., Glagoleva O.N., Chubarova A.D.; text writing – Menshchikova Yu.V., Vilms E.A.; editing – Turchaninov D.V.; approval of the final version of the article – all authors.

For citation: Menshchikova Yu.V., Vilms E.A., Turchaninov D.V., Kozubenko O.V., Brusentsova A.V., Turchaninova M.S., Yunatskaya T.A., Glagoleva O.N., Chubarova A.D. Hygienic assessment of the effectiveness of the implementation of the Federal Project «Strengthening public health» in terms of forming a commitment to healthy nutrition among the adult population of the Omsk region in 2018–2023. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (1): 71–81. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-71-81> (in Russian)

Received 17.10.2024. **Accepted** 15.01.2025.

Здоровье и благополучие человека являются основными приоритетами и национальными целями устойчивого развития в России. Профилактика алиментарно-зависимых заболеваний и популяризация здорового образа жизни стали ключевыми задачами федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография». Эти задачи должны быть достигнуты посредством формирования среды, способствующей повышению информированности граждан об основных принципах здорового питания, изменению пищевых традиций и привычек у большинства населения [1, 2].

Для реализации заданных направлений предусмотрены мониторинг питания, физической и экономической доступности для населения отечественной пищевой продукции, способствующей устранению дефицита макро- и микронутриентов, исследование качества пищевых продуктов, реализация обучающих (просветительских) программ по вопросам здорового питания различных групп населения и ряд других. Кроме того, в 2019 г. создан и успешно развивается портал здоровое-питание.рф, социальные сети проекта [3].

Эпидемиологический мониторинг питания населения важно осуществлять как на федеральном, так и на региональном уровне, с использованием системного подхода. Организационное, научное, методическое, учебное обеспечение этой деятельности создает условия для формирования общероссийской системы образования в области здорового питания населения Российской Федерации [3–5].

Данные об особенностях питания различных групп населения позволяют выделять приоритетные направления профилактики заболеваний, связанных с питанием, совершенствовать адресные образовательные программы в области здорового питания, разрабатывать научно обоснованные рекомендации по изменению рационов [6, 7].

Омская область вошла в первую пятерку пилотных регионов (наряду с Самарской, Московской, Свердловской областями и Республикой Башкортостан), в которых реализация мер формирования приверженности здоровому питанию населения началась в 2019 г.¹ Реализация федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» завершается в 2024 г. К настоящему моменту стало возможным и необходимым оценить динамику изменения ключевых показателей структуры питания взрослого населения Омской области.

Цель – гигиеническая оценка эффективности мер формирования приверженности здоровому питанию населения Омской области в период реализации мероприятий федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» для определения дальнейших путей совершенствования профилактической работы.

Материал и методы

В 2019–2023 гг. в Омской области был реализован комплекс мер по формированию приверженности здоровому питанию населения, предусмотренный федеральным проектом «Укрепление общественного здоровья», включая повышение доступа населения к пищевой продукции, способствующей ликвидации дефицита макро- и микронутриентов, обеспечение качества пищевых продуктов, реализацию адресных образовательных программ в области здорового питания и ряд других.

Объект исследования – взрослое население Омской области (1470 тыс. человек в возрасте от 18 до 85 лет). В начале реализации проекта в 2019 г. была проведена оценка фактического питания, уровня знаний и навыков в области здорового питания на репрезентативной квотированной выборке жителей Омской области ($n=241$) (в зависимости от пола, возраста и места проживания: городское/сельское население). Группу сравнения составила выборка, сформированная из той же генеральной совокупности по аналогичному принципу в 2023 г. ($n=506$), в предпоследний год реализации комплекса мер. Группы сравнения не различались по полу, возрасту, территориям проживания (табл. 1). Медиана возраста выборки в начальной точке исследования 46 [31; 56] лет, в конечной точке – 45 [32; 59] лет.

Критерии включения в исследование: наличие добровольного информированного согласия на участие в исследовании, соответствие характеристик потенциального респондента плану исследования (по полу, возрасту, территории и времени проживания на территории региона не менее 2 лет). В исследование не включались лица, не соответствующие плану исследования.

Сбор данных и их последующий сравнительный анализ проводили на базе ФГБОУ ВО ОмГМУ Минздрава России совместно со специалистами Управления Роспотребнадзора по Омской области и Центра гигиены и эпидемиологии в Омской области. Все обследуемые, включенные в выборку, были опрошены по единому вопроснику, содержащему социально-демографические данные, формы изучения частоты потребления пищевых продуктов и 24-часового воспроизведения питания, блок вопросов, касающихся оценки знаний и практик в области здорового питания и построения ежедневного рациона. В качестве интервьюеров выступали специалисты территориальных подразделений учреждений Роспотребнадзора региона, сотрудники кафедр гигиены, питания человека и эпидемиологии ФГБОУ ВО ОмГМУ Минздрава России, аспиранты и ординаторы медико-профилактических специальностей. Все вопросники были введены в деперсонифицированную форму ввода, созданную на основе программного средства Microsoft Excel.

Уровень физической активности оценивали в зависимости от профессии и характера занятости респондентов.

¹ Роспотребнадзор. Мониторинг оценки питания жителей России стартует в 5 пилотных регионах. URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/about/info/news/news_details.php?ELEMENT_ID=11927&ysclid=izgr8d77vv365237503 (дата обращения: 10.10.2024).

Таблица 1. Сравнительная характеристика групп обследованных в 2018 и 2023 гг.

Table 1. Comparative characteristics of groups surveyed in 2018 and 2023

Группы участников / <i>Participant groups</i>	2018		2023		Фи-статистика <i>φ-statistics</i>	<i>p</i>
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
По полу / <i>By gender</i>						
Мужчины / <i>Men</i>	108	44,8	231	45,7	0,215	0,830
Женщины / <i>Women</i>	133	55,2	275	54,3	0,215	0,830
По возрасту / <i>By age</i>						
18–29 лет / <i>18–29 years old</i>	46	19,1	97	19,2	0,027	0,979
30–44 года / <i>30–44 years old</i>	74	30,7	149	29,4	0,351	0,726
45–64 года / <i>45–64 years old</i>	85	35,3	182	36,0	0,186	0,853
≥65 лет / <i>≥65 years old</i>	36	14,9	78	15,4	0,170	0,866
По территории проживания / <i>By area of residence</i>						
Городское население / <i>Urban population</i>	130	53,9	254	50,2	0,958	0,339
Сельское население / <i>Rural population</i>	111	46,1	252	49,8	0,958	0,339
По уровню физической активности / <i>By level of physical activity</i>						
1-я (коэффициент физической активности – КФА – 1,4) <i>1 (physical activity coefficient – PAC–1.4)</i>	62	25,7	106	20,9	1,445	0,144
2-я (КФА – 1,6) / 2 (<i>PAC – 1.6</i>)	115	47,7	251	49,6	0,482	0,630
3-я (КФА – 1,9) / 3 (<i>PAC – 1.9</i>)	50	20,7	103	20,4	0,124	0,902
4-я (КФА – 2,2) / 4 (<i>PAC – 2.2</i>)	14	5,8	46	9,1	1,606	0,123
Всего / <i>Total</i>	241	100,0	506	100,0	–	–

тов, а также уточняли в процессе интервью, распределяя участников исследования на 4 группы, в соответствии с МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации»² [8] (далее – Нормы).

Оценку величин фактического потребления пищевых продуктов и нутриентов в обеих точках исследования проводили аналогично: методами анализа частоты потребления пищи и суточного воспроизведения питания, рекомендованными для эпидемиологических исследований питания [9, 10]. Опросник изучения частоты потребления пищи был стандартным, содержал вопросы, касающиеся характера, количества и частоты потребляемых пищевых продуктов и блюд в течение предшествующего месяца (по 67 продуктам, диапазон частот: не употреблял; 1–2 раза в месяц; 3–4 раза в месяц; 2–3 раза в неделю; 4–6 раз в неделю; 1–2 раза в день; 3–4 раза в день; 5 раз в день и более) [11].

Проведен расчет индивидуальных величин потребления нутриентов с пищевыми продуктами, без учета поступления с биологически активными добавками к пище и витаминно-минеральными комплексами. Учитывались потери пищевых веществ при очистке, кулинарной обработке. Расчеты проводили с помощью компьютерной программы на основе модуля Visual Basic к MS Excel. Оригинальная программа включала зарегистрированную базу данных химического состава пищевых продуктов и блюд, созданную на основе спра-

вочных таблиц и собственных данных лабораторных исследований, в том числе уточненную в период исследования в 2018–2023 гг. [12]. Полученным результатам давалась индивидуализированная оценка в соответствии с Нормами. Рассчитаны медианы потребления макро- и микронутриентов и основных групп продуктов, уровень соответствия их потребления рекомендуемым величинам.

Помимо этого, в работе оценивали уровень знаний и навыков в области здорового питания с помощью опросника о питании и пищевых привычках, который входил в комплекс анкет для социологических исследований здоровья населения [13].

Протокол исследований рассмотрен и одобрен Локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО ОмГМУ Минздрава России 18 ноября 2017 г., протокол № 36/2. Все участники дали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью пакета Statistica 6 и возможностей MS Excel. Проверяли нормальность распределения с использованием критерия Шапиро–Уилка. Для определения статистической значимости различий в независимых выборках в связи с отсутствием нормального распределения большинства количественных признаков применяли критерий Манна–Уитни. Различия между выборочными долями оценивали с помощью метода углового преобразования Фишера (Фи-критерий), в случае нескольких градаций признака – с помощью информа-

² МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: методические рекомендации». Москва : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 72 с.

Таблица 2. Медианы среднесуточного потребления макронутриентов взрослым населением Омской области в 2018 и в 2023 гг.**Table 2.** Medians of average daily consumption of macronutrients by the adult population of the Omsk region in 2018 and 2023

Нутриент / Nutrient	2018 (n=241)	2023 (n=506)	p
Энергия, ккал / Energy, kcal	2306,1 [2001,8; 2903,1]	2224,1 [1813,4; 2898,3]	0,0182
Белок, г / Protein, g	80,1 [61,6; 104,4]	76,3 [54,8; 96,0]	<0,0001
В том числе животный / Including animal origin	51,3 [32,5; 70,4]	42,6 [24,1; 58,5]	<0,0001
Белок, % от ккал / Protein, percent of daily calories	13,8 [11,8; 16,0]	12,8 [11,1; 14,1]	<0,0001
Жиры, г / Fat, g	103,3 [78,8; 129,3]	97,5 [74,5; 133,7]	0,2459
Жиры, % от ккал / Fat, percent of daily calories	39,6 [34,4; 44,6]	39,7 [34,8; 44,3]	0,9031
Насыщенные жирные кислоты, г / Saturated fatty acids, g	30,2 [22,6; 39,4]	27,1 [19,7; 37,9]	0,0028
Мононенасыщенные жирные кислоты, г / Monounsaturated fatty acids, g	34,9 [26,6; 46,6]	33,0 [24,1; 43,6]	0,0450
Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), г / Polyunsaturated fatty acids (PUFA), g	22,5 [15,7; 29,1]	24,1 [17,1; 32,9]	0,0256
Фосфолипиды, г / Phospholipids, g	4,2 [3,2; 5,6]	3,4 [2,5; 4,3]	<0,0001
Холестерин, г / Cholesterol, g	0,67 [0,37; 1,03]	0,41 [0,25; 0,70]	<0,0001
Арахидоновая кислота (ω-6 ПНЖК), г / Arachidonic acid (ω-6 PUFA), g	0,36 [0,26; 0,51]	0,34 [0,21; 0,53]	0,0938
Линолевая кислота (ω-6 ПНЖК), г / Linoleic acid (ω-6 PUFA), g	13,2 [10,0; 17,1]	14,3 [10,1; 19,7]	0,0332
Линоленовая кислота (ω-3 ПНЖК), г / Linolenic acid (ω-3 PUFA), g	0,80 [0,58; 1,06]	0,84 [0,59; 1,33]	0,0985
Транс-изомеры жирных кислот, % от ккал / Trans-isomers of fatty acids, percent of daily calories	0,79 [0,50; 0,99]	0,39 [0,27; 0,51]	<0,0001
Углеводы, г / Carbohydrates, g	266,9 [224,5; 331,7]	259,8 [214,1; 328,9]	0,3785
Углеводы, % от ккал / Carbohydrates, percent of daily calories	46,9 [40,6; 52,4]	47,2 [42,3; 53,8]	0,1087
В том числе моно- и дисахариды, г / including mono- and disaccharides, g	152,7 [117,6; 188,0]	155,9 [114,3; 208,5]	0,2201
В том числе пищевые волокна, г / including dietary fiber,	17,3 [12,4; 22,8]	19,9 [14,3; 27,6]	0,0003
Добавленный сахар, % от ккал / Added sugars, percent of daily calories	8,33 [5,02; 11,43]	8,35 [6,00; 12,69]	0,1934

ционной статистики Кульбака (2I-статистика), рассматриваемой как непараметрический вариант дисперсионного анализа. В таблицах приведены 50-й процентиль (медиана) и интерквартильный размах содержания нутриентов в рационе. Удельный вес лиц с содержанием нутриентов в рационе ниже рекомендуемых величин был выражен в процентах. Во всех процедурах статистического анализа статистически значимыми принимали различия при $p < 0,05$.

Ограничения исследования: каждый из использованных методов ретроспективного воспроизведения питания может недостаточно точно количественно оценивать величины индивидуального потребления нутриентов (чаще – занижать). Для повышения точности полученных данных методы использовались в комбинации, процедура интервью была тщательно стандартизирована, интервьюеры были обучены, проинструктированы и использовали альбом размеров порций блюд [14].

Результаты

Оценка фактического питания в репрезентативных выборках взрослого населения в 2018 и 2023 гг. показала следующие результаты и изменения, произошедшие в структуре питания населения (табл. 2).

В 2023 г. отмечено снижение энергетической ценности рациона, что привело к уменьшению доли населения с избыточным потреблением энергии (выше индивидуальной величины физиологической потребности) в 2023 г. по

сравнению с 2018 г. (с 42,7 до 37,2%; 2I=11,1; $p < 0,01$). Некоторое снижение потребления отмечено для всех энергетических макронутриентов, статистически значимым оно являлось для белка. Энергетическая квота белка в рационе также значительно снизилась с 13,8 до 12,8%.

Существенно снизилось потребление насыщенных жирных кислот, холестерина, фосфолипидов, увеличилось потребление полиненасыщенных жирных кислот, доля лиц с адекватным потреблением мононенасыщенных жирных кислот (10% от суточной калорийности суточного рациона) выросла с 50,6 до 56,1% (2I=6,81; $p < 0,05$). К числу позитивных изменений также следует отнести выраженное снижение потребления транс-изомеров жирных кислот.

В потреблении углеводов за анализируемый период значимых изменений не произошло, однако увеличилось содержание в рационе пищевых волокон ($p = 0,0003$), произошло сокращение доли лиц с их недостаточным потреблением (с 53,0 до 41,7%).

Микронутриентный состав рациона по-прежнему остался дефицитным по содержанию ряда витаминов и минеральных веществ, однако необходимо отметить значимое увеличение потребления витаминов В₁, С, магния, калия (табл. 3, 4). В то же время снизилось количество в рационе витаминов D, В₂ и биотина, холина, кальция, цинка.

По отдельным микронутриентам (витамин В₁₂, хром, молибден, марганец, медь и др.) расчетные значения содержания в рационе оказались выше физиологической потребности, что определялось особенностями

Таблица 3. Медианы среднесуточного потребления витаминов, β-каротина и холина взрослым населением Омской области в 2018 и в 2023 гг.**Table 3.** Medians of average daily consumption of vitamins, β-carotene, choline by the adult population of the Omsk region in 2018 and 2023

Микронутриент / Micronutrient	2018 (n=241)	2023 (n=506)	p
Витамин А, мкг рет. экв. / Vitamin A, μg retinol eq.	465,2 [251,3; 780,2]	408,1 [205,7; 574,2]	0,1075
β-Каротин, мг / β-Carotene, mg	4,5 [2,2; 8,7]	5,3 [2,4; 10,3]	0,0873
Витамин В ₁ , мг / Vitamin B ₁ , mg	1,00 [0,79; 1,34]	1,10 [0,88; 1,42]	0,0036
Витамин В ₂ , мг / Vitamin B ₂ , mg	1,5 [1,2; 2,0]	1,3 [1,0; 1,9]	0,0016
Ниацин, мг ниацин. экв. / Niacin, mg niacin eq.	13,9 [11,2; 18,5]	13,9 [10,8; 19,1]	0,7423
Витамин С, мг / Vitamin C, mg	99,4 [56,3; 153,5]	124,5 [75,3; 204,8]	0,0001
Витамин Е, мг ток. экв. / Vitamin E, mg tocopherol eq.	19,7 [14,3; 24,8]	20,5 [14,9; 27,3]	0,0962
Пантотеновая кислота, мг / Pantothenic acid, mg	4,9 [3,9; 6,4]	4,8 [3,7; 6,5]	0,5179
Витамин В ₆ , мг / Vitamin B ₆ , mg	1,8 [1,4; 2,3]	1,9 [1,4; 2,3]	0,4557
Фолаты, мкг / Folates, μg	170,0 [139,1; 221,5]	167,2 [134,2; 222,1]	0,4405
Витамин В ₁₂ , мкг / Vitamin B ₁₂ , μg	5,7 [3,6; 9,7]	5,5 [3,3; 7,7]	0,0544
Витамин D, мкг / Vitamin D, μg	2,7 [1,7; 4,0]	2,1 [1,3; 4,2]	0,0056
Биотин, мкг / Biotin, μg	33,4 [23,5; 46,1]	28,1 [20,0; 35,2]	<0,0001
Холин, мг / Choline, mg	400,1 [311,7; 567,3]	337,1 [162,4; 433,6]	<0,0001

структуры питания и химического состава потребляемых пищевых продуктов. Однако при пищевом поступлении такие величины не представляли опасности, поскольку не достигали верхнего допустимого уровня потребления [15, 16].

Оценка потребления по группам продуктов позволила отметить увеличение количества в рационе овощей, фруктов, рыбы и морепродуктов, пищевой соли в 2023 г. в сравнении с 2018 г. Напротив, к 2023 г. произошло снижение потребления молока и молочных продуктов, каш и макарон, яиц, кондитерских изделий (табл. 5).

В социологическом исследовании оценен уровень знаний и практик взрослого населения региона в области здорового питания до и после реализации комплекса мер, в том числе образовательного характера (табл. 6).

Необходимо отметить ряд положительных тенденций в уровне общей осведомленности населения в части

выбора пищевых продуктов для построения ежедневного рациона. Значимо повысился уровень знаний (и практик) о необходимости применения йодированной соли ($p < 0,001$), важности преобладания в рационе овощей, фруктов, цельнозерновых и бобовых продуктов ($p = 0,002$).

Важно, что в период исследования менялся и характер практик построения рациона. Так, при покупке продуктов респонденты чаще стали руководствоваться составом (пищевой ценностью) и сроками годности ($p = 0,005$), существенно чаще принимать биологически активные добавки к пище ($p < 0,001$), использовать йодированную соль ($p < 0,001$). Улучшились некоторые характеристики режима питания: значимо увеличилась доля лиц, принимающих пищу 3–4 раза в день ($p = 0,033$), число регулярно завтракающих имело тенденцию к повышению ($p = 0,067$) (см. табл. 6).

Таблица 4. Медианы среднесуточного потребления минеральных веществ взрослым населением Омской области в 2018 и в 2023 гг.**Table 4.** Medians of average daily mineral element consumption by the adult population of the Omsk region in 2018 and 2023

Минеральное вещество / Mineral element	2018 (n=241)	2023 (n=506)	p
Кальций, мг / Calcium, mg	804,0 [612,3; 1176,4]	710,8 [514,0; 1087,7]	0,0041
Железо, мг / Iron, mg	16,5 [13,0; 20,6]	17,6 [13,0; 21,4]	0,2715
Магний, мг / Magnesium, mg	277,9 [232,49; 350,5]	307,4 [231,8; 412,5]	0,0055
Фосфор, мг / Phosphorus, mg	1200,9 [948,0; 1557,8]	1097,0 [856,3; 1502,26]	0,0034
Натрий, мг / Sodium, mg	3037,2 [2315,2; 4112,1]	3385,8 [2577,8; 4256,5]	0,0071
Калий, мг / Potassium, mg	2746,7 [2189,0; 3429,0]	3139,9 [2262,9; 4309,2]	0,0001
Йод, мкг / Iodine, μg	69,45 [53,8; 91,8]	68,78 [50,1; 95,6]	0,6971
Марганец, мг / Manganese, mg	4,4 [3,4; 5,7]	4,5 [3,5; 5,8]	0,5483
Медь, мг / Copper, mg	1,8 [1,4; 2,4]	1,7 [1,3; 2,2]	0,3753
Молибден, мкг / Molybdenum, μg	98,5 [77,3; 132,2]	101,6 [76,2; 128,4]	0,7713
Фтор, мг / Fluorine, mg	2,8 [2,0; 4,0]	2,5 [1,6; 4,2]	0,0024
Цинк, мг / Zinc, mg	11,3 [9,1; 14,4]	10,5 [8,4; 13,6]	0,0024
Селен, мкг / Selenium, μg	43,7 [32,3; 59,0]	40,5 [29,9; 55,1]	0,0602
Хром, мкг / Chromium, μg	109,9 [82,7; 133,6]	112,4 [80,16; 145,7]	0,6055

Таблица 5. Медианы среднесуточного потребления основных групп продуктов (в граммах) взрослым населением Омской области в 2018 и в 2023 гг.**Table 5.** Medians of average daily consumption of the main food groups (in grams) by the adult population of the Omsk region in 2018 and 2023

Продукт / Product	2018 (n=241)	2023 (n=506)	p
Хлебобулочные изделия / Bakery products	118,1 [70,7; 195,0]	109,3 [71,5; 164,6]	0,2077
Каши, макароны / Porridge, pasta	196,4 [107,1; 296,7]	124,4 [71,1; 214,1]	<0,0001
Овощи / Vegetables	396,5 [247,3; 587,9]	553,3 [344,7; 810,0]	<0,0001
Фрукты / Fruit	147,9 [69,5; 271,4]	184,1 [84,8; 381,9]	0,0025
Кондитерские изделия / Confectionery	39,6 [22,2; 70,5]	30,4 [12,6; 54,5]	0,0001
Масла, жиры / Oils, fats	28,4 [15,5; 42,1]	29,1 [16,5; 40,8]	0,6214
Мясо и мясoproductы / Meat and meat products	127,6 [78,5; 209,6]	132,7 [74,4; 188,7]	0,3706
Рыба и морепродукты / Fish and seafood	9,4 [4,0; 17,6]	9,7 [5,5; 25,3]	0,0220
Яйцо / Eggs	33,7 [16,1; 66,4]	18,2 [9,6; 32,1]	<0,0001
Молоко и молочные продукты / Milk and dairy products	644 [389; 1079]	494 [250; 799]	<0,0001
Напитки / Drinks	640 [450; 1018]	714,8 [393; 1075]	0,4741
Соль пищевая / Table salt	7,72 [5,89; 10,45]	8,61 [6,55; 10,82]	0,0031

Обсуждение

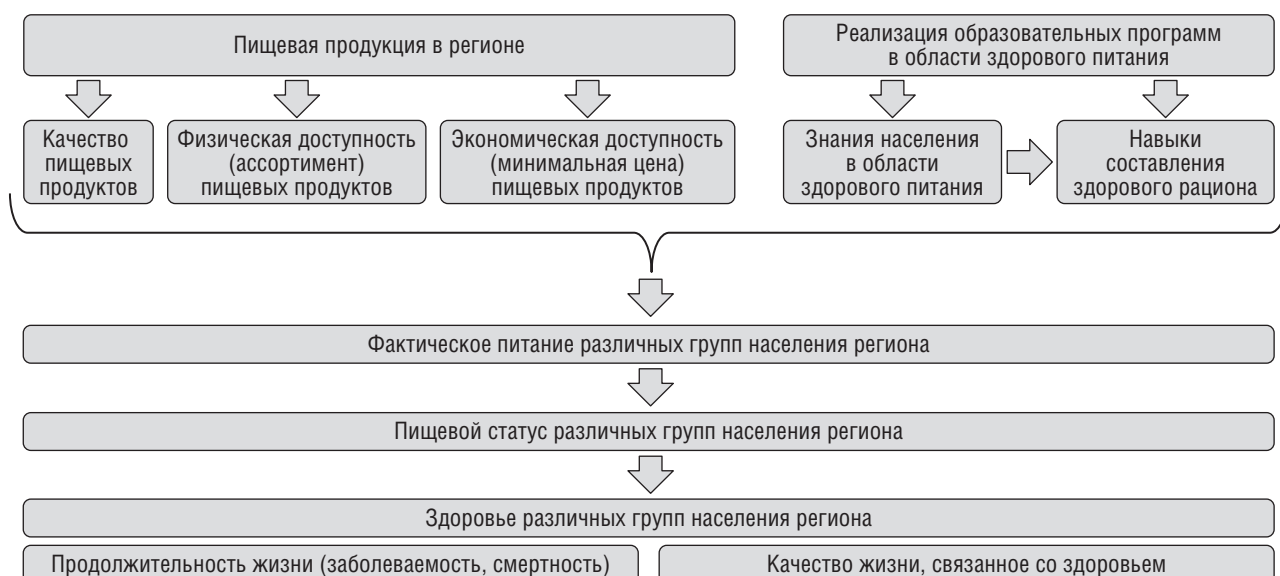
К концу 2023 г., по истечении 5 лет с начала реализации федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография» произошли как положительные, так и негативные изменения в структуре фактического питания взрослого населения Омской области.

К положительным изменениям, в частности, можно отнести:

- уменьшение доли лиц с потреблением энергии выше величины физиологической потребности;
- значительное уменьшение потребления транс-изомеров жирных кислот, холестерина, насыщенных и мононенасыщенных жирных кислот, причиной которого могло послужить уменьшение в рационе конди-

Таблица 6. Характеристики знаний и практик взрослого населения Омского региона в области здорового питания в 2018 и в 2023 гг. (удельный вес правильных/утвердительных ответов, %)**Table 6.** Characteristics of knowledge and practices of the adult population of the Omsk region in the field of healthy nutrition in 2018 and in 2023 (proportion of correct/affirmative answers, %)

Вопрос/Критерий правильного ответа / Question/Criteria for the correct answer	2018 (n=241)	2023 (n=506)	Фи-критерий ϕ -criterion	p
Как Вы думаете, какое количество свежих овощей и фруктов нужно употреблять ежедневно?/Не менее 400 г How much fresh vegetables and fruit do you think we should eat daily? / Not less than 400 g	41,5	44,5	0,872	0,340
Как Вы думаете, какую соль лучше употреблять в пищу? (Никакую; обычную соль; йодированную соль; затрудняюсь ответить)/Йодированную What kind of salt do you think is best to eat? (None; regular salt; iodized salt; i find it difficult to answer) /iodized	46,1	58,1	3,118	<0,001
Какие продукты должны преобладать в ежедневном рационе питания? (Жиры, сладости; мясные и рыбные продукты; молоко и молочные продукты; овощи, фрукты, зерновые)/Овощи, фрукты, зерновые What foods should predominate in the daily diet? (Fats, sweets; meat and fish products; milk and dairy products; vegetables, fruits, grains)/Vegetables, fruits, grains	46,9	57,7	2,805	0,002
Чем Вы руководствуетесь при покупке продуктов? (Внешним видом; рекламой; сроками годности; составом; ценой)/Составом, сроками годности What do you rely on when buying products? (Appearance; advertising; expiry dates; ingredients; price)/Ingredients, expiration dates	61,1	70,4	2,543	0,005
Используете ли Вы биологически активные добавки к пище в своем питании? Do you use dietary supplements in your diet?	28,0	41,3	3,635	<0,001
Принимаете ли Вы сейчас какие-либо витаминные или витаминно-минеральные добавки к пище? Are you currently taking any vitamins or vitamin-mineral supplements?	16,2	17,8	0,552	0,613
Сколько раз в день Вы питаетесь?/3–5 раз в день / How many times a day do you eat?/3–5 times a day	54,5	61,5	0,838	0,033
Завтракаете ли Вы? / Do you have breakfast?	74,0	78,9	1,497	0,067
Вы употребляете йодированную соль? / Do you use iodized salt?	46,7	66,1	5,100	<0,001
Вы обычно досаливаете пищу за столом, если она недостаточно посолена? Do you usually add salt to your food at the table if it is not salted enough?	56,4	51,8	1,196	0,252



Модель оценки эффективности мер формирования приверженности здоровому питанию населения для регионального уровня реализации

Model for assessing the effectiveness of measures to form commitment to healthy nutrition of the population for the regional level of implementation

терских изделий. Данные по потреблению транс-изомеров, согласующиеся с ранее опубликованными результатами исследования [17], свидетельствуют об улучшении ситуации, связанной с потреблением транс-жиров вследствие ужесточения требований к их содержанию в пищевой продукции;

- увеличение потребления пищевых волокон, витаминов С, В₁, калия, магния, ПНЖК за счет увеличения потребления продуктов растительного происхождения, рыбы и морепродуктов.

В то же время к отрицательным моментам стоит отнести снижение потребления витаминов В₂, D, биотина и холина, кальция, цинка. Кроме того, уменьшилось фактическое потребление фосфолипидов, белка животного происхождения. Указанные изменения, по всей видимости, объясняются уменьшением потребления молока и молочных продуктов, яиц.

Нельзя не отметить несколько возросшее потребление такого критически значимого продукта, как пищевая соль. Улучшение осведомленности о важности ограничения соли в рационе и снижение распространенности привычки досаливать блюда не способствовали в полной мере снижению потребления. Одной из возможных причин этого могло стать увеличение в рационе доли продуктов и блюд – источников скрытой соли: хлеба, колбасных изделий, консервированных овощей и солений, соленой и копченой рыбной продукции, а также продуктов быстрого питания, продуктов промышленного изготовления. Профилактическая работа по этим направлениям будет являться приоритетной.

Также, несмотря на зарегистрированное снижение, общее количество потребляемого жира, холестерина, мононенасыщенных жирных кислот остается выше физиологических потребностей в среднем на 26–30%.

В исследованиях, проведенных нами на той же выборке за аналогичный период времени, получены данные об изменениях пищевого статуса населения региона. В частности, установлено значимое снижение распространенности ожирения II–III степени (с $7,1 \pm 1,1$ до $2,4 \pm 0,9\%$), симптомов, потенциально свидетельствующих о микронутриентной недостаточности, улучшение обеспеченности витаминами D, E, В₁, В₆, фолатами, оцененной по концентрации в сыворотке крови; при этом обеспеченность эссенциальными элементами (кальций, магний, селен, цинк, железо) осталась в целом неизменной [18]. Противоречивые данные по отдельным микронутриентам [например, поступление с рационом витамина D несколько сократилось, а частота выявления недостаточной обеспеченности им снизилась с 70,9% случаев до 61,8% в 2023 г. ($p < 0,05$)] [18] могут быть связаны с увеличением частоты приема витаминно-минеральных комплексов, что требует подтверждения и дополнительного изучения.

Данные оценки знаний и практик населения в части выбора пищевых продуктов для построения ежедневного рациона свидетельствуют об улучшении общей осведомленности по таким разделам образовательных программ, как «продукты, содержащие критически значимые компоненты», «принципы формирования рациона здорового питания».

Стоит отметить, что в период реализации мероприятий проекта «Здоровое питание», являющегося частью федерального проекта «Укрепление общественного здоровья», произошли такие значимые для здоровья и качества жизни населения страны и региона события, как пандемия новой коронавирусной инфекции, изменения политической и социально-экономической ситуации, сопровождающиеся усилением экономиче-

ских санкций, продовольственной инфляции, снижением покупательной способности населения региона, что, в частности, подтверждается данными Росстата [19]. Указанные события с высокой вероятностью могли повлечь за собой соответствующие (негативные) изменения в структуре питания.

Результаты проведенных исследований позволили обосновать и предложить модель оценки эффективности мер формирования приверженности здоровому питанию населения для регионального уровня реализации (см. рисунок).

Наличие такого инструмента для оценки ситуации и принятия решений на региональном уровне является насущной практической необходимостью, при этом подходы к построению такой модели должны являться научно обоснованными.

Предлагаемая модель основана на системном подходе к анализу причинно-следственных связей питания и здоровья населения. На формирование количественных и качественных характеристик рациона различных групп населения, с одной стороны, влияют характеристики пищевой продукции, находящейся в обороте, с другой – знания населения в области здорового питания, конвертирующиеся в навыки (повседневные практики) построения рациона.

Для обеспечения здорового питания населения на популяционном уровне необходимы такие слагаемые, как доступный ассортимент пищевых продуктов, финансовая доступность пищевых продуктов и знания и умения в построении питания [«ассортимент» – «карман/ кошелек» – «образование (знания)»] [3, 20]. И эти характеристики должны оцениваться в целях определения эффективности мер формирования приверженности здоровому питанию. Они отражены в данной модели в виде нескольких информационных потоков.

Изменение понятия «качество пищевой продукции», под которым в отечественном законодательстве теперь понимается совокупность характеристик пищевых продуктов, включающая безопасность, соответствие требованиям по пищевой ценности и потребительским свойствам, включая органолептические и физико-химические показатели, дает основание добавить этот информационный поток в модель.

Далее следует собственно информация о характеристиках фактического питания, складывающегося под его влиянием пищевого статуса и, в свою очередь, здоровья соответствующих групп населения. Существует множество показателей здоровья населения и, соответственно, критериев оценки эффективности медицинских (включая и профилактические) вмешательств. Истинными (конечными) точками являются продолжительность жизни (объективный критерий) и качество жизни, связанное со здоровьем (субъективный критерий).

Эти критерии являются заключительными информационными потоками в модели оценки эффективности. Однако для среднесрочных программ и регио-

нального уровня применения, оперативного режима анализа и принятия решений показатели заболеваемости и смертности могут быть недостаточно информативными. Показатели, характеризующие пищевой статус, в таком случае могут быть более предпочтительными, хотя они и не относятся к числу истинных (конечных) точек.

Заключение

Исследование фактического питания, знаний и навыков взрослого населения Омской области в ходе реализации комплекса мер по формированию приверженности здоровому питанию населения (2018–2023 гг.) позволило определить приоритетные региональные проблемы профилактики: избыток энергетической ценности рациона, содержания в нем жиров, недостаток в питании витаминов; отразить их в планах и программах мероприятий федерального проекта «Укрепление общественного здоровья», реализованных в регионе, добиться успехов по отдельным направлениям.

В настоящее время и на среднесрочную перспективу (2024–2030 гг.) меры укрепления общественного здоровья населения региона в части формирования приверженности здоровому питанию необходимо нацелить на следующие ключевые проблемы:

- увеличение доступности для населения и потребления рыбы и морепродуктов, молока и молочных продуктов, яиц, переработанных мясных продуктов как источников эссенциальных нутриентов;
- информирование населения о качестве пищевой продукции в регионе (в том числе о продукции, являющейся значимым источником таких нутриентов, как ω-3 ПНЖК, пищевые волокна, фолаты, витамины D, B₂, B₆, холин, цинк, медь, селен, железо, калий и магний) для создания условий осознанного выбора и формирования ежедневного рациона;
- продолжение реализации мер гигиенического образования населения об основных принципах здорового питания с учетом выявленных тенденций в изменении фактического питания.

Получение научно обоснованных и регионально ориентированных данных о фактическом питании населения, их последующая гигиеническая оценка, координация мер формирования приверженности здоровому питанию населения становятся возможны в ходе мониторинга питания, который необходимо продолжать для успешной профилактики алиментарно-зависимых заболеваний.

Предложенная модель гигиенической оценки эффективности мер формирования приверженности здоровому питанию населения для регионального уровня реализации может быть использована в других регионах для диагностики ситуации и коррекции управленческих решений в области формирования мотивации к здоровому питанию населения.

Сведения об авторах

ФГБОУ ВО ОмГМУ Минздрава России (Омск, Россия):

Меньщикова Юлия Владимировна (*Yulia V. Menshchikova*) – аспирант кафедры гигиены, питания человека

E-mail: yuliya-men1979@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7728-3617>

Вильмс Елена Анатольевна (*Elena A. Vilms*) – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры эпидемиологии

E-mail: wilms26@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0263-044X>

Турчанинов Денис Владимирович (*Denis V. Turchaninov*) – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой гигиены, питания человека

E-mail: omskgsen@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6298-4872>

Козубенко Ольга Владимировна (*Olga V. Kozubenko*) – кандидат медицинских наук, доцент кафедры гигиены, питания человека

E-mail: olga_kozubenko@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7971-3035>

Брусенцова Анна Владимировна (*Anna V. Brusentsova*) – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры гигиены, питания человека

E-mail: anna4855@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8796-7526>

Турчанинова Мария Сергеевна (*Mariya S. Turchaninova*) – кандидат медицинских наук, доцент кафедры гигиены, питания человека

E-mail: omskgsen@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2823-607X>

Юнацкая Татьяна Алексеевна (*Tatyana A. Yunatskaya*) – кандидат медицинских наук, доцент кафедры гигиены, питания человека

E-mail: yunatskaya@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1787-0550>

Глаголева Оксана Николаевна (*Oksana N. Glagoleva*) – кандидат медицинских наук, доцент кафедры гигиены, питания человека

E-mail: glagoleva_on@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2448-7944>

Чубарова Арина Дмитриевна (*Arina D. Chubarova*) – ординатор кафедры гигиены, питания человека

E-mail: arinablogg@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5054-3941>

Литература

1. 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>
2. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Тармаева И.Ю. Формирование общероссийской системы образования в области здорового питания населения // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102, № 10. С. 1012–1018. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-10-1012-1018>
3. Тутельян В.А. Здоровое питание для общественного здоровья // Общественное здоровье. 2021. Т. 1, № 1. С. 56–64. DOI: <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-1-56-64>
4. Глобальные факторы риска для здоровья. Смертность и бремя болезней, обусловленные некоторыми основными факторами риска. ВОЗ, 2015. 70 с. ISBN: 978-92-4-456387-8.
5. Попова А.Ю., Шевкун И.Г., Яновская Г.В., Новикова И.И. Гигиеническая оценка организации питания школьников в общеобразовательных организациях Российской Федерации // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30, № 2. С. 7–12. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-2-7-12>
6. Мартинчик А.Н. Индексы качества питания как инструмент интегральной оценки рациона питания // Вопросы питания. 2019. Т. 88, № 3. С. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10024>
7. Белова Л.В., Федотова И.М. Реализация задач, поставленных национальным проектом «Демография» по обеспечению качества пищевых продуктов и здорового питания населения // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2022. Т. 17, № 3. С. 1041–1048. EDN: FAADEL.
8. 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>
9. Мартинчик А.Н., Батулин А.К., Баева В.С. Изучение фактического питания с помощью анализа частоты потребления пищи: создание вопросника и оценка достоверности метода // Профилактика заболеваний и укрепление здоровья. 1998. № 5. С. 14–19.
10. Нутрициология и клиническая диетология : национальное руководство / под ред. В.А. Тутельяна, Д.Б. Никитюка. 2-е изд. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2021. 1008 с. DOI: <https://doi.org/10.33029/9704-6280-5-NKD-2021-1-1008> ISBN: 978-5-9704-6280-5.
11. Мартинчик А.Н., Маев И.В., Петухов А.Б. Питание человека (основы нутрициологии). Москва : ГОУ ВУНМЦ Минздрава России, 2002. 576 с. ISBN: 5-89004-166-5.
12. Турчанинов Д.В., Вильмс Е.А., Боярская Л.А., Турчанинова М.С., Юнацкая Т.А., Козубенко О.В., Глаголева О.Н. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621096 Российская Федерация. Региональные таблицы химического состава продуктов питания, используемых населением Омской области: № 2014621096: опубл. 05.08.2014, заявитель ФГБОУ ВО ОмГМУ Минздрава России.
13. Ерофеев Ю.В., Болдырева М.С., Турчанинов Д.В., Брусенцова А.В., Карпов А.М., Вейних П.А. Организация и методика проведения социологических исследований здоровья сельского населения для информационного обеспечения системы социально-гигиенического мониторинга : методические рекомендации МР 5.1/5.2.012-04; Омская государственная меди-

- цинская академия. Омск : ФГУ ЦГСЭН Омской области, 2004. 52 с.
14. Альбом порций продуктов и блюд. Москва : Институт питания РАМН, 1995. 83 с.
15. Коденцова В.М. Градации уровней потребления витаминов: возможные риски при чрезмерном потреблении // Вопросы питания. 2014. Т. 83, № 3. С. 41–51. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2014-00028>
16. Overview on Tolerable Upper Intake Levels as derived by the Scientific Committee on Food and the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies; Committee on Food Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies of European Food Safety Authority. Version 10 (June 2024). URL: <https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/2024-05/ul-summary-report.pdf> (дата обращения: 29.01.2025).
17. Чубарова А.Д., Турчанинова М.С., Гогадзе Н.В., Вильмс Е.А., Шерба Е.В. Гигиеническая оценка потребления трансизомеров жирных кислот населением Омской области // Фундаментальная и клиническая медицина. 2023. Т. 8, № 4. С. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2023-8-4-65-72>
18. Козубенко О.В., Меньщикова Ю.В., Турчанинова М.С., Меньщиков М.П., Вильмс Е.А. Гигиеническая характеристика изменений пищевого статуса взрослого населения Омской области в период реализации национального проекта «Демография» // Фундаментальная и клиническая медицина. 2024. Т. 9, № 3. С. 29–38. DOI: <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2024-9-3-29-38>
19. Кузьмин С.В., Русаков В.Н., Сетко А.Г. Оценка состояния фактического питания населения Российской Федерации // Гигиена и санитария. 2024. Т. 103, № 1. С. 58–66. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-1-58-66>
20. Стародубова А.В. Можно ли считать здоровое питание инструментом здоровьесбережения? // Вестник Российской академии наук. 2022. Т. 92, № 2. С. 162–170. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869587322020098>

References

1. 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)
2. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B., Tarmaeva I.Yu. Formation of the All-Russian Education System in the field of healthy food of the population. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation]. 2023; 102 (10): 1012–8. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-10-1012-1018> (in Russian)
3. Tutelyan V.A. Healthy food for public health. *Obshchestvennoe zdorov'e* [Public Health]. 2021; 1 (1): 56–64. DOI: <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-1-56-64> (in Russian)
4. Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. WHO, 2015: 70 p. ISBN: 978-92-4-456387-8. (in Russian)
5. Popova A.Yu., Shevkun I.G., Yanovskaya G.V., Novikova I.I. Hygienic assessment of organizing school nutrition in the Russian Federation. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya* [Public Health and Life Environment]. 2022; 30 (2): 7–12. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-2-7-12> (in Russian)
6. Martinchik A.N. Indices of diet quality as a tool for integrated assessment of dietary intake. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2019; 88 (3): 5–12. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10024> (in Russian)
7. Belova, L.V., Fedotova I.M. Implementation of the tasks set by the national project «Demography» to ensure the quality of food products and healthy nutrition of the population. *Zdorov'e – osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ikh resheniya* [Health is the Foundation of Human Potential: Problems and Solutions]. 2022; 17 (3): 1041–8. EDN: FAADEL. (in Russian)
8. Popova A.Yu., Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. On the new (2021) Norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2021; 90 (4): 6–19. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19> (in Russian)
9. Martinchik A.N., Baturin A.K., Baeva V.S. Examining actual nutrition by eating frequency analysis: creating a questionnaire and evaluating the validity of the method. *Profilaktika zabolevaniy i ukreplenie zdorov'ya* [Disease Prevention and Health Promotion]. 1998; (5): 14–9. (in Russian)
10. Nutrition and clinical nutrition: national guidance. Edited by V.A. Tutelyan, D.B. Nikityuk. 2nd ed. Moscow: GEOTAR-Media, 2021: 1008 p. DOI: <https://doi.org/10.33029/9704-6280-5-NKD-2021-1-1008> ISBN: 978-5-9704-6280-5. (in Russian)
11. Martinchik A.N., Maev I.V., Petuhov A.B. Human nutrition (basics of nutriology). Moscow: All-Russia Training Scientific and Methodical Center of Continuous Medical and Pharmaceutical Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 2002: 576 p. ISBN: 5-89004-166-5. (in Russian)
12. Turchaninov D.V., Vilms E.A., Boyarskaya L.A., Turchaninova M.S., Yunackaya T.A., Kozubenko O.V., Glagoleva O.N. Certificate of state registration of the database No. 2014621096 Russian Federation. Regional tables of chemical composition of food products used by the population of the Omsk region: No. 2014621096. Publ. 05.08.2014. (in Russian)
13. Erofeev Yu.V., Boldyreva M.S., Turchaninov D.V., Brusentsova A.V., Karpov A.M., Veynikh P.A. Organization and methods of conducting sociological studies of the health of the rural population for information support of the system of social and hygienic monitoring: guidelines MR 5.1/5.2.012-04; Omsk State Medical Academy. Omsk: Center of Hygiene and Epidemiology in the Omsk Region, 2004: 52 p. (in Russian)
14. Album of portions of food and dishes. Moscow: Institute of Nutrition of Russian Academy of Medical Sciences; 1995: 83 p. (in Russian)
15. Kodentsova V.M. Gradations of vitamin consumption levels: possible risks with excessive consumption. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2014; 83 (3): 41–51. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2014-00028> (in Russian)
16. Overview on Tolerable Upper Intake Levels as derived by the Scientific Committee on Food and the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies; Committee on Food Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies of European Food Safety Authority. Version 10 (June 2024). URL: <https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/2024-05/ul-summary-report.pdf> (date of access January 29, 2025).
17. Chubarova A.D., Turchaninova M.S., Gogadze N.V., Vilms E.A., Shcherba E.V. Hygienic assessment of the consumption of trans fatty acids by the population of the Omsk region. *Fundamental'naya i klinicheskaya meditsina* [Fundamental and Clinical Medicine]. 2023; 8 (4): 65–72. DOI: <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2023-8-4-65-72> (in Russian)
18. Kozubenko O.V., Men'shchikova Yu.V., Turchaninova M.S., Men'shchikov M.P., Vilms E.A. Hygienic characteristics of changes in the nutritional status of adult population in the Omsk region during the implementation of Demography national project. *Fundamental'naya i klinicheskaya meditsina* [Fundamental and Clinical Medicine]. 2024; 9 (3): 29–38. DOI: <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2024-9-3-29-38> (in Russian)
19. Kuz'min S.V., Rusakov V.N., Setko A.G. Assessment of the state of actual nutrition in the population of the Russian Federation. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation]. 2024; 103 (1): 58–66. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-1-58-66> (in Russian)
20. Starodubova A.V. Can healthy eating be considered a health-preserving tool? *Vestnik Rossiiskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences]. 2022; 92 (2): 162–70. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869587322020098> (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., Трубецкая С.Р., Тупикова Д.С., Фролова О.В.

Опыт консультативно-диагностического центра «Здоровое питание» ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России в профилактике алиментарной патологии у жителей Самарской области

The experience of the Clinical and diagnostic center «Healthy nutrition» of Samara State Medical University in the prevention of non-communicable diseases in residents of the Samara region

Sazonova O.V., Gavryushin M.Yu., Hamtsova R.V., Trubetskaya S.R., Tupikova D.S., Frolova O.V.

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

Актуальными проблемами современного здравоохранения являются избыточная масса тела и ожирение, сопровождающиеся множеством сопутствующих заболеваний. Негативные тенденции в состоянии здоровья населения и рост алиментарно-зависимой патологии ставят отечественную медицину перед необходимостью создания подразделений, основной задачей которых является оказание специализированной диетологической помощи и проведение санитарно-гигиенического просвещения среди населения.

Цель исследования – оценка эффективности проводимых комплексных программ консультативно-диагностического центра «Здоровое питание» СамГМУ в профилактике алиментарно-зависимых заболеваний у населения Самарской области.

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 – Трубецкая С.Р., Тупикова Д.С., Фролова О.В.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Сазонова О.В., Гаврюшин М.Ю., Хамцова Р.В., Трубецкая С.Р., Тупикова Д.С., Фролова О.В. Опыт консультативно-диагностического центра «Здоровое питание» ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России в профилактике алиментарной патологии у жителей Самарской области // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 1. С. 82–88. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-82-88>

Статья поступила в редакцию 09.10.2024. **Принята в печать** 15.01.2025.

Funding. The study had no sponsorship support.

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

Contribution. Research concept – Sazonova O.V.; research design, text writing – Gavryushin M.Yu., Hamtsova R.V.; data collection and processing – Trubetskaya S.R., Tupikova D.S., Frolova O.V.; 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., Trubetskaya S.R., Tupikova D.S., Frolova O.V. The experience of the Clinical and diagnostic center «Healthy nutrition» of Samara State Medical University in the prevention of non-communicable diseases in residents of the Samara region. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (1): 82–88. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-82-88> (in Russian)

Received 09.10.2024. **Accepted** 15.01.2025.

Материал и методы. Проведен ретроспективный анализ данных медицинских карт 2271 пациента консультативно-диагностического центра «Здоровое питание» СамГМУ. На основании антропометрического обследования рассчитывали индекс массы тела, для оценки компонентного состава тела проводили биоимпедансометрию. Оценивали фактическое питание автоматизированным методом с помощью компьютерной программы «Нутри-проф».

Результаты. Среди обследованных на момент начала диетотерапии лишь 14% пациентов имели нормальную массу тела, в 27% случаев наблюдалась избыточная масса тела, у 56% – ожирение различной степени. Сахарный диабет 2 типа и инсулинорезистентность встречались в 27% случаев при избыточной массе тела, при ожирении III степени их распространенность увеличивалась более чем вдвое у мужчин и почти в 2 раза у женщин. Пациентам были рекомендованы программы снижения массы тела, включающие не только диетотерапию, но и аппаратные методики. По завершении комплексной программы коррекции массы тела количество пациентов обоих полов с нормальной массой тела увеличилось более чем в 4,5 раза – с 14 до 66%.

Заключение. Комплексная программа снижения массы тела, оказываемая в консультативно-диагностическом центре «Здоровое питание», показала свою эффективность в лечении избыточной массы тела, ожирения, а также в профилактике алиментарно-зависимой патологии.

Ключевые слова: питание населения; алиментарно-зависимые заболевания; ожирение; избыточная масса тела; диетотерапия

An urgent problem of modern healthcare is overweight and obesity, accompanied by many concomitant diseases. Negative trends in the health of the population and the growth of alimentary pathology puts domestic medicine in the front of the need to create units whose main task will be to provide specialized nutritional care and conduct sanitary and hygienic education among the population.

Objective. Evaluation of the effectiveness of the comprehensive programs of the medical center «Healthy Nutrition» of the Samara State Medical University in the prevention of non-communicable diseases in the population of the Samara region.

Material and methods. A retrospective analysis of the data of medical records of 2.271 patients of the medical center «Healthy Nutrition» of Samara State Medical University was carried out. Based on the anthropometric examination, the body mass index was calculated, and bioelectrical impedance analysis was performed to assess the body composition. The assessment of the actual nutrition was carried out by an automated method using the computer program «Nutri-prof».

Results. Among the examined, only 14% of patients had a normal body weight, in 27% of cases overweight was observed, in 56% – obesity of varying degrees at the start of diet therapy. Type 2 diabetes mellitus and insulin resistance were found in 27% of cases with overweight, with obesity of the 3rd degree their prevalence increased more than twice in men and almost twice in women. Patients were recommended weight loss programs that include not only diet therapy, but also hardware techniques. Upon completion of the comprehensive body weight correction program, the number of patients of both sexes with normal body weight increased more than 4.5 times – from 14 to 66%.

Conclusion. The comprehensive weight loss program provided at the medical center «Healthy Nutrition» has shown its effectiveness in the treatment of overweight, obesity, as well as in the prevention of non-communicable diseases.

Keywords: nutrition of the population; non-communicable diseases; obesity; overweight; diet therapy

По данным Всемирной организации здравоохранения, одной из основных проблем мирового здравоохранения является рост числа людей с избыточной массой тела: 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 [1]. Негативные тенденции в росте избыточной массы тела наблюдаются в Самарской области, распространенность абдоминального ожирения составляет 43% [2].

Несмотря на активное освещение тем здорового образа жизни и правильного питания, избыточная масса

тела продолжает оставаться актуальной проблемой. Несоблюдение принципов здорового питания приводит к избыточному употреблению простых углеводов, добавленных моно- и дисахаридов и жиров при дефиците в рационе микронутриентов. Несбалансированное питание усугубляется гиподинамией, приводя к повышенному риску развития у населения заболеваний сердечно-сосудистой системы, патологий эндокринной системы, гиповитаминозов.

Негативные тенденции в состоянии здоровья населения и рост алиментарно-зависимой патологии ставят отечественную медицину перед необходимостью создания подразделений, основной задачей которых будет

являться оказание специализированной диетологической помощи и проведение санитарно-гигиенического просвещения среди населения.

Во исполнение постановления Правительства Самарской области от 27.10.2011 № 673 «Об утверждении областной целевой программы «Здоровое питание населения Самарской области на 2012–2015 гг.» при поддержке ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» в сентябре 2013 г. на базе СамГМУ был создан консультативно-диагностический центр «Здоровое питание» (далее – Центр).

Центр оказывал высококвалифицированную амбулаторную медицинскую помощь на современном уровне как здоровым лицам, так и пациентам для профилактики и лечения алиментарно-зависимых заболеваний с использованием различных методов диагностики и лечения до октября 2022 г., после чего трансформировался и вошел в состав Центра комплексной реабилитации клиник ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России. С момента создания до настоящего времени на базе Центра осуществляется не только комплексная оценка пищевого статуса населения, научное обоснование и внедрение индивидуальных клинических программ коррекции избыточной массы тела и ожирения (фармако- и диетотерапия, лечебная физкультура, физиотерапия и др.), но и проведение мероприятий в поддержку оптимального питания и здорового образа жизни в рамках осуществления профилактической медицинской помощи лицам без клинических признаков заболевания, а также санитарно-гигиеническое информирование о факторах риска развития алиментарно-зависимых заболеваний и обучение принципам здорового питания и здорового образа жизни населения Самарской области. Консультации в Центре проводят практикующие специалисты, доктора и кандидаты медицинских наук: врач-диетолог, врач-эндокринолог, врач-гастроэнтеролог, психотерапевт, врач ультразвукового исследования и врач функциональной диагностики. Итогом консультаций пациентов становится составление комплексной индивидуальной программы по снижению массы тела после сбора анамнеза, необходимых анализов и проведения функциональной диагностики.

Цель исследования – оценка эффективности проводимых комплексных программ Центра СамГМУ в профилактике алиментарно-зависимых заболеваний населения Самарской области.

Материал и методы

Был проведен анализ данных медицинских карт 2271 пациента Центра, получавших индивидуальные консультации в период с 2013 по 2024 г., из них 1626 (72%) женского пола, 645 (28%) – мужского. Средний возраст пациентов составил 40,2 года для женщин, 38,2 года для мужчин. Всем пациентам перед каждой консультацией проводили измерение длины и массы тела, а также обхвата талии и бедер с использованием стандартной

антропометрической методики [3]. На основании антропометрии рассчитывали индекс массы тела (ИМТ), классифицируемый по нормативам [4]:

- <18,5 кг/м² – недостаточная масса тела;
- 18,5–24,9 кг/м² – нормальная масса тела;
- 25,0–29,9 кг/м² – избыточная масса тела;
- 30–34,99 кг/м² – ожирение I степени;
- 35–39,99 кг/м² – ожирение II степени;
- 40 кг/м² и более – ожирение III степени (морбидное).

На первичном приеме, помимо консультации со сбором жалоб, анамнеза, объективных данных, информации о наличии хронических заболеваний, показателей анализа крови, всем пациентам проведена биоимпедансометрия. Определение компонентного состава тела проводили с помощью прибора ABC-01 «Медасс» [5] по стандартной тетраполярной схеме с использованием одноразовых биоадгезивных электродов. Оценивали показатели компонентного состава тела, включая процент жировой массы, активную клеточную (кг), скелетно-мышечную массу (СММ) и долю СММ (%).

Оценку фактического питания проводили автоматизированным методом с помощью компьютерной программы «Нутри-проф» [6], которая на основании данных, полученных от пациента в ходе опроса, позволяет определить количество потребляемых им пищевых веществ и выявить соответствие полученных данных рекомендуемым уровням потребления пищевых веществ, принятым в Российской Федерации (Методические рекомендации МР 2.3.1.0253–21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения») [7].

После оценки пищевого статуса и фактического питания пациентам проводились комплексные программы снижения массы тела, включающие в себя не только диетотерапию, но и аппаратные методики – LPG-массаж, T-Shock обертывание и прессотерапия.

Статистическую обработку первичных данных проводили в программе IBM SPSS Statistics 28 (IBM, США) с определением среднего значения исследуемых параметров (*M*), стандартной ошибки среднего значения (*m*) и медианы (*Me*). Для определения нормальности распределения полученных результатов применяли критерии Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка. В зависимости от типа данных и нормальности распределения для оценки статистической значимости результатов применяли *t*-критерий Стьюдента или *U*-критерий Манна–Уитни. Статистически значимыми считались различия при *p*<0,05.

Результаты и обсуждение

Анализ медицинских карт пациентов Центра показал, что среди обследованных на момент начала диетотерапии лишь 14% пациентов имели нормальную массу тела. Более чем в 27% случаев наблюдалась избыточная масса тела, у 26% – ожирение I степени, еще по 15% приходилось на пациентов с ожирением II и III степени. Около 3% обследованных лиц имели дефицит массы тела.

Таблица 1. Структура сопутствующей заболеваемости у обследованных лиц

Table 1. The structure of concomitant morbidity in the examined individuals

Группа обследованных по индексу массы тела <i>The group examined by body mass index</i>	Сопутствующие заболевания, абс. (% распространенности в группе обследованных лиц) <i>Concomitant diseases, abs. (% prevalence in the group of examined individuals)</i>					
	сахарный диабет и инсулинорезистентность <i>diabetes mellitus and insulin resistance</i>		заболевания щитовидной железы <i>thyroid gland diseases</i>		жировой гепатоз <i>fatty hepatosis</i>	
	мужчины <i>male</i>	женщины <i>female</i>	мужчины <i>male</i>	женщины <i>female</i>	мужчины <i>male</i>	женщины <i>female</i>
Дефицит массы тела <i>Body weight deficiency</i>	3 (25)	0 (0)	0 (0)	10 (16)	0 (0)	6 (9)
Нормальная масса тела <i>Normal body weight</i>	3 (5)	8 (3)	3 (5)	40 (16)	3 (5)	42 (17)
Избыточная масса тела <i>Excess body weight</i>	42 (27)	124 (27)	6 (4)	76 (17)	39 (25)	274 (60)
Ожирение I степени <i>Grade 1 obesity</i>	90 (46)	108 (28)	3 (2)	48 (12)	75 (38)	282 (73)
Ожирение II степени <i>Grade 2 obesity</i>	57 (54)	112 (47)	3 (3)	44 (18)	99 (94)	222 (93)
Ожирение III степени <i>Grade 3 obesity</i>	69 (62)	100 (43)	9 (8)	44 (19)	111 (100)	220 (96)

Одной из основных задач Центра являлось динамическое наблюдение за пациентами группы повышенного риска развития алиментарно-зависимых заболеваний – оценка пищевого и метаболического статуса у лиц с ожирением разной степени с различными сопутствующими алиментарно-зависимыми и эндокринными заболеваниями. Следует подчеркнуть, что частота встречаемости сопутствующих заболеваний увеличивалась вместе с ростом ИМТ: инсулинорезистентность и сахарный диабет у пациентов с избыточной массой тела наблюдались в 27,0% случаев, а среди пациентов с ожирением это число было выше в 2 раза. В целом наиболее часто встречаемыми сопутствующими заболеваниями являлись сахарный диабет, инсулинорезистентность, заболевания щитовидной железы и жировой гепатоз (табл. 1).

На основании того, что у 83% обратившихся в Центр пациентов были диагностированы избыточная масса тела или ожирение, консультация врача-диетолога или врача-эндокринолога была построена на индивидуальной диетотерапии с целью снижения массы тела.

Во время одного приема врачу довольно сложно учесть все нюансы образа жизни, в том числе питания, пациента, проанализировать и дать полные рекомендации для снижения массы тела, донести информацию о важности пищевых привычек, научить навыкам рационального питания и помочь в выборе того или иного блюда (продукта) в определенной ситуации. Необходимо учитывать, что паттерны пищевого поведения изменяются и формируются в течение длительного времени. В среднем пациенты Центра проходили диетологическое лечение от 3 до 9 мес, в течение которых вели дневник питания для последующей оценки врачом-диетологом пищевого рациона пациента и соответствия его принципам рационального питания.

Анализ фактического питания показал неблагоприятную картину питания у взрослого населения. Более 70% обследованных имели нарушения режима питания,

в основном за счет нерегулярных приемов пищи, отсутствия завтрака и обеда, позднего ужина, а также нарушений процентного соотношения калорийности суточного рациона по приемам пищи.

Структура питания характеризуется повышенным употреблением кондитерских изделий (6–7 порций/сут), а также недостаточным употреблением овощей и фруктов (соответственно до 2,6 и 1,8 порции/сут), рыбы и морепродуктов (менее 0,6 порции/сут). При этом употребление хлебобулочных изделий и мясных блюд было выше установленных нормативов, а потребление молока и молочных продуктов к ним приближалось.

Нутриентный анализ фактического питания взрослого населения с низким уровнем физической активности в возрастной категории 18–39 лет показал, что энергетическая ценность рациона женщин превышала рекомендуемые нормы (табл. 2). Потребление белка у обеих половых групп было ниже рекомендуемых значений, а жиров – избыточно как для мужчин, так и для женщин, в то время как избыток углеводов в питании характерен для женщин. Полученные результаты соответствуют общим тенденциям в питании взрослого населения РФ [8].

Проведенный анализ на основании использования автоматизированной оценки фактического питания с помощью программного обеспечения позволил сделать заключение о нерациональности питания взрослого населения как по режиму питания, так и по его структуре и химическому составу. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости разработки и внедрения комплекса профилактических мероприятий, направленных на коррекцию питания, а следовательно, на снижение связанных с ними алиментарно-зависимых заболеваний как на индивидуальном, так и на коллективном уровнях.

Помимо изучения фактического рациона питания, был проведен анализ пищевого статуса взрослого населения с использованием стандартного антропометрического метода и определения компонентного состава

Таблица 2. Фактическое потребление обследуемыми лицами пищевых веществ и энергии

Table 2. Actual consumption of nutrients and energy by the examined persons

Показатель <i>Indicator</i>	Группа <i>Group</i>	Потребление, г/сут / <i>Consumption, g/day</i>		
		рекомендуемое [7] <i>recommended [7]</i>	фактическое / <i>actual</i>	
			<i>M±m</i>	<i>Me</i>
Белок / <i>Protein</i>	Мужчины / <i>Male</i>	77–80	67±5	64
	Женщины / <i>Female</i>	65–66	62±4	57
Жир / <i>Fat</i>	Мужчины / <i>Male</i>	88–93	103±8	97
	Женщины / <i>Female</i>	72–73	97±6	95
Углеводы / <i>Carbohydrates</i>	Мужчины / <i>Male</i>	387–411	390±13	387
	Женщины / <i>Female</i>	311–318	356±21	332
Энергетическая ценность, ккал/сут <i>Energy value, kcal/day</i>	Мужчины / <i>Male</i>	2650–2800	2746±124	2657
	Женщины / <i>Female</i>	2150–2200	2389±123	2378

тела с помощью биоимпедансометрии (табл. 3) Результаты оценки показали достоверные гендерные различия как по антропометрическим показателям, так и показателям компонентного состава тела ($p<0,05$). Индекс распределения жировой ткани, характеризующий соотношением обхвата талии и бедер, свидетельствовал о преимущественно равномерном распределении жировой массы как у мужчин, так и у женщин. Фактическое содержание жировой массы у женщин достоверно выше, чем у мужчин, при более низких значениях тощей, скелетно-мышечной и активной клеточной массы. Также необходимо отметить низкую долю активной клеточной массы для мужчин (менее 50% от тощей массы), что свидетельствует о недостаточном уровне физической активности и белкового компонента в питании.

Сравнение компонентного состава тела у пациентов с разным ИМТ также выявило статистически значимые различия по большинству параметров биоимпедансометрии (табл. 4). Сохраняются и гендерные различия по компонентному составу. Так, значения жировой массы, относительные и абсолютные, достоверно ниже у мужчин, а скелетно-мышечной массы – у женщин.

В то же время биоимпедансный анализ состава тела позволил выявить следующую закономерность: с увеличением ИМТ увеличивалось содержание жировой ткани за счет как подкожно-жировой клетчатки, так и висцерального жира, а также общей жидкости организма, при этом доля скелетно-мышечной массы сокращалась.

Одним из условий лечения ожирения, включая диетотерапию, является поэтапное снижение массы тела. Эффективность терапии оценивали по динамике антропометрических данных и компонентов состава тела каждые 3 мес.

В период прохождения консультаций пациентам была рекомендована диета со снижением калорийности рациона и ограничением продуктов с высоким гликемическим индексом, даны рекомендации по режиму питания и порциям основных групп продуктов в суточном рационе, а также по питьевому режиму. Диетотерапия, подразумевающая снижение энергетической ценности рациона, является общепринятым эффективным методом коррекции избыточной массы тела и ожирения [4, 9, 10].

Около 30% пациентов принимали решение следовать комплексной программе коррекции избыточной массы тела и ожирения. В программу входило составление индивидуальной диетотерапии, 10 сеансов прессотерапии, 10 сеансов LPG-массажа. В среднем программа длилась 1,5–2 мес.

Динамика ИМТ пациентов Центра показывает достоверно значимые изменения во всех группах обследованных: по завершении комплексной программы коррекции массы тела количество пациентов обоих полов с ожирением III степени снизилось на 11%, с ожирением II степени – почти на 10%, с ожирением I степени – на 15% (табл. 5). Количество лиц с нормальной массой тела увеличилось более чем в 4,5 раза. Коли-

Таблица 3. Антропометрические показатели и результаты биоимпедансометрии обследуемых лиц ($M±m$)Table 3. Anthropometric indicators and results of bioimpedance analysis of the examined persons ($M±m$)

Показатель / <i>Indicator</i>	Мужчины / <i>Male</i>	Женщины / <i>Female</i>
Длина тела, см / <i>Height, cm</i>	178,6±7,5	167,4±6,2*
Масса тела, кг / <i>Body weight, kg</i>	79,6±12,2	64,9±11,7*
ИМТ, кг/м ² / <i>BMI, kg/m²</i>	24,3±3,6	23,1±4,2
Индекс обхвата талии/бедер / <i>Waist/hip index</i>	0,86±0,12	0,73±0,08*
Жировая масса, кг / <i>Body fat, kg</i>	19,8±3,8	24,9±4,0*
Тощая масса, кг / <i>Lean mass, kg</i>	58,7±5,3	39,0±6,1*
Скелетно-мышечная масса, кг / <i>Skeletal muscle mass, kg</i>	39,0±3,1	29,1±4,2*
Активная клеточная масса, кг / <i>Active cell mass, kg</i>	28,3±3,1	24,1±4,0

Примечание. * – статистически значимое ($p<0,05$) отличие от показателя мужчин. Здесь и в табл. 4: ИМТ – индекс массы тела. Note. * – statistically significant difference ($p<0.05$) from the indicator for men; BMI – body mass index.

Таблица 4. Показатели биоимпедансного анализа у обследованных лиц с различными значениями индекса массы тела ($M \pm m$)**Table 4.** Bioelectrical impedance analysis indicators in the examined individuals with different body mass index (BMI) values ($M \pm m$)

Показатель Indicator	Нормальная масса тела (ИМТ от 19 до 25 кг/м ²) Normal weight (BMI from 19 to 25 kg/m ²)		Избыточная масса тела (ИМТ более 25 кг/м ²) Excess weight (BMI over 25 kg/m ²)	
	мужчины / male	женщины / female	мужчины / male	женщины / female
Жировая масса (кг), нормированная по росту Height-normalized fat mass, kg	14,35±2,8	18,74±3,01	25,18±8,11 [#]	31,75±5,62
Жировая масса, % / Body fat percentage	16,71±3,92	24,63±5,84*	31,16±6,33 [#]	35,63±3,22* [#]
Доля СММ, % / Skeletal muscle percentage	60,25±8,72	47,01±2,05*	51,42±1,61 [#]	43,25±0,95*

Примечание. Статистически значимое ($p < 0,05$) отличие от показателя: * – мужчин; [#] – лиц с нормальной массой тела.

Note. Statistically significant difference ($p < 0.05$) from the indicator: * – for men; [#] – for patients with normal weight.

чество лиц с дефицитом массы тела сократилось до 1%, при этом для пациентов мужского пола его удалось устранить полностью. Следует отметить, что у лиц, проходивших комплексную программу, включающую аппаратные методики, снижение массы тела шло интенсивнее за счет уменьшения жировой массы и общей жидкости.

Заключение

Распространенность избыточной массы тела и ожирения у населения как в России, так и по всему миру ставит современное здравоохранение перед необходимостью создания отдельных подразделений диетологического профиля. Центр предоставлял специализированную помощь населению Самарской области с 2013 по 2022 г., а после трансформирования и вхождения в состав Центра комплексной реабилитации продолжил оказывать высококвалифицированную амбулаторную медицинскую помощь на современном уровне как здоровым, так и больным людям.

Результаты проведенного исследования показали высокую распространенность у обследованных в Центре лиц избыточной массы тела (более 27%) и ожирения (56%). У большинства пациентов выявляются сопутствующие заболевания, наиболее часто – сахарный диабет 2 типа, инсулинорезистентность, жировой гепатоз и заболевания щитовидной железы.

Проводимые комплексные программы по снижению избыточной массы тела включали в себя оценку пищевого статуса пациентов методами антропометрии, биоимпедансометрии и анализа фактического питания. Среди обследованных лиц отмечается высокая доля лиц с избыточным пищевым статусом. По завершении комплекса проводимых мероприятий произошло уменьшение количества пациентов обоего пола с ожирением и избыточной массы тела на 10–15%, в зависимости от степени ожирения, при увеличении числа лиц с нормальной массой тела более чем в 4,5 раза.

Таким образом, комплексная программа снижения массы тела, оказываемая в Центре, показала свою эффективность в лечении избыточной массы тела, ожирения, а также в профилактике алиментарно-зависимой патологии.

Таблица 5. Динамика индекса массы тела у обследованных лиц в ходе комплексной программы коррекции массы тела**Table 5.** Dynamics of body mass index in the examined individuals during a comprehensive weight correction program

Группы обследованных The group examined	Всего, абс. (%) Total, abs. (%)		Мужчины, абс. (%) Male, abs. (%)		Женщины, абс. (%) Female, abs. (%)	
	начало диетотерапии the beginning of diet therapy	окончание диетотерапии the end of diet therapy	начало диетотерапии the beginning of diet therapy	окончание диетотерапии the end of diet therapy	начало диетотерапии the beginning of diet therapy	окончание диетотерапии the end of diet therapy
Дефицит массы тела Body weight deficiency	76 (3)	12 (1)	12 (2)	0 (0)	64 (4)	12 (1)
Нормальная масса тела Normal body weight	310 (14)	1502 (66)	66 (10)	450 (70)	244 (15)	1052 (65)
Избыточная масса тела Excess body weight	616 (27)	289 (13)	156 (24)	63 (10)	460 (28)	226 (14)
Ожирение I степени Grade 1 obesity	583 (26)	258 (11)	195 (30)	78 (12)	388 (24)	180 (11)
Ожирение II степени Grade 2 obesity	345 (15)	127 (6)	105 (16)	33 (5)	240 (15)	94 (6)
Ожирение III степени Grade 3 obesity	341 (15)	83 (4)	111 (17)	21 (3)	230 (14)	62 (4)
Итого, абс. / Total, abs.	2271		645		1626	

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>

Трубецкая Сабрина Рустамовна (Sabrina R. Trubetskaya) – ассистент кафедры гигиены питания с курсом гигиены детей и подростков

E-mail: s.r.trubetskaya@samsmu.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4988-3441>

Тупикова Дарья Сергеевна (Darya S. Tupikova) – кандидат медицинских наук, доцент кафедры гигиены питания с курсом гигиены детей и подростков

E-mail: d.s.tupikova@samsmu.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2813-7271>

Фролова Оксана Владимировна (Oksana V. Frolova) – старший преподаватель кафедры гигиены питания с курсом гигиены детей и подростков

E-mail: o.v.frolova@samsmu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7762-8830>

Литература

- World Health Organization. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/ru/> (дата обращения: 08.10.2024)
- 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>
- Сваровская А.В., Гарганеева А.А. Антропометрические индексы ожирения и кардиометаболический риск: есть ли связь? // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2021. Т. 20, № 4. С. 114–121. DOI: <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2746>
- Дедов И.И., Мокрышева Н.Г., Мельниченко Г.А., Трошина Е.А., Мазурин 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>
- Перевошчикова Н.К., Селиверстов И.А., Дракина С.А., Черных Н.С. Биоимпедансный анализ в клинической практике // Мать и дитя в Кузбассе. 2021. № 3. С. 11–20. DOI: <https://doi.org/10.24412/2686-7338-2021-3-11-20>
- Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018616124 Российская Федерация. Программный комплекс по оценке фактического питания «Нутри-проф»: № 2018613172: заявл. 03.04.2018; опубл. 23.05.2018 / А.К. Батурин, А.Н. Мартинчик, Д.О. Горбачев [и др.]; заявитель ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России. EDN: BOKVED.
- Попова А.Ю., Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. О новых (2021) Нормх 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. Здоровое питание для общественного здоровья // Общественное здоровье. 2021. Т. 1, № 1. С. 56–64. DOI: <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-1-56-64>
- Шарафетдинов Х.Х., Плотникова О.А. Ожирение как глобальный вызов XXI века: лечебное питание, профилактика и терапия // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 161–171. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10050>
- Нутрициология и клиническая диетология : национальное руководство / под ред. В.А. Тутельяна, Д.Б. Никитюка. 2-е изд. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2021. 1008 с. DOI: <https://doi.org/10.33029/9704-6280-5-NKD-2021-1-1008>

References

- World Health Organization. [Electronic resource]. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/ru> (date of access October 08, 2024). (in Russian)
- Alferova V.I., Mustafina S.V. Prevalence of obesity in the adult population of the Russian Federation (literature review). Ozhirenie i metabolism [Obesity and Metabolism]. 2022; 19 (1): 96–105. DOI: <https://doi.org/10.14341/omet12809> (in Russian)
- Svarovskaya A.V., Garganeeva A.A. Anthropometric indices obesity and cardiometabolic risk: is there a link? Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika [Cardiovascular Therapy and Prevention]. 2021; 20 (4): 114–21. DOI: <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2746> (in Russian)
- Dedov I.I., Mokrysheva N.G., Mel'nichenko G.A., Troshina E.A., Mazurina N.V., Ershova E.V., et al. Obesity. Clinical guidelines. Consilium Medicum. 2021; 23 (4): 311–25. DOI: <https://doi.org/10.26442/20751753.2021.4.200832> (in Russian)
- Perevoshchikova N.K., Seliverstov I.A., Drakina S.A., Chernykh N.S. Bioimpedance analysis in clinical practice. Mat' i ditya v Kuzbasse [Mother and Child in Kuzbass]. 2021; (3): 11–20. DOI: <https://doi.org/10.24412/2686-7338-2021-3-11-20> (in Russian)
- Certificate of state registration of the computer program No. 2018616124 Russian Federation. The program complex for the assessment of actual nutrition «Nutri-prof»: No. 2018613172: application 03.04.2018; publ. 23.05.2018. A.K. Baturin, A.N. Martinchik, D.O. Gorbachev [et al.]. The applicant is the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, the Samara State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation. EDN: BOKVED. (in Russian)
- Popova A.Yu., Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. On the new (2021) Norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2021; 90 (4): 6–19. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19> (in Russian)
- Tutelyan V.A. Healthy nutrition for public health. Obshchestvennoe zdorov'e [Public Health]. 2021; 1 (1): 56–64. DOI: <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-1-56-64> (in Russian)
- Sharafetdinov H.H., Plotnikova O.A. Obesity as a global challenge of the XXI century: therapeutic nutrition, prevention and therapy. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2020; 89 (4): 161–71. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10050> (in Russian)
- Nutritionology and clinical dietetics: national guidelines. 2nd ed. Edited by Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. Moscow: GEOTAR-Media, 2021: 1008 p. DOI: <https://doi.org/10.33029/9704-6280-5-NKD-2021-1-1008> (in Russian)

Для корреспонденции

Кривошеев Владимир Васильевич – доктор технических наук, профессор, ведущий аналитик
 АУ «Технопарк высоких технологий»
 Адрес: 628011, Российская Федерация, г. Ханты-Мансийск, ул. Промышленная, д. 19
 Телефон: (3467) 388-217
 E-mail: vvk_usu@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8125-0890>

Кривошеев В.В.¹, Козловский И.В.², Никитина Л.Ю.³, Федоров А.В.¹

Сезонные колебания уровня витамина D в сыворотке крови у различных возрастных групп населения Ханты-Мансийского автономного округа – Югры

Seasonal fluctuations of vitamin D in blood serum in different age groups of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra population

Krivosheev V.V.¹, Kozlovsky I.V.², Nikitina L.Yu.³, Fedorov A.V.¹

¹ Автономное учреждение Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Технопарк высоких технологий», 628011, г. Ханты-Мансийск, Российская Федерация

² Бюджетное учреждение «Окружная клиническая больница», 628011, г. Ханты-Мансийск, Российская Федерация

³ 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 High Technology Park of Ugra, 628011, Khanty-Mansiysk, Russian Federation

² District Clinical Hospital, 628011, Khanty-Mansiysk, Russian Federation

³ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), 119991, Moscow, Russian Federation

Исследования последних десятилетий свидетельствуют о распространенности низкой концентрации витамина D в сыворотке крови жителей многих регионов России, которая существенно зависит от возраста человека и времени года.

Цель исследования – изучение сезонной изменчивости статуса витамина D у различных возрастных групп населения ХМАО-Югры.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Кривошеев В.В.; сбор и обработка материала – Кривошеев В.В., Козловский И.В.; написание текста – Кривошеев В.В., Никитина Л.Ю., Федоров А.В.; редактирование – Кривошеев В.В.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Благодарность. Авторы благодарят сотрудников ООО «ИНВИТРО-Урал» за безвозмездно предоставленную базу данных анализов концентрации 25(OH)D в сыворотке крови населения ХМАО-Югры.

Для цитирования: Кривошеев В.В., Козловский И.В., Никитина Л.Ю., Федоров А.В. Сезонные колебания уровня витамина D в сыворотке крови у различных возрастных групп населения Ханты-Мансийского автономного округа – Югры // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 1. С. 89–99. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-89-99>

Статья поступила в редакцию 09.07.2024. **Принята в печать** 15.01.2025.

Funding. The study had no sponsorship.

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

Contribution. Concept and design of the study – Krivosheev V.V.; data collection and processing – Krivosheev V.V., Kozlovsky I.V.; writing of the text – Krivosheev V.V., Nikitina L.Yu., Fedorov A.V.; editing – Krivosheev V.V.; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

Acknowledgements. The authors thank the employees of INVITRO-Ural LLC for the free database of serum 25(OH)D concentrations in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra population.

For citation: Krivosheev V.V., Kozlovsky I.V., Nikitina L.Yu., Fedorov A.V. Seasonal fluctuations of vitamin D in blood serum in different age groups of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra population. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (1): 89–99. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-89-99> (in Russian)

Received 09.07.2024. **Accepted** 15.01.2025.

Материал и методы. Данные о статусе витамина D у населения, проживающего на территории ХМАО-Югры в 2020–2022 гг., получены на основании статистической обработки обезличенных материалов 31 595 измерений уровня кальцидиола [суммарно 25(OH)D₂ и 25(OH)D₃] в сыворотке крови жителей автономного округа, проведенных в лабораториях ООО «ИНВИТРО-Урал» с использованием метода хемилюминесцентного иммуноанализа на микрокалсициях. После отбраковки материалы были распределены по следующим возрастным группам: 0–11 мес (n=320), 1–2 года (n=398), 3–6 лет (n=881), 7–10 лет (n=954), 11–14 лет (n=1002), 15–17 лет (n=861), 18–20 лет (n=661), 21–24 года (n=1137), 25–30 лет (n=1704), 31–40 лет (n=8708), 41–50 лет (n=5310), 51–60 лет (n=3686), 61–70 лет (n=1997), старше 70 лет (n=570).

Результаты. В ХМАО-Югре самая высокая концентрация 25(OH)D в сыворотке крови, которая в течение года не опускалась ниже 30 нг/мл, наблюдалась у детей первого года жизни. По мере увеличения возраста детей в каждой возрастной группе уровень кальцидиола в сыворотке крови снижался ($p < 0,0001$), а распространенность дефицита витамина D нарастала. Наименьшая средняя концентрация кальцидиола в сыворотке крови (12–14 нг/мл) наблюдалась в весенние месяцы у подростков и молодых людей в возрасте от 11 до 24 лет. В более старших возрастных группах статус витамина D плавно, но статистически значимо ($p < 0,0001$) возрастал. У жителей среднего и пожилого возраста (30–70 лет) на протяжении всех сезонов средний уровень кальцидиола не опускался ниже 22 нг/мл, а летом и осенью находился на уровне 26–29 нг/мл, близком к достаточному (30 нг/мл). У жителей старше 70 лет статус витамина D был незначительно ниже, чем в возрастной группе 61–70 лет в зимний период ($p \leq 0,05$), и не отличался в летний период, но вне зависимости от сезона был существенно выше ($p \leq 0,001$), чем у подростков и молодых людей.

Заключение. Полученные результаты позволяют рекомендовать лицам среднего и пожилого возраста, если они не относятся к группам риска, прием витамина D в умеренных дозах в период выявления наименьшей концентрации 25(OH)D в сыворотке крови с декабря по май. Подросткам и молодым людям в возрасте от 11 до 24 лет необходим периодический скрининг уровня 25(OH)D в сыворотке крови в течение всего года, особенно в зимние и весенние месяцы, и прием витамина D в дозах, обеспечивающих поддержание кальцидиола в сыворотке крови на уровне не ниже 30 нг/мл.

Ключевые слова: витамин D; концентрация 25(OH)D; сыворотка крови; время года; возрастная группа

Studies of the recent decades indicate the prevalence of insufficient blood vitamin D levels in the population of many regions of the Russian Federation, which varies significantly depending on the age of a person and the season.

The aim of the research was to study the seasonal variability of vitamin D status in different age groups of the population of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra.

Material and methods. Data on the vitamin D status of the population living in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra in 2020–2022 were obtained based on statistical processing of 31,595 impersonal measurements of calcidiol levels [total 25(OH)D₂ and 25(OH)D₃] in the blood serum of residents of the Autonomous Okrug, carried out in the laboratories of INVITRO-Ural LLC using the chemiluminescent microparticle immunoassay. After rejection, the materials were divided into the following age groups: 0–11 months (n=320), 1–2 years (n=398), 3–6 years (n=881), 7–10 years (n=954), 11–14 years (n=1002), 15–17 years (n=861), 18–20 years (n=661), 21–24 years (n=1137), 25–30 years (n=1704), 31–40 years (n=8708), 41–50 years (n=5310), 51–60 years (n=3686), 61–70 years (n=1997), over 70 years (n=570).

Results. In the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra, the highest serum concentration of 25(OH)D, which did not fall below 30 ng/ml during the year, was observed in infants (under one year of age). As age increased, serum calcidiol levels decreased in each age group ($p < 0.0001$), and the prevalence of vitamin D deficiency increased. The lowest mean serum calcidiol level (up to 12–14 ng/ml) was observed in the spring months in adolescents and young adults aged 11 to 24 years. In higher age groups, vitamin D status increased gradually, but statistically significantly ($p < 0.0001$). In middle-aged and elderly residents (30–70 years), the average calcidiol level did not fall below 22 ng/ml throughout all seasons, and in summer and autumn it was at a level of 26–29 ng/ml, close to sufficient (30 ng/ml). In residents over 70 years of age, vitamin D status was slightly lower than in the 61–70 age group in winter ($p \leq 0.05$), and did not differ in summer, but regardless of the season it was significantly higher ($p \leq 0.001$) than in adolescents and young adults.

Conclusion. The obtained results allow us to recommend vitamin D supplementation in moderate doses to middle-aged and elderly individuals who do not belong to risk groups during the period of detection of the lowest serum 25(OH)D level from December to May. Adolescents and young adults aged 11 to 24 years need periodic screening of 25(OH)D level in blood serum throughout the year, especially in the winter and spring months, and vitamin D intake in doses that ensure maintenance of serum calcidiol at a level of at least 30 ng/ml.

Keywords: vitamin D; 25(OH)D level; blood serum; season; age group

18 июня 2024 г. был подписан Указ Президента РФ № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий». Вторым пунктом в перечне приоритетных направлений научно-технологического развития является «Превентивная и персонализированная медицина, обеспечение здорового долголетия». К перечню критических технологий относятся «Биомедицинские и когнитивные технологии здорового и активного долголетия», а также «Технологии персонализированного, лечебного и функционального питания для здоровьесбережения», поэтому вопрос D-витаминизации населения становится чрезвычайно актуальным и нормативно обоснованным.

В последнее десятилетие проведено несколько исследований, показавших значительную распространенность низкого статуса витамина D у населения во многих регионах РФ.

Е.А. Пигарова и соавт. проанализировали концентрацию кальцидиола [25(OH)D] в сыворотке крови у лиц обоего пола, проживающих в различных регионах РФ (500 участников исследований, возраст 18–50 лет), измерение проведено ООО «ИНВИТРО» в марте–мае 2020 г. В целом по России выявлена высокая распространенность дефицита витамина D [25(OH)D <20 нг/мл] (56,4%) и его недостаточности [25(OH)D от 20 до 30 нг/мл] (27,9%) [1]. По данным Л.А. Суплотовой и соавт., средний уровень 25(OH)D в сыворотке крови участников проведенного в Российской Федерации регистрового неинтервенционного исследования составил 20,9 нг/мл. В популяциях по географическим регионам было выявлено, что доля субъектов с дефицитом витамина D варьирует от 29,6% во Владивостоке до 82,2% в Кызыле, с недостаточностью и дефицитом витамина D – от 63,8% в Тюмени до 93,5% в Западном Заполярье [2]. Среди взрослого населения Тюменского региона ($n=227$, средний возраст 60 лет) в ноябре 2017 г. – марте 2018 г. оптимальные концентрации кальцидиола в сыворотке крови [25(OH)D >30 нг/мл] выявлены только у 7,3% обследованных, его недостаточность зарегистрирована в 22,0% случаев, а дефицит [25(OH)D <20 нг/мл] – в 70,7% [3].

В связи с тем, что значительная часть витамина D формируется под воздействием ультрафиолетового излучения (290–315 нм), в странах, находящихся в зоне умеренного климата, наблюдаются сезонные изменения уровня витамина D в крови населения.

Е. Klingberg и соавт. изучали сезонные колебания концентрации 25(OH)D в сыворотке крови у здорового взрослого населения Швеции. В исследование были включены доноры крови ($n=540$, 41 ± 13 лет) и доноры тромбоцитов ($n=75$, 46 ± 11 лет). Уровень 25(OH)D заметно варьировал в течение года, что коррелировало с интенсивностью ультрафиолетового излучения ($R=0,326$; $p<0,001$). В течение января–марта концентрация 25(OH)D ниже пороговых значений 20 и 30 нг/мл наблюдалась у 58 и 88% соответственно, а в течение июля–сентября – у 11 и 50% ($p<0,001$) [4]. М. Wyskida и соавт. исследовали состояние обеспеченности витамином D у пожи-

лых поляков старше 65 лет ($n=3472$). Самая высокая концентрация 25(OH)D наблюдалась в августе, а самая низкая – в марте, разница в концентрации кальцидиола в сыворотке крови в период с марта по август составила 5,4 нг/мл [5]. В Словении образцы крови для измерения уровня 25(OH)D отбирали у здоровых мужчин и женщин среднего возраста ($n=87$, $35,9 \pm 12,5$ года) в конце летнего и зимнего сезона. Результаты показали значительно более низкие уровни 25(OH)D зимой ($17,6 \pm 7,1$ нг/мл) по сравнению с летом ($30,0 \pm 9,1$ нг/мл; $p<0,001$) [6].

Сезонные колебания концентрации витамина D в сыворотке крови отмечены и на территории РФ. В перекрестном исследовании Д.В. Смирновой и соавт. использовали вторичные данные о лицах старше 18 лет ($n=30\,040$), проходивших тестирование на концентрацию витамина D с 2013 по 2018 г. в лабораториях ООО «ИНВИТРО». Результаты показали, что концентрации 25(OH)D в сыворотке крови обследованных были на 15% выше осенью/летом по сравнению с зимой/весной [7]. В работе Р.З. Нурлыгаянова и соавт. показано, что у лиц старше 50 лет, постоянно проживающих в Республике Башкортостан ($n=175$, 67,6 года), в период минимальной инсоляции (15–31 марта 2014 г.) средний уровень 25(OH)D составил 13,4 нг/мл (среди городских жителей – 17,4 нг/мл, среди сельских – 8,5 нг/мл) [8]. В период максимальной инсоляции (даты не указаны) у лиц старше 50 лет, постоянно проживающих в Республике Башкортостан ($n=175$, 63,7 года), средняя концентрация 25(OH)D составила 22,8 нг/мл (среди городских жителей – 22,2 нг/мл, среди сельских – 23,7 нг/мл) [9].

К наиболее часто обсуждаемым относится вопрос о том, каким образом возрастные особенности организма человека влияют на статус витамина D. Если в самых общих чертах обрисовать представления о зависимости концентрации витамина D в крови от возраста обследованных в европейской популяции, то, по данным наших исследований, как правило, наибольшая концентрация 25(OH)D наблюдается в сыворотке крови у детей до 4–6 лет, она снижается у подростков (12–17 лет) и молодых людей (18–22 года). Затем уровень кальцидиола нарастает до 22–30 нг/мл и остается стабильным на протяжении длительного периода (до 70–75 лет), резко снижаясь после достижения возраста 80–85 лет [10].

Таким образом, не вызывает сомнения то, что в разное время года и в разном возрасте как внешние, так и внутренние факторы оказывают специфическое влияние на уровень витамина D в крови и распространенность его дефицита, однако вопрос о сезонных изменениях этих показателей в различных возрастных группах на территории РФ в настоящее время недостаточно проработан. Изучение динамики сезонного изменения концентрации витамина D у различных групп детского и взрослого населения позволит определить наиболее неблагоприятные, с позиций витамина D, периоды времени для каждой возрастной группы и дать научно обоснованные рекомендации по использованию витамина D для поддержания концентрации кальцидиола на оптимальном уровне >30 нг/мл. В связи с высокой распространен-

Таблица 1. Средние сезонные характеристики статуса витамина D каждой возрастной группы населения ХМАО-Югры в 2020–2022 гг.**Table 1.** Mean seasonal characteristics of vitamin D status of each age group of the population of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra in 2020–2022

Возраст, годы Age, years	Зима / Winter			Весна / Spring			Лето / Summer			Осень / Autumn		
	25(ОН)D, нг/мл ng/mL	количество лиц с уровнем 25(ОН)D, % number of individuals with 25(ОН)D level, %		25(ОН)D, нг/мл ng/mL	количество лиц с уровнем 25(ОН)D, % number of individuals with 25(ОН)D level, %		25(ОН)D, нг/мл ng/mL	количество лиц с уровнем 25(ОН)D, % number of individuals with 25(ОН)D level, %		25(ОН)D, нг/мл ng/mL	количество лиц с уровнем 25(ОН)D, % number of individuals with 25(ОН)D level, %	
		<20 нг/мл ng/mL	≥30 нг/мл ng/mL		<20 нг/мл ng/mL	≥30 нг/мл ng/mL		<20 нг/мл ng/mL	≥30 нг/мл ng/mL		<20 нг/мл ng/mL	≥30 нг/мл ng/mL
<1	31,5	19,0	55,9	34,1	15,3	66,6	36,2	4,2	63,4	36,5	8,3	75,5
1–2	31,0	17,6	56,2	33,0	16,8	61,6	34,6	5,9	63,2	31,3	21,1	55,8
3–6	24,5	38,6	33,6	25,9	34,0	37,5	27,1	26,7	38,3	27,8	18,0	40,3
7–10	22,0	42,4	22,0	20,7	52,0	16,1	24,8	31,0	33,4	24,3	31,5	26,4
11–14	18,5	62,3	14,5	18,6	59,1	15,2	21,2	47,8	16,9	21,0	46,3	18,4
15–17	15,9	67,2	4,9	16,4	67,7	6,6	21,5	44,9	20,5	20,0	53,3	18,1
18–20	15,3	72,3	5,1	13,0	80,5	0,8	20,0	44,7	13,3	16,3	68,9	8,6
21–24	18,3	61,5	17,3	17,1	63,4	11,8	21,7	43,3	23,0	20,5	50,7	20,3
25–30	21,7	47,3	23,1	19,6	49,8	15,2	23,8	38,2	29,8	24,1	34,1	29,4
31–40	25,2	33,6	34,1	24,2	36,8	29,9	27,6	23,9	41,0	26,9	24,9	38,7
41–50	24,5	36,2	30,4	24,1	38,7	30,7	27,3	23,3	41,6	26,8	25,2	37,7
51–60	25,1	33,7	35,7	26,0	32,2	37,5	27,0	24,5	38,9	27,7	22,3	40,9
61–70	23,6	39,0	31,9	24,8	37,3	33,5	26,5	26,1	38,6	26,4	27,5	38,4
70+	21,6	47,0	24,5	20,5	50,4	23,1	25,5	29,9	38,4	27,4	28,2	43,8
Среднее Mean	22,8	44,1	27,8	22,7	45,3	27,6	26,0	29,6	35,7	25,5	32,9	35,2

ностью низкого уровня витамина D в сыворотке крови у жителей отдельных регионов РФ и неблагоприятным влиянием этого фактора на состояние здоровья населения сформулирована **цель** данной работы – исследование сезонной изменчивости концентрации витамина D в сыворотке крови у различных возрастных групп населения ХМАО-Югры.

Материал и методы

Данные о статусе витамина D у населения, проживающего на территории ХМАО-Югры, в 2020–2022 гг. получены на основании статистической обработки обезличенных материалов 31 595 измерений уровня кальцидиола [суммарно 25(ОН)D₂ и 25(ОН)D₃] в сыворотке крови жителей автономного округа, проведенных в лабораториях ООО «ИНВИТРО-Урал» с использованием метода хемилюминесцентного иммуноанализа на микрочастицах.

В связи с тем, что в журналах учета результатов анализов отсутствует информация о лицах, принимавших добавки витамина D, по каждому массиву данных была проведена двойная отбраковка материалов и исключены величины, выходящие за пределы, ограниченные 2 среднеквадратическими отклонениями, что соответствует включению 95% членов нормально распределенной совокупности.

Данные лабораторных исследований после отбраковки были рассортированы по возрастным группам

населения автономного округа. Данные детей и подростков в возрасте до 17 лет были распределены по возрастным группам в соответствии с МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации»: 0–11 мес ($n=320$), 1–2 года ($n=398$), 3–6 лет ($n=881$), 7–10 лет ($n=954$), 11–14 лет ($n=1002$), 15–17 лет ($n=861$). В более старшем возрасте выделены следующие группы: 18–20 лет ($n=661$), 21–24 года ($n=1137$), 25–30 лет ($n=1704$), 31–40 лет ($n=8708$), 41–50 лет ($n=5310$), 51–60 лет ($n=3686$), 61–70 лет ($n=1997$), старше 70 лет ($n=570$).

В исследованиях мы придерживались следующей классификации концентрации 25-гидроксивитамина D [25(ОН)D] в сыворотке крови: <20 нг/мл – дефицит; 20–29,9 нг/мл – недостаточность; ≥30 нг/мл – достаточный уровень [11]. Проверку данных на соответствие нормальному закону распределения проводили с использованием критерия Колмогорова–Смирнова. Для определения значимости различий между показателями проводили проверку гипотезы о равенстве средних значений статистических совокупностей с использованием критерия Фишера–Снедекора, а также использовали Z-тест для сравнения пропорций.

Результаты

Основные результаты, характеризующие сезонную динамику статуса витамина D [средняя концентрация

Таблица 2. Оценка уровней значимости (p) сезонных различий средних концентраций витамина D в сыворотке крови (t -критерий Фишера–Снедекора), распространенности дефицита [$25(\text{OH})\text{D} < 20$ нг/мл, %] и достаточного уровня [$25(\text{OH})\text{D} \geq 30$ нг/мл, %] (Z -тест сравнения пропорций) у обследованного населения ХМАО–Югры в 2020–2022 гг.

Table 2. Estimates of significance levels (p) of seasonal differences in mean blood serum vitamin D level (Fisher–Snedecor t -test), prevalence of deficiency [$25(\text{OH})\text{D} < 20$ ng/mL, %] and sufficiency [$25(\text{OH})\text{D} \geq 30$ ng/mL, %] (Z -test of proportion comparison) in the population of the Khanty–Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra in 2020–2022

Показатель Parameter	Сравниваемые сезоны / Seasons being compared							
	зима-весна winter-spring		весна-лето spring-summer		лето-осень summer-autumn		осень-зима autumn-winter	
Количество данных / Number of data	13 549		12 449		14 640		15 742	
Критерий статистической значимости Criteria of statistical significance	t	p	t	p	t	p	t	p
25(OH)D	0,59	0,29	17,96	<0,001	2,97	0,002	16,49	<0,001
Критерий статистической значимости Criteria of statistical significance	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
25(OH)D < 20 нг/мл / 25(OH)D < 20 ng/ml	1,405	0,08	16,97	<0,001	3,481	0,003	13,23	<0,001
25(OH)D ≥ 30 нг/мл / 25(OH)D ≥ 30 ng/ml	0,26	0,39	9,655	<0,001	0,581	0,29	8,83	<0,001

25(OH)D, распространенность дефицита и достаточного уровня витамина D в сыворотке крови] во всех возрастных группах, сведены в табл. 1.

Оценка сезонной изменчивости статуса витамина D населения в целом (табл. 2) показала, что зимой и весной он практически одинаков: различия средней концентрации 25(OH)D в сыворотке крови, распространенности дефицита и достаточного уровня витамина D статистически не значимы. Статус витамина D радикально улучшается летом по сравнению с весной, причем статистически значимо по всем позициям. Летом по сравнению с осенью несколько выше средняя концентрация 25(OH)D в сыворотке крови, менее распространен дефицит, но распространенность достаточного уровня не различается. В зимний период по сравнению с осенним резко снижается средняя концентрация 25(OH)D в крови, нарастает распространенность дефицита и снижается частота выявления достаточного уровня.

Анализ полученных результатов позволяет говорить о том, что самыми благополучными возрастными группами с позиций статуса витамина D являются группы детей грудного (до 1 года) и дошкольного возраста (от 1 года до 2 лет), а также группы взрослого населения в возрасте старше 30 лет. Наиболее проблемными являются группы, объединяющие детей среднего (11–14 лет) и старшего (15–17 лет) школьного возраста, а также молодые люди от 18 до 25 лет. Приведем диаграммы, характеризующие сезонную динамику статуса витамина D в сыворотке крови у населения ХМАО–Югры в некоторых из перечисленных выше характерных возрастных группах в 2020–2022 гг.

Рис. 1 свидетельствует о том, что в ХМАО–Югре у детей в возрасте до 1 года в среднем концентрация кальцидиола в сыворотке крови в течение года всегда превышала 30 нг/мл, в летние и осенние месяцы от 60,0% (июль) до 81,8% (сентябрь) детей имели достаточный уровень витамина D.

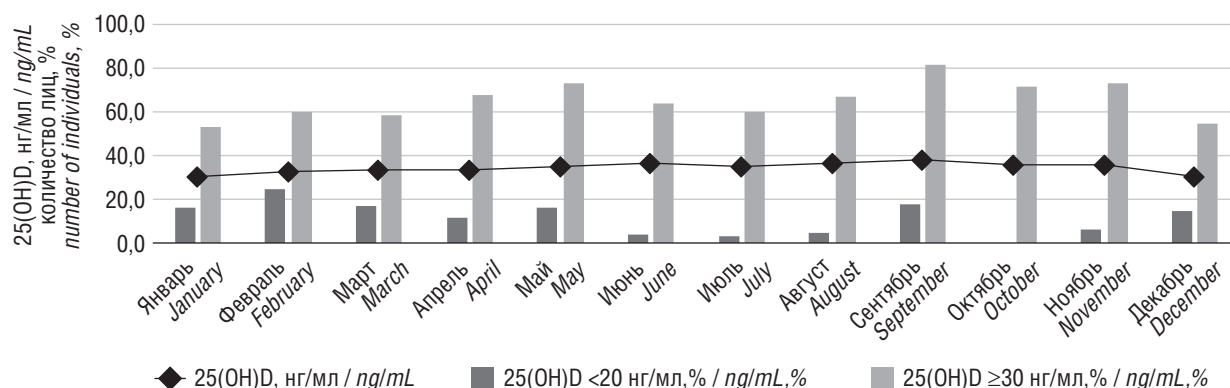


Рис. 1. Диаграмма средней концентрации кальцидиола [25(OH)D], распространенности дефицита [$25(\text{OH})\text{D} < 20$ нг/мл] и достаточного уровня [$25(\text{OH})\text{D} \geq 30$ нг/мл] витамина D в сыворотке крови населения ХМАО–Югры в возрасте до 1 года в течение года в 2020–2022 гг.

Fig. 1. Diagram of the calcidiol [25(OH)D] mean level, prevalence of vitamin D deficiency [$25(\text{OH})\text{D} < 20$ ng/ml] and sufficient level [$25(\text{OH})\text{D} \geq 30$ ng/ml] in blood serum of the population under one year of age during the year in the period 2020–2022 living in Khanty–Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra

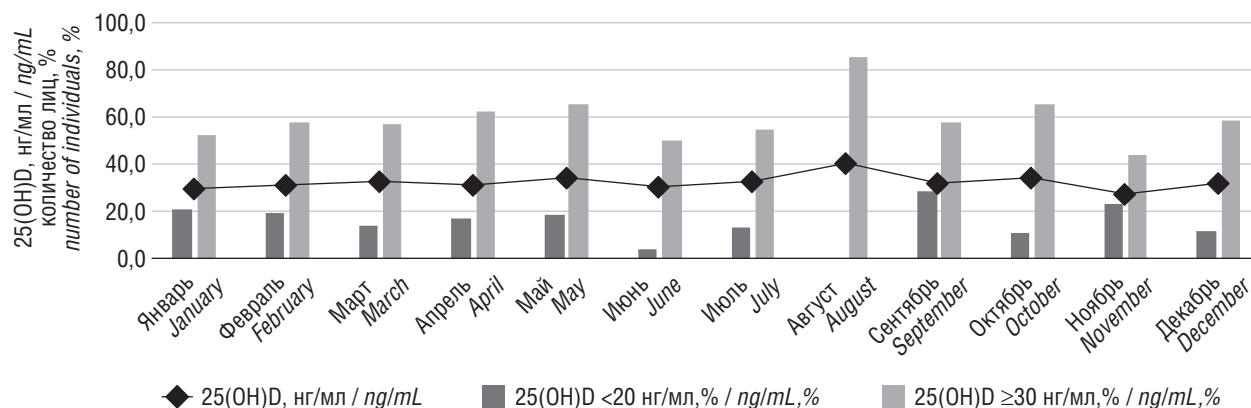


Рис. 2. Диаграмма средней концентрации кальцидиола [25(OH)D], распространенности дефицита [25(OH)D < 20 нг/мл] и достаточного уровня [25(OH)D ≥ 30 нг/мл] витамина D в сыворотке крови населения ХМАО-Югры в возрасте от 1 года до 2 лет в течение года в период 2020–2022 гг.

Fig. 2. Diagram of the calcidiol [25(OH)D] mean level, prevalence of vitamin D deficiency [25(OH)D < 20 ng/ml] and sufficient level [25(OH)D ≥ 30 ng/ml] in blood serum of the population aged 1 to 2 years during the year in the period 2020–2022 living in Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra

У детей в возрасте от 1 года до 2 лет на протяжении всего периода наблюдений средняя концентрация витамина D в сыворотке крови была близка к референсному уровню, не опускаясь ниже 27,7 нг/мл даже в зимние и весенние месяцы, распространенность дефицита не превышала 29,0%, от 44,2% (ноябрь) до 85,0% (август) детей имели уровень кальцидиола в сыворотке крови выше 30 нг/мл (рис. 2).

Возрастная группа подростков (11–14 лет) является одной из наиболее проблемных по витамину D. В самый благоприятный период наиболее эффективной естественной выработки витамина D под воздействием ультрафиолетового излучения в ХМАО-Югре (от середины июня до середины августа) средняя концентрация кальцидиола в сыворотке крови подростков незначительно превышала 20 нг/мл, сохраняясь на этом уровне

в сентябре–октябре. Распространенность дефицита в летние и осенние месяцы колебалась в пределах от 31,3 до 56,1% (рис. 3). Зимой и весной ситуация еще более осложнялась: средний уровень 25(OH)D опускался до 17 нг/мл, а распространенность дефицита достигала 67,0%. В феврале–апреле достаточный уровень витамина D в сыворотке крови имели от 11,3 до 13,8% подростков.

Рис. 4 наглядно показывает, что молодые люди в возрасте от 18 до 20 лет, проживающие на территории автономного округа, также относятся к группе высокого риска D-гиповитаминоза. Минимальный средний уровень кальцидиола в сыворотке крови молодых людей приходился на весенние месяцы (12,4–14,2 нг/мл), максимальный – на август (21,6 нг/мл). Только в летние месяцы распространенность дефи-

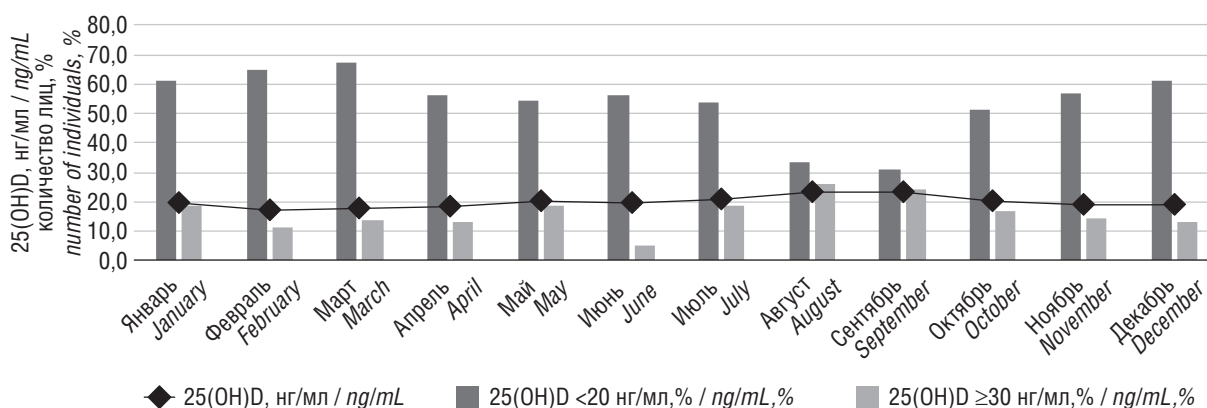


Рис. 3. Диаграмма средней концентрации кальцидиола [25(OH)D], распространенности дефицита [25(OH)D < 20 нг/мл] и достаточного уровня [25(OH)D ≥ 30 нг/мл] витамина D в сыворотке крови населения ХМАО-Югры в возрасте от 11 до 14 лет в течение года в 2020–2022 гг.

Fig. 3. Diagram of the calcidiol [25(OH)D] mean level, prevalence of vitamin D deficiency [25(OH)D < 20 ng/ml] and sufficient level [25(OH)D ≥ 30 ng/ml] in the blood serum of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra population aged 11 to 14 years during the year in the period 2020–2022

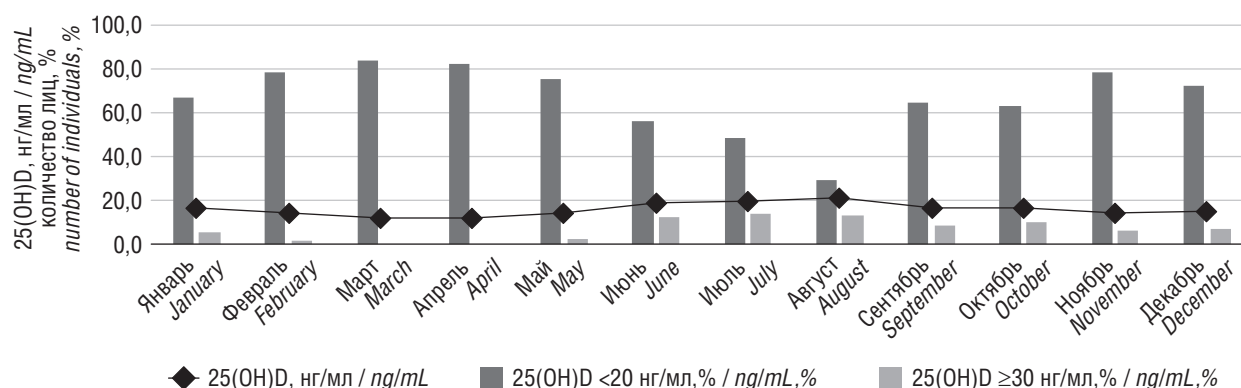


Рис. 4. Диаграмма среднего уровня кальцидиола [25(OH)D], распространенности дефицита [25(OH)D <20 нг/мл] и достаточного уровня [25(OH)D ≥30 нг/мл] витамина D в сыворотке крови населения ХМАО-Югры в возрасте от 18 до 20 лет в течение года в 2020–2022 гг.

Fig. 4. Diagram of the calcidiol [25(OH)D] mean level, prevalence of vitamin D deficiency [25(OH)D <20 ng/ml] and sufficient level [25(OH)D ≥30 ng/ml] in the blood serum of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra population aged 18 to 20 years during the year in the period 2020–2022

цита опускалась до 29,1–56,3%, а в остальное время года колебалась в пределах угрожающих цифр – от 63,2 до 83,7%. Самая высокая распространенность достаточного уровня витамина D наблюдалась в июле–августе (13,6–13,8%), а в марте и апреле ни один человек в возрасте 18–20 лет не имел уровень 25(OH)D в сыворотке крови ≥30 нг/мл, что не может не вызывать озабоченности.

Диаграмма, представленная на рис. 5, типична для возрастных групп 30–70 лет. Ситуация относительно благоприятная: средний уровень кальцидиола не опускался ниже 23,5 нг/мл (в мае), а летом и осенью находился на уровне 27–29 нг/мл, близком к достаточному.

Достаточно неожиданными и внушающими определенный оптимизм являются результаты, иллюстрирующие статус витамина D среди самого пожилого (71–98 лет) населения автономного округа. Если с января по май средний уровень кальцидиола в сыво-

ротке крови пожилых людей колебался вокруг значений 20 нг/мл, то он заметно (до 26 нг/мл) повышался уже в июне, а затем оставался стабильным и относительно высоким (25–27 нг/мл) вплоть до конца декабря. Распространенность дефицита в неблагоприятные периоды находилась на уровне 47,1–56,4%, снижаясь до 23,3–34,3% летом и осенью. Необходимо отметить, что статус витамина D в этой группе населения, традиционно считающейся наиболее уязвимой, был несколько ниже, чем в возрастной группе 61–70 лет в зимний период ($p \leq 0,05$), и не отличался в летний период. Однако в то же время он был гораздо выше, чем у подростков и молодых людей. Так, средняя концентрация 25(OH)D в зимний период у лиц в возрасте старше 70 лет (21,6 нг/мл, $\sigma=10,4$ нг/мл, $n=134$) была существенно выше ($t=6,12$; $p<0,001$), чем у молодых людей в возрасте 18–20 лет (15,3 нг/мл, $\sigma=7,8$ нг/мл, $n=169$). Распространенность дефицита витамина D в зимний

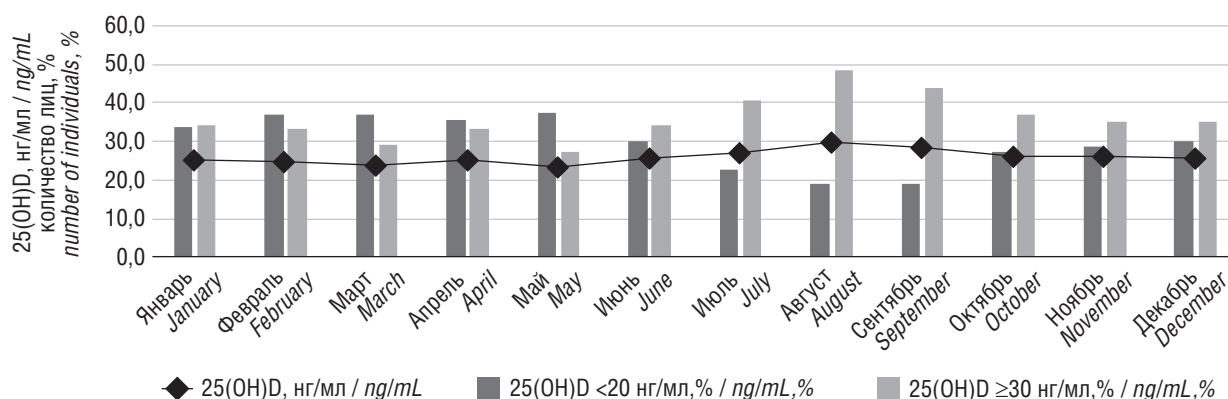


Рис. 5. Диаграмма среднего уровня кальцидиола [25(OH)D], распространенности дефицита [25(OH)D <20 нг/мл] и достаточного уровня [25(OH)D ≥30 нг/мл] витамина D в сыворотке крови населения ХМАО-Югры в возрасте от 31 года до 40 лет в течение года в период 2020–2022 гг.

Fig. 5. Diagram of the calcidiol [25(OH)D] mean level, prevalence of vitamin D deficiency [25(OH)D <20 ng/ml] and sufficient level [25(OH)D ≥30 ng/ml] in the blood serum of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra population aged 31 to 40 years during the year in the period 2020–2022

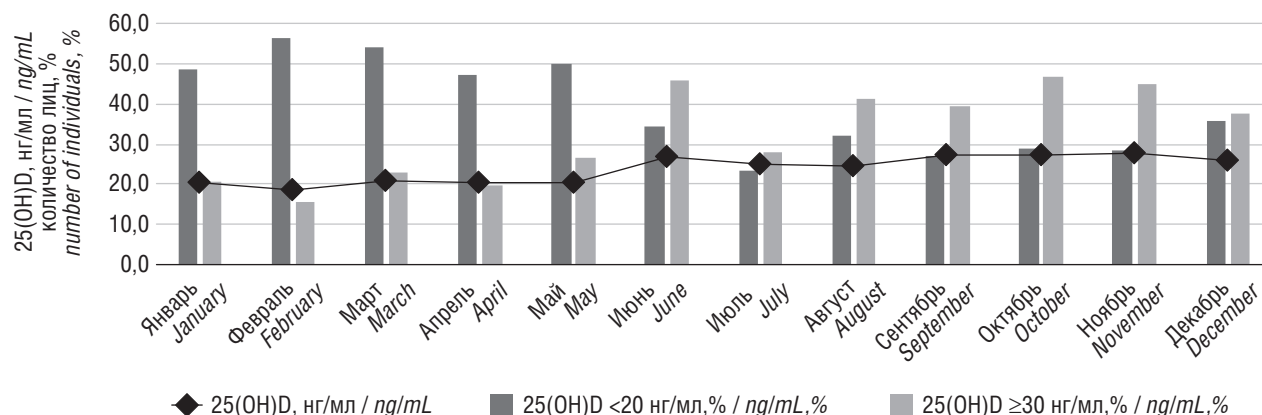


Рис. 6. Диаграмма среднего уровня кальцидиола [25(OH)D], распространенности дефицита [25(OH)D <20 нг/мл] и достаточного уровня [25(OH)D ≥30 нг/мл] витамина D в сыворотке крови населения ХМАО-Югры старше 70 лет в течение года в период 2020–2022 гг.

Fig. 6. Diagram of the calcidiol [25(OH)D] mean level, prevalence of vitamin D deficiency [25(OH)D <20 ng/ml] and sufficient level [25(OH)D ≥30 ng/ml] in the blood serum of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra population over the age of 70 years during the year in the period 2020–2022

период у лиц старше 70 лет оказалась в 1,5 раза ниже ($Z=4,487$, $p<0,001$), чем у лиц в возрасте 18–20 лет, а распространенность достаточного уровня – почти в 5,5 раза выше ($Z=4,881$, $p<0,001$) (см. табл. 1). Аналогичным образом в летний период у лиц в возрасте старше 70 лет средняя концентрация 25(OH)D в крови (25,5 нг/мл, $\sigma=10,62$ нг/мл, $n=131$) была существенно выше ($t=5,59$; $p<0,001$), чем у молодых людей в возрасте 18–20 лет (20,0 нг/мл, $\sigma=7,92$ нг/мл, $n=231$). Распространенность дефицита витамина D в летний период у лиц в возрасте старше 70 лет оказалась также в 1,5 раза ниже ($Z=2,77$, $p=0,004$), чем у лиц 18–20 лет, а достаточный уровень витамина выявлялся в 2,9 раза чаще ($Z=5,506$, $p<0,001$).

Обсуждение

Результаты наших исследований говорят о том, что к группе риска D-гиповитаминоза, не связанной с очевидными патологиями, в первую очередь относятся подростки в возрасте от 11 до 17 лет.

Зарубежный опыт свидетельствует о низком среднем уровне в крови 25(OH)D и высокой распространенности дефицита витамина D среди подростков на севере Европы. Исследование J. Öberg и соавт., проведенное на севере Норвегии среди старшеклассников ($n=589$, 16–18 лет), показало, что доля подростков с уровнем 25(OH)D в сыворотке крови <20 нг/мл достигала 77%, а доля подростков с концентрацией 25(OH)D <12 нг/мл составляла до 40,9%, что говорит о распространенности низкого уровня витамина D в этой возрастной группе [12]. В работе K.D. Cashman и соавт. использовались данные репрезентативного Национального обследования подростков Ирландии ($n=428$, 13–18 лет) в 2019–2020 гг. Результаты показали, что у 21,7% подростков уровень сывороточного 25(OH)D был ниже

12 нг/мл, а еще у 33,1% – ниже 20 нг/мл, что также свидетельствует о высокой распространенности глубокого дефицита и дефицита витамина D в сыворотке крови среди ирландских подростков [13]. О больших проблемах с обеспеченностью витамином D среди подростков также заявляет Междисциплинарная группа экспертов Великобритании [14]. В заключении Итальянского педиатрического общества и Итальянского общества профилактической и социальной педиатрии совместно с Итальянской федерацией педиатров говорится о том, что проблема дефицита витамина D среди подростков характерна не только для северной, но и для южной части Европы [15].

Обзор результатов клинических исследований зарубежных и отечественных авторов не оставляет сомнений в том, что в подростковом возрасте имеют место самый низкий уровень и самая высокая распространенность дефицита витамина D. Результаты наших расчетов показывают, что в ХМАО-Югре статус витамина D у подростков ниже, чем у представителей возрастной группы старше 70 лет. Объяснение этого феномена, видимо, следует искать в особенностях характерного для этого возраста процесса полового созревания организма, которое сопровождается интенсивным увеличением костной массы и ростом индекса массы тела [10]. Совершенно очевидно, что негативную роль в сниженном статусе витамина D также играет гиподинамия, связанная с чрезмерным увлечением подростков и молодых людей гаджетами и девайсами, а также нездоровые пищевые привычки, потребление фастфуда, мода на редукционные диеты и пр., которые следует ограничивать, увеличивая потребление жирной морской рыбы и других видов пищи, богатой витамином D, а также обогащенной пищевой продукции.

Ко второй, ярко выраженной группе риска, как показали расчеты, относятся молодые жители автономного

округа в возрасте 17–20 и 21–24 лет, что также находит подтверждение как в отечественной, так и в зарубежной литературе.

Т.Н. Маркова и соавт. провели обследование студентов высшего учебного заведения ($n=168$, $20,6\pm 0,1$ года) и установили, что оптимальная концентрация 25-гидроксивитамина D выявлялась только у 6,4% студентов [16]. Метаанализ мировой базы данных о статусе витамина D среди работников медицинских учреждений, проведенный D. Sowa и соавт., показал, что самая высокая распространенность дефицита витамина D среди медицинских работников была у студентов медицинских вузов (72%) и ординаторов (65%). Среди практикующих врачей концентрация $25(\text{OH})\text{D} < 20$ нг/мл наблюдалась в 46% случаев, среди других медицинских работников – в 44% случаев и у 43% медсестер. У ординаторов и студентов были самые низкие средние концентрации $25(\text{OH})\text{D}$ – соответственно $17,6\pm 3,3$ и $18,1\pm 2,2$ нг/мл. Средний уровень $25(\text{OH})\text{D}$ у практикующих врачей составлял $22,0\pm 2,3$ нг/мл и достоверно отличался от показателей как ординаторов ($p < 0,0001$), так и студентов ($p < 0,0001$). У медсестер и других медицинских работников уровень $25(\text{OH})\text{D}$ составлял соответственно $25,4\pm 1,7$ и $25,2\pm 4,4$ нг/мл [17].

Вполне вероятно, что феномен низкого уровня витамина D в сыворотке крови у молодых людей может объясняться не только физиологическими и биологическими причинами, но и социально-экономическими факторами, свойственными периоду студенческой неустойчивости.

Традиционно считается, что уровень витамина D в сыворотке крови снижается, а распространенность его дефицита увеличивается у пожилых людей. Пожилые люди подвержены риску дефицита витамина D, поскольку с возрастом меняется как выработка, так и метаболизм витамина D [18]. Перекрестное исследование Д.В. Смирновой и соавт. показало, что в Российской Федерации средние концентрации $25(\text{OH})\text{D}$ были самыми низкими среди пожилых людей [7]. Изучение статуса витамина D среди польских пожилых людей старше 65 лет ($n=3472$) показало, что средняя концентрация $25(\text{OH})\text{D}$ в сыворотке крови составила 20,5 нг/мл, а значения ниже 30 нг/мл были обнаружены у 86,5% субъектов исследования [5]. Результаты обсервационных исследований в домах престарелых свидетельствуют о высокой распространенности дефицита витамина D, достигающего 94% в некоторых когортах, что связывается с недостаточным временем пребывания на солнце, плохим функционированием почек, малым потреблением витамина D с пищей и в качестве добавок [19].

Результаты наших расчетов показали, что у жителей ХМАО-Югры старше 70 лет (средний возраст $75,1\pm 4,4$ года; 71–98 лет) в любое время года статус витамина D существенно выше, чем у подростков и молодых людей.

На наш взгляд, объяснение относительно высокой концентрации витамина D в сыворотке крови пожилых

людей можно найти в работе О. Вогеска и соавт. Целью пилотного исследования было сравнение времени, проведенного на открытом воздухе, поведения во время отпуска и использования солнцезащитного крема/одежды, а также потребления витамина D с пищей у молодых (18–40 лет) и пожилых (65–89 лет) лиц в Великобритании, вместе с оценкой у них статуса витамина D. Было обнаружено, что лица старшей группы, как правило, проводили больше времени на свежем воздухе в течение рабочей недели летом, брали больше летних и зимних отпусков каждый год, дольше отдыхали зимой при равном использовании солнцезащитных средств по сравнению с молодыми взрослыми. У пожилых людей суточное поступление витамина D с пищей было значительно выше (4,0 мкг), чем у молодых людей (2,4 мкг). Средняя концентрация $25(\text{OH})\text{D}$ в сыворотке крови зимой у пожилых (22,8 нг/мл) была выше, чем у молодых (17,3 нг/мл), хотя статистически значимых различий между показателями не выявлено [20].

Заключение

Данное исследование имеет ограничения, связанные с тем, что в нем использованы обезличенные данные анализов сыворотки крови населения, содержащие информацию только о возрасте, поле и дате сдачи анализа, тем не менее полученные результаты позволяют получить достаточно репрезентативное представление о сезонной динамике статуса витамина D у различных возрастных групп населения в ХМАО-Югре в 2020–2022 гг.

В ХМАО-Югре самая высокая концентрация $25(\text{OH})\text{D}$ в сыворотке крови, которая в течение года не опускалась ниже 30 нг/мл, наблюдалась у детей до 1 года. У детей в возрасте от 1 года до 2 лет уровень кальцидиола в сыворотке крови в среднем существенно не отклонялся от референсных значений. По мере увеличения возраста детей в каждой возрастной группе уровень кальцидиола в сыворотке крови статистически значимо был ниже ($p < 0,0001$), а распространенность дефицита витамина D нарастала, что неудивительно, так как практически все продукты для питания детей раннего возраста обогащены витаминами, а при переходе на общий стол к 3 годам количество продуктов детского питания, содержащих витамины, в рационе ребенка резко снижается. Наименьшая концентрация кальцидиола в сыворотке крови и наибольшая распространенность дефицита среди населения ХМАО-Югры в 2020–2022 гг. наблюдалась у подростков в возрасте от 11 до 17 лет и молодых людей в возрасте от 18 до 24 лет, после чего статус витамина D плавно возрастал.

У жителей ХМАО-Югры среднего и пожилого возраста (30–70 лет) на протяжении всех сезонов средний уровень кальцидиола не опускался ниже 22 нг/мл, а летом и осенью находился на уровне 26–29 нг/мл, близком к достаточному. У жителей старше 70 лет во все сезоны

статус витамина D был существенно выше, чем у подростков в возрасте 15–17 лет и молодых людей в возрасте 18–20 лет.

Полученные результаты позволяют с определенной осторожностью наметить периоды времени, в которые представителям разных возрастных групп следует принимать витамин D для поддержания оптимального уровня 25(ОН)D в сыворотке крови.

В частности, людям среднего и пожилого возраста, если они не относятся к группам риска (беременные, лица с некоторыми хроническими заболеваниями,

с высоким индексом массы тела, с мальабсорбцией, с нарушением метаболизма в почках и печени, др.), может требоваться дополнительный прием витамина D в умеренных дозах только в период выявления наименьшей концентрации 25(ОН)D в сыворотке крови с декабря по май. Подростки и молодые люди от 11 до 24 лет нуждаются в периодическом скрининге уровня 25(ОН)D в сыворотке крови в течение всего года, особенно в зимние и весенние месяцы, и приеме витамина D в дозах, обеспечивающих поддержание кальцидиола в сыворотке крови на уровне 30 нг/мл.

Сведения об авторах

Кривошеев Владимир Васильевич (Vladimir V. Krivosheev) – доктор технических наук, профессор, ведущий аналитик АУ «Технопарк высоких технологий» (Ханты-Мансийск, Российская Федерация)

E-mail: vvk_usu@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8125-0890>

Козловский Илья Вячеславович (Ilya V. Kozlovsky) – врач высшей квалификации, БУ «Окружная клиническая больница» (Ханты-Мансийск, Российская Федерация)

E-mail: ilya1537@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8683-7319>

Никитина Лидия Юрьевна (Lidiya Yu. Nikitina) – доктор медицинских наук, врач-методист отдела анализа образовательных программ и научных исследований Национального медицинского исследовательского центра по профилю «пульмонология» ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (Москва, Российская Федерация)

E-mail: Lidiya_nikitina@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7722-5457>

Федоров Андрей Валерьевич (Andrey V. Fedorov) – начальник управления развития проектной деятельности АУ «Технопарк высоких технологий» (Ханты-Мансийск, Российская Федерация)

E-mail: a.fedorov@tp86.ru

<https://orcid.org/0009-0001-1770-3349>

Литература

1. Пигарова Е.А., Рожинская Л.Я., Катамадзе Н.Н., Поваляева А.А., Трошина Е.А. Распространенность дефицита и недостаточности витамина D среди населения, проживающего в различных регионах Российской Федерации: результаты 1-го этапа многоцентрового поперечного рандомизированного исследования // Остеопороз и остеопатия. 2020. Т. 23, № 4. С. 4–12. DOI: <https://doi.org/10.14341/osteol2701>
2. Суплотова Л.А., Авдеева В.А., Пигарова Е.А., Рожинская Л.Я., Трошина Е.А. Дефицит витамина D в России: первые результаты регистрового неинтервенционного исследования частоты дефицита и недостаточности витамина D в различных географических регионах страны // Проблемы эндокринологии. 2021. Т. 67, № 2. С. 84–92. DOI: <https://DOI.org/10.14341/probl12736>
3. Суплотова Л.А., Авдеева В.А., Рожинская Л.Я. Статус витамина D у жителей Тюменского региона // Ожирение и метаболизм 2019. Т. 16, № 2. С. 69–74. DOI: <https://www.omet-endojournals.ru/omet/article/view/10162#tab1>
4. Klingberg E., Oleröd G., Konar J., Petzold M., Hammarsten O. Seasonal variations in serum 25-hydroxyvitamin D levels in a Swedish cohort // Endocrine. 2015. Vol. 49, N 3. P. 800–808. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12020-015-0548-3>
5. Wyskida M., Owczarek A., Szybalska A., Brzozowska A., Szerbowska I., Wiecezowska-Tobis K. et al. Socio-economic determinants of vitamin D deficiency in the older Polish population: results from the PolSenior study // Public Health Nutr. 2018. Vol. 21, N 11. P. 1995–2003. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1368980017003901>
6. Osredkar J., Vicić V., Hribar M., Benedik E., Siuka D., Jerin A. et al. Seasonal variation of total and bioavailable 25-hydroxyvitamin D [25(ОН)D] in the healthy adult Slovenian population // Acta Biochim. Pol. 2024. Vol. 71. Article ID 13108. DOI: <https://doi.org/10.3389/abp.2024.13108>
7. Smirnova D.V., Rehm C.D., Fritz R. D., Kutepova I.S., Soshina M.S., Berezhnaya Y.A. Vitamin D status of the Russian adult population from 2013 to 2018 // Sci. Rep. 2022. Vol. 12, N 1. Article ID 16604. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21221-4>
8. Нурлыгаянов Р.З., Сыртланова Э.Р. Распространенность дефицита витамина D у лиц старше 50 лет, постоянно проживающих в республике Башкортостан, в период минимальной инсоляции // Остеопороз и остеопатия. 2012. Т. 15, № 3. С. 7–9. DOI: <https://doi.org/10.14341/osteo201237-9>
9. Нурлыгаянов Р.З., Сыртланов Э.Р., Минасов Т.Б., Борисов И.В. Уровень витамина D у лиц старше 50 лет, постоянно проживающих в республике Башкортостан, в период максимальной инсоляции // Остеопороз и остеопатия. 2015. Т. 18, № 1. С. 7–9. DOI: <https://doi.org/10.14341/osteo201517-9>
10. Кривошеев В.В., Никитина Л.Ю., Козловский И.В., Федоров А.В. Концентрация витамина D в сыворотке крови женщин и мужчин в Уральском федеральном округе // Санитарный врач. 2024. № 3. С. 174–193. DOI: <https://doi.org/10.33920/med-08-2403-02>
11. Мельниченко Г.А., Намазова-Баранова Л.С., Громова О.А., Драпкина О.М., Каронова Т.Л., Куликова К.С. и др. Профилактика и лечение дефицита витамина D: выбор оптимального подхода. // Вопросы современной педиатрии. 2021. Т. 20, № 4. С. 338–345. DOI: <https://doi.org/10.15690/vsp.v20i4.2246>
12. Öberg J., Jorde R., Almas B., Nielsen C.S., Gerds T.A., Cashman K.D. et al. Vitamin D status during adolescence and the impact of lifestyle changes: 2 years' follow-up from the fit futures study // Clin. Endocrinol. Metab. 2024. Vol. 109, N 3. P. e1029–e1039. DOI: <https://doi.org/10.1210/clinem/dgad655>
13. Cashman K.D., Kehoe L., Kearney J., McNulty B., Walton J., Flynn A. Adequacy of calcium and vitamin D nutritional status in a nationally representative sample of Irish teenagers aged 13–18 years // Eur. J. Nutr. 2022. Vol. 61, N 8. P. 4001–4014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00394-022-02939-3>
14. Buttriss J.L., Lanham-New S.A., Steenson S., Levy L., Swan G.E., Darling A.L. et al. Implementation strategies for improving vitamin D

- status and increasing vitamin D intake in the UK: current controversies and future perspectives: proceedings of the 2nd Rank Prize Funds Forum on vitamin D // *Br. J. Nutr.* 2022. Vol. 127, N 10. P. 1567–1587. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114521002555>
15. Saggese G., Vierucci F., Prodam F., Cardinale F., Cetin I., Chiappini E. et al. Vitamin D in pediatric age: consensus of the Italian Pediatric Society and the Italian Society of Preventive and Social Pediatrics, jointly with the Italian Federation of Pediatricians // *Ital. J. Pediatr.* 2018. Vol. 44, N 1. P. 51. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13052-018-0488-7>
 16. Маркова Т.Н., Марков Д.С., Маркелова Т.Н., Нигматуллина С.Р., Баимкина Э.В., Борисова Л.В. и др. Распространенность дефицита витамина D и факторов риска остеопороза у лиц молодого возраста // *Вестник Чувашского университета*. 2012. № 3. С. 441–445.
 17. Sowah D., Fan X., Dennett L., Hagtvedt R., Straube S. Vitamin D levels and deficiency with different occupations: a systematic review // *BMC Public Health*. 2017. Vol. 17, N 1. P. 519. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4436-z>
 18. Giustina A., Bouillon R., Dawson-Hughes B., Ebeling P.R., Lazaretti-Castro M. et al. Vitamin D in the older population: a consensus statement // *Endocrine*. 2023. Vol. 79, N 1. P. 31–44. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12020-022-03208-3>
 19. Feehan O., Magee P.J., Pourshahidi L.K., Armstrong D.J., McSorley E.M. Vitamin D deficiency in nursing home residents: a systematic review // *Nutr. Rev.* 2023. Vol. 81, N 7. P. 804–822. DOI: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuac091>
 20. Borecka O., Farrar M.D., Osman J.E., Rhodes L.E., Webb A.R. Older adults who spend more time outdoors in summer and have higher dietary vitamin D than younger adults can present at least as high vitamin D status: a pilot study // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021. Vol. 18, N 7. P. 3364. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18073364>

References

1. Pigarova E.A., Rozhinskaya L.Ya., Katamadze N.N., Povalyaeva A.A., Troshina E.A. Prevalence of vitamin D deficiency and insufficiency among the population living in different regions of the Russian Federation: results of the 1st stage of a multicenter transverse randomized trial. *Osteoporoz i osteopatii* [Osteoporosis and Osteopathies]. 2020; 23 (4): 4–12. DOI: <https://doi.org/10.14341/osteol2701> (in Russian)
2. Suplotova L.A., Avdeeva V.A., Pigarova E.A., Rozhinskaya L.Ya., Troshina E.A. Vitamin D deficiency in Russia: the first results of a registry-based non-interventional study of the frequency of vitamin D deficiency and insufficiency in different geographical regions of the country. *Problemy endokrinologii* [Problems of Endocrinology]. 2021; 67 (2): 84–92. DOI: <https://doi.org/10.14341/probl12736> (in Russian)
3. Suplotova L.A., Avdeeva V.A., Rozhinskaya L.Y. Status of vitamin D in the inhabitants of the Tyumen region. *Ozhirenie i metabolism* [Obesity and Metabolism]. 2019; 16 (2): 69–74. DOI: <https://www.omet-endojournals.ru/omet/article/view/10162#tab1> (in Russian)
4. Klingberg E., Oleröd G., Konar J., Petzold M., Hammarsten O. Seasonal variations in serum 25-hydroxyvitamin D levels in a Swedish cohort. *Endocrine*. 2015; 49 (3): 800–8. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12020-015-0548-3>
5. Wyskida M., Owczarek A., Szybalska A., Brzozowska A., Szczerbowska I., Wiczerowska-Tobis K., et al. Socio-economic determinants of vitamin D deficiency in the older Polish population: results from the PolSenior study. *Public Health Nutr.* 2018; 21 (11): 1995–2003. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1368980017003901>
6. Osredkar J., Vičič V., Hribar M., Benedik E., Siuka D., Jerin A., et al. Seasonal variation of total and bioavailable 25-hydroxyvitamin D [25(OH)D] in the healthy adult Slovenian population. *Acta Biochim Pol.* 2024; 71: 13108. DOI: <https://doi.org/10.3389/abp.2024.13108>
7. Smirnova D.V., Rehm C.D., Fritz R. D., Kutepova I.S., Soshina M.S., Berezhnaya Y.A. Vitamin D status of the Russian adult population from 2013 to 2018. *Sci Rep.* 2022; 12 (1): 16604. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21221-4>
8. Nurlygayanov R.Z., Syrtlanova E.R. Prevalence of vitamin D deficiency in people over 50 years old residing in Republic of Bashkortostan in periods of low insolation. *Osteoporoz i osteopatii* [Osteoporosis and Osteopathies]. 2012; 15 (3): 7–9. DOI: <https://doi.org/10.14341/osteol21237-9> (in Russian)
9. Nurlygayanov R.Z., Syrtlanov E.R., Minasov T.B., Borisov I.V. The level of vitamin D in people older than 50 years residing in the Republic of Bashkortostan in the periods of maximum insolation. *Osteoporoz i osteopatii* [Osteoporosis and Osteopathies]. 2015; 18 (1): 7–9. DOI: <https://doi.org/10.14341/osteol201517-9> (in Russian)
10. Krivosheev V.V., Nikitina L.Yu., Kozlovsky I.V., Fedorov A.V. Concentration of vitamin D in the blood serum of women and men in the Ural Federal District. *Sanitarniy vrach* [Sanitary Doctor]. 2024; (3): 174–93. DOI: <https://doi.org/10.33920/med-08-2403-02> (in Russian)
11. Mel'nichenko G.A., Namazova-Baranova L.S., Gromova O.A., Drapkina O.M., Karonova T.L., Kulikova K.S., et al. Prevention and treatment of vitamin D deficiency: choosing the optimal approach. *Voprosy sovremennoy pediatrii* [Problems of Modern Pediatrics]. 2021; 20 (4): 338–45. DOI: <https://doi.org/10.15690/vsp.v20i4.2246> (in Russian)
12. Öberg J., Jorde R., Almas B., Nielsen C.S., Gerds T.A., Cashman K.D., et al. Vitamin D status during adolescence and the impact of lifestyle changes: 2 years' follow-up from the fit futures study. *Clin Endocrinol Metab.* 2024; 109 (3): e1029–39. DOI: <https://doi.org/10.1210/clinem/dgad655>
13. Cashman K.D., Kehoe L., Kearney J., McNulty B., Walton J., Flynn A. Adequacy of calcium and vitamin D nutritional status in a nationally representative sample of Irish teenagers aged 13–18 years. *Eur J Nutr.* 2022; 61 (8): 4001–14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00394-022-02939-3>
14. Buttriss J.L., Lanham-New S.A., Steenson S., Levy L., Swan G.E., Darling A.L., et al. Implementation strategies for improving vitamin D status and increasing vitamin D intake in the UK: current controversies and future perspectives: proceedings of the 2nd Rank Prize Funds Forum on vitamin D. *Br J Nutr.* 2022; 127 (10): 1567–87. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114521002555>
15. Saggese G., Vierucci F., Prodam F., Cardinale F., Cetin I., Chiappini E., et al. Vitamin D in pediatric age: consensus of the Italian Pediatric Society and the Italian Society of Preventive and Social Pediatrics, jointly with the Italian Federation of Pediatricians. *Ital J Pediatr.* 2018; 44 (1): 51. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13052-018-0488-7>
16. Markova T.N., Markov D.S., Markelova T.N., Nigmatullina S.R., Baimekina E.V., Borisova L.V., et al. Prevalence of vitamin D deficiency and osteoporosis risk factors in young people. *Vestnik Chuvashskogo universiteta* [Bulletin of the Chuvash University]. 2012; (3): 441–5. (in Russian)
17. Sowah D., Fan X., Dennett L., Hagtvedt R., Straube S. Vitamin D levels and deficiency with different occupations: a systematic review. *BMC Public Health*. 2017; 17 (1): 519. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4436-z>
18. Giustina A., Bouillon R., Dawson-Hughes B., Ebeling P.R., Lazaretti-Castro M., et al. Vitamin D in the older population: a consensus statement. *Endocrine*. 2023; 79 (1): 31–44. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12020-022-03208-3>
19. Feehan O., Magee P.J., Pourshahidi L.K., Armstrong D.J., McSorley E.M. Vitamin D deficiency in nursing home residents: a systematic review. *Nutr Rev.* 2023; 81 (7): 804–22. DOI: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuac091>
20. Borecka O., Farrar M.D., Osman J.E., Rhodes L.E., Webb A.R. Older adults who spend more time outdoors in summer and have higher dietary vitamin D than younger adults can present at least as high vitamin D status: a pilot study. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 18 (7): 3364. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18073364>

Для корреспонденции

Тышко Надежда Валерьевна – доктор медицинских наук,
заведующий лабораторией оценки безопасности
биотехнологий и новых источников пищи
ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
Адрес: 109240, Российская Федерация, г. Москва,
Устьинский проезд, д. 2/14
Телефон: (495) 698-53-64
E-mail: tn timer@ion.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8532-5327>

Тышко Н.В., Тимошенко К.А., Шестакова С.И., Зотов В.А.

Управление микронутриентным составом энтомопродукции посредством оптимизации режима кормления съедобных насекомых

Management with micronutrient
composition of entomoproducts
by edible insects' feeding
schedule optimisation

Tyshko N.V., Timoshenko K.A.,
Shestakova S.I., Zotov V.A.

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

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

*Тренд на переориентацию современной пищевой промышленности в направлении производства продукции с повышенной пищевой плотностью, обогащенной в том числе полноценным белком, приводит к необходимости расширения сырьевой базы и поиску нетрадиционных источников протеина, среди которых весьма перспективным ресурсом считаются насекомые. Видовой состав насекомых, пищевое использование которых одобрено в странах, ранее не имевших традиции использования такого сырья, представлен повсеместно распространенными синантропными организмами, сопровождавшими человечество на протяжении тысячелетий – мучным хрущачом (*Tenebrio molitor*), домашним сверчком (*Acheta domestica*) и др. В частности, *A. domestica* относится к полифагам, питающимся субстратом как растительного, так и животного происхождения, продуцируя на его основе собственный полноценный белок. Исходя из результатов собственных исследований и анализа данных литературы*

Финансирование. Научно-исследовательская работа по подготовке рукописи проведена при финансировании Российского научного фонда (проект № 20-16-00083-П), <https://www.rscf.ru/project/23-16-45007/>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Тышко Н.В.; пробоподготовка образцов – Шестакова С.И.; проведение экспериментальных исследований – Зотов В.А.; сбор и обработка данных – Тимошенко К.А.; написание текста – Тышко Н.В., Тимошенко К.А.; редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Тышко Н.В., Тимошенко К.А., Шестакова С.И., Зотов В.А. Управление микронутриентным составом энтомопродукции посредством оптимизации режима кормления съедобных насекомых // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 1. С. 100–109. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-100-109>

Статья поступила в редакцию 13.12.2024. **Принята в печать** 03.02.2025.

Funding. The research was funded by the Russian Science Foundation (Project №20-16-00083-P), <https://www.rscf.ru/project/23-16-45007/>

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

Contribution. Concept and design of the study – Tyshko N.V.; sample preparation – Shestakova S.I.; conducting experimental research – Zotov V.A.; collecting and processing the material – Timoshenko K.A.; text writing – Tyshko N.V., Timoshenko K.A.; editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Tyshko N.V., Timoshenko K.A., Shestakova S.I., Zotov V.A. Management with micronutrient composition of entomoproducts by edible insects' feeding schedule optimization. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (1): 100–9. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-100-109> (in Russian)

Received 13.12.2024. **Accepted** 03.02.2025.

химический состав членистоногих, потенциально используемых в пищевых целях, требует тщательного контроля из-за возможного риска избыточного содержания минеральных компонентов. В качестве методов управления этим риском можно рассматривать как регулирование состава корма, так и режим кормления насекомых с учетом их возраста и видовой принадлежности.

Цель работы – изучение влияния режима кормления на микронутриентный (минеральный) состав биомассы домового сверчка *A. domesticus*.

Материал и методы. Для работы использовали домового сверчка *A. domesticus* (ООО «ОНТО», РФ). В 8 образцах насекомых разных стадий онтогенеза, полученных при разных режимах кормления, атомно-абсорбционным методом определяли содержание калия, натрия, кальция, магния, марганца, кобальта, хрома, никеля, железа, меди, цинка, свинца и кадмия. Оценку элементного состава биомассы сверчка (возраст 6-й линьки и имаго), полученного при разных режимах кормления, проводили с точки зрения возможности использования насекомых в качестве источника соответствующих минеральных веществ, для чего содержание элемента в биомассе сравнивали с нормами физиологических потребностей для человека.

Результаты. В образцах насекомых, содержащихся в условиях стабильной подачи корма, концентрации кальция, железа, меди, цинка и марганца увеличивались по мере роста насекомого, достигая максимальной концентрации на этапе 6-й линьки и снижаясь при достижении возраста имаго. На всех стадиях роста насекомых выдерживание без корма в течение 24 ч приводило к значимому снижению концентрации меди и цинка на 45%, кальция и марганца на 33%, железа на 15%. Не выявлено влияния режима кормления насекомых на содержание в биомассе калия, натрия, магния и хрома, а также свинца и кадмия.

Закключение. Домовые сверчки могут являться источником макро- и микроэлементов в рационе человека, причем существует риск избыточного поступления минеральных элементов при использовании сырья из *A. domesticus* в пищу. Несмотря на то что результаты проведенных исследований свидетельствуют о возможности корректировки элементного состава биомассы сверчка изменением рецептуры кормов и режимов кормления, при разработке гигиенических (санитарно-химических) нормативов для новых объектов технического регулирования – сырья и пищевой продукции, полученных из насекомых, необходимо учитывать вариабельность минерального состава и включить в перечень контролируемых показателей марганец, медь, цинк и хром.

Ключевые слова: пищевая продукция нового вида, полученная из насекомых; оценка безопасности; элементный состав; макроэлемент; микроэлемент; альтернативные источники белка; энтомопротеин

*The trend to the modern food industry's reorientation into the manufacturing of food with increased nutritional density, enriched, among other things, with complete protein, leads to the need to expand the raw material base and search for non-traditional protein sources, among which insects are considered to be a very promising resource. The insects species composition, the food use of which is approved in countries that previously had no tradition of using such raw materials, is represented by ubiquitous synanthropic organisms that have accompanied mankind for thousands of years – the mealybug (*Tenebrio molitor*), house cricket (*A. domesticus*) and others. In particular, *A. domesticus* belongs to polyphagous species that feed both plant and animal substrates, producing their own complete protein. Based on the results of our own research and analysis of literature data, the chemical composition of arthropods potentially used for food purposes requires careful control due to the possible risk of excessive content of mineral components. Both regulation of feed composition and feeding schedule of insects, taking into consideration their age and species affiliation, can be considered as risk management methods.*

The purpose of the research was the investigation of the influence of feeding schedule on the micronutrient (mineral) composition of house cricket *A. domesticus* biomass.

Material and methods. The *A. domesticus* house cricket produced by ONTO LLC was used for this research. Elemental analysis of 8 insect samples was carried out. The content of potassium, sodium, calcium, magnesium, manganese, cobalt, chromium, nickel, iron, copper, zinc, lead and cadmium in insect biomass samples was determined by atomic absorption spectroscopy. The element composition of cricket biomass (age of the 6th moult and adults) obtained under different feeding schedule was assessed from the view point of the possibility for using insects as a source of relevant mineral substances, for which the element content in biomass was compared with the norms of physiological requirements for humans.

Results. In insect samples kept under conditions of stable feed supply, the content of calcium, iron, copper, zinc and manganese increased with insect growth, reaching a maximum

level at the stage of the 6th moult and decreasing when the adult age was reached. At all stages of insect growth, incubation without food for 24 hours resulted in a 45% decrease in the content of copper and zinc, a 33% decrease in calcium and manganese, and a 15% decrease in iron. No effect of insect feeding schedule on the content of potassium, sodium, magnesium, and chromium, as well as lead and cadmium in biomass was revealed.

Conclusion. House crickets can serve a source of minerals and trace elements in the human diet, and there is a risk of excessive intake of mineral elements when using raw materials from *A. domesticus* in food. In spite of the fact that the results of the conducted studies indicate the possibility of adjusting the elemental composition of cricket biomass by changing the feed formulation and feeding regimes, when developing hygienic (sanitary and chemical) standards for novel objects of technical regulation – raw materials and food derived from insects, it is necessary to take into consideration the variability of mineral composition and include manganese, copper, zinc and chromium in the list of controlled indicators.

Keywords: novel insect-derived food; safety assessment; element composition; mineral; trace element; alternative protein sources; entomoprotein

Популяризация здорового образа жизни и доступность информации о правильном питании привели к значительным изменениям пищевых привычек современного человека, сводящихся к стремлению потреблять меньше углеводов и жиров, соблюдая баланс пищевых веществ и при необходимости повышая долю белка, витаминов и эссенциальных элементов в ежедневном рационе. Такое увеличение спроса на полноценный белок усиливает нагрузку на сельскохозяйственный и производственный сектор промышленности: в соответствии с прогнозами Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций, к 2050 г. потребность в белке может дополнительно увеличиться на 50%, что более чем на 260 млн тонн превышает современные объемы производства пищевого и кормового протеина [1, 2]. Для удовлетворения растущих потребностей в полноценном белке необходимо развивать сырьевую базу, включая альтернативные источники белка, проводить оптимизацию технологических процессов, позволяя в том числе свести к минимуму воздействие на окружающую среду [3–5]. В качестве альтернативного сырья могут использоваться как традиционно потребляемые человеком продукты, подвергнутые технологической обработке, например бобовые и получаемые из них аналоги мяса [6, 7], так и менее привычные продукты, например водоросли, микроорганизмы, насекомые, искусственно культивируемое мясо [8].

Несмотря на то что употребление насекомых в пищу – распространенная практика во многих культурах по всему миру [9], их применение в качестве альтернативного источника пищевого белка остается новым для стран Европы, Северной Америки и Евразийского экономического союза [10]. В этих странах основными источниками белка являются продукты сельскохозяйственной деятельности и морского промысла, в который входит добыча ракообразных, имеющих длительную историю пищевого использования во всем мире. Такие морские и пресноводные деликатесы, как креветки, омары, крабы, раки, являются ближайшими родственниками насекомых и относятся к тому же типу – членистоногие, чья роль в экосистемах весьма обширна и во многом определяется участием в переработке органических

субстратов. Кормовая база большинства членистоногих включает ткани животного и растительного происхождения, обеспечивая стабильность круговорота питательных веществ, в частности азота.

В странах, не имевших опыта пищевого применения насекомых, были выделены несколько видов наземных членистоногих, относящихся к перспективным источникам пищевого белка – желтый мучной червь (*Tenebrio molitor*), перелетная саранча (*Locusta migratoria*) и малый мучной червь (*Alphitobius diaperinus*), а также домашний сверчок (*Acheta domesticus*) [11]. Эти насекомые неприхотливы в условиях содержания и в основном относятся к повсеместно распространенным синантропным видам, сопровождавшим человечество на протяжении тысячелетий. В частности, *A. domesticus* относится к полифагам, питающимся субстратом как растительного, так и животного происхождения, продуцируя на его основе собственный полноценный белок, составляющий 60–75% массы тела насекомого в пересчете на сухой вес, а также может служить источником жирных кислот, минеральных веществ и витаминов [12]. Следует отметить, что минеральный состав насекомых, выращенных в искусственных условиях, может быть оптимизирован с учетом физиологических потребностей человека, ведь макро- и микроэлементы относятся к незаменимым факторам питания, с самыми разнообразными функциями обеспечения поддержания кислотно-щелочного равновесия, регулирования водно-солевого обмена, передачи нервных импульсов, мышечных расслаблений/сокращений. Кроме того, минеральные элементы являются кофакторами ферментативных систем и компонентами сложных белков, участвуют в регуляции клеточного метаболизма и должны постоянно поступать в организм с пищей и водой [13].

Кроме высокой пищевой ценности, можно отметить высокую скорость роста *A. domesticus*. Культивирование сверчка до взрослой особи занимает примерно 2 мес от вылупления и включает 3 стадии развития: яйцо, нимфу и имаго (взрослое насекомое). В отличие от личиночной стадии, стадия нимфы сходна со взрослыми особями по внешним признакам, но отличается от них меньшими размерами, недоразвитым половым аппара-

Таблица 1. Характеристика образцов *Acheta domesticus*Table 1. Characteristics of *Acheta domesticus* samples

Номер образца Sample number	Стадия роста Growth stage	Средняя масса одного насекомого, мг Average weight per insect, mg	Режим кормления Feeding schedule
1	2-я линька / The 2 nd molt	119±10	Выдерживание без корма в последние 24 ч Unfed period for last 24 h
2	4-я линька / The 4 th molt	175±10	
3	6-я линька / The 6 th molt	334±14	
4	Имаго / Imago	427±12	
5	2-я линька / The 2 nd molt	141±10	Стабильная подача корма на протяжении всего срока выращивания Constant feed supply throughout the entire rearing period
6	4-я линька / The 4 th molt	203±10	
7	6-я линька / The 6 th molt	358±15	
8	Имаго / Imago	452±12	

том и крыльями. Метаморфоза нимфы в имаго проходит за 9–11 линек в зависимости от условий содержания и корма. Продолжительность жизни взрослой особи сверчка обычно составляет 3 мес. В пищевых целях могут быть использованы как взрослые насекомые (имаго), так и подростки до 6–9-й линьки (предимаго), все еще не достигшие по размеру взрослой особи, но содержащие меньшее количество хитина [14, 15].

Промышленное разведение домашнего сверчка предполагает использование специальных ферм, где в контролируемых условиях выращивают селекционированные популяции насекомых. В помещениях, где содержатся сверчки, поддерживаются стабильные температура и влажность, при этом сами насекомые находятся в специализированных контейнерах и разделены по стадиям развития. После достижения *A. domesticus* нужного возраста насекомых подвергают бланшированию, в том числе для обеспечения микробиологической безопасности, и конвекционной сушке. Далее биомасса сверчка проходит технологическую переработку, направленную на измельчение и/или получение отдельных фракций, таких как белковые концентраты и жиры [16, 17].

Выращивание насекомых таким методом позволяет получать биомассу, элементный состав которой может зависеть от нескольких факторов, включая состав корма и взаимодействие между его компонентами, влияющие на пищеварение и доступность элементов, а также вид насекомых и стадию роста, при этом исключаются факторы окружающей среды, такие как уровни загрязнения или естественные концентрации в зоне обитания [18]. Имеющиеся в доступной литературе данные по исследованию химического состава и содержания микронутриентов показывают, что состав *A. domesticus* не вызывает опасений с точки зрения аккумуляции вредных веществ [11, 19]. При сравнении химического состава насекомых с привычными источниками белка было показано, что домашние сверчки *A. domesticus* и перелетная саранча *L. migratoria* содержат схожие количества цинка и большее количество железа по сравнению с мясом курицы, свининой и говядиной, а концентрация железа и цинка в мучном хрущак *T. molitor* выше, чем в мясе курицы и свинине, но ниже, чем в говядине [20]. При этом присутствие одних минеральных примесей может усиливать

накопление других, например увеличенное содержание селена в корме *A. domesticus*, приводило к усилению накопления железа и алюминия [19–22].

Исходя из результатов собственных исследований и анализа данных литературы, химический состав членистоногих, потенциально используемых в пищевых целях, требует тщательного контроля из-за возможного риска избыточного содержания минеральных компонентов. Для этого в первую очередь требуется регулировать состав корма, учитывать вид и фазу роста насекомого. При работе с сельскохозяйственными животными влияние рациона и условий содержания частично снижается за счет возможности избирательного получения частей туши, используемых в пищу, без содержимого желудочно-кишечного тракта, что не доступно при работе с насекомыми. Однако избавить насекомых от остатков корма можно альтернативным методом – путем введения этапа выдержки без корма в течение ограниченного времени перед убоем.

Цель данного исследования – изучение влияния режима кормления на микронутриентный (минеральный) состав биомассы домашнего сверчка *A. domesticus*.

Материал и методы

Для работы использовали домашнего сверчка *A. domesticus* (ООО «ОНТО», РФ). Был проведен элементный анализ 8 образцов насекомых, из которых 1–4-й образцы были получены после 24 ч выдерживания без корма перед убоем, 5–8-й образцы – после стабильной подачи корма. Образцы были отобраны на 4 этапах взросления исследуемых насекомых: в возрасте 2, 4, 6-й линьки и взрослых особей (имаго). Характеристика образцов приведена в табл. 1. Насекомых содержали в одинаковых условиях, включая состав корма. Отобраные образцы сверчка замораживали и гомогенизировали перед анализом.

Содержание калия, натрия, кальция, магния, марганца, кобальта, хрома и никеля в образцах биомассы насекомых определяли в 3 повторностях по Р 4.1.1672-03 «Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок

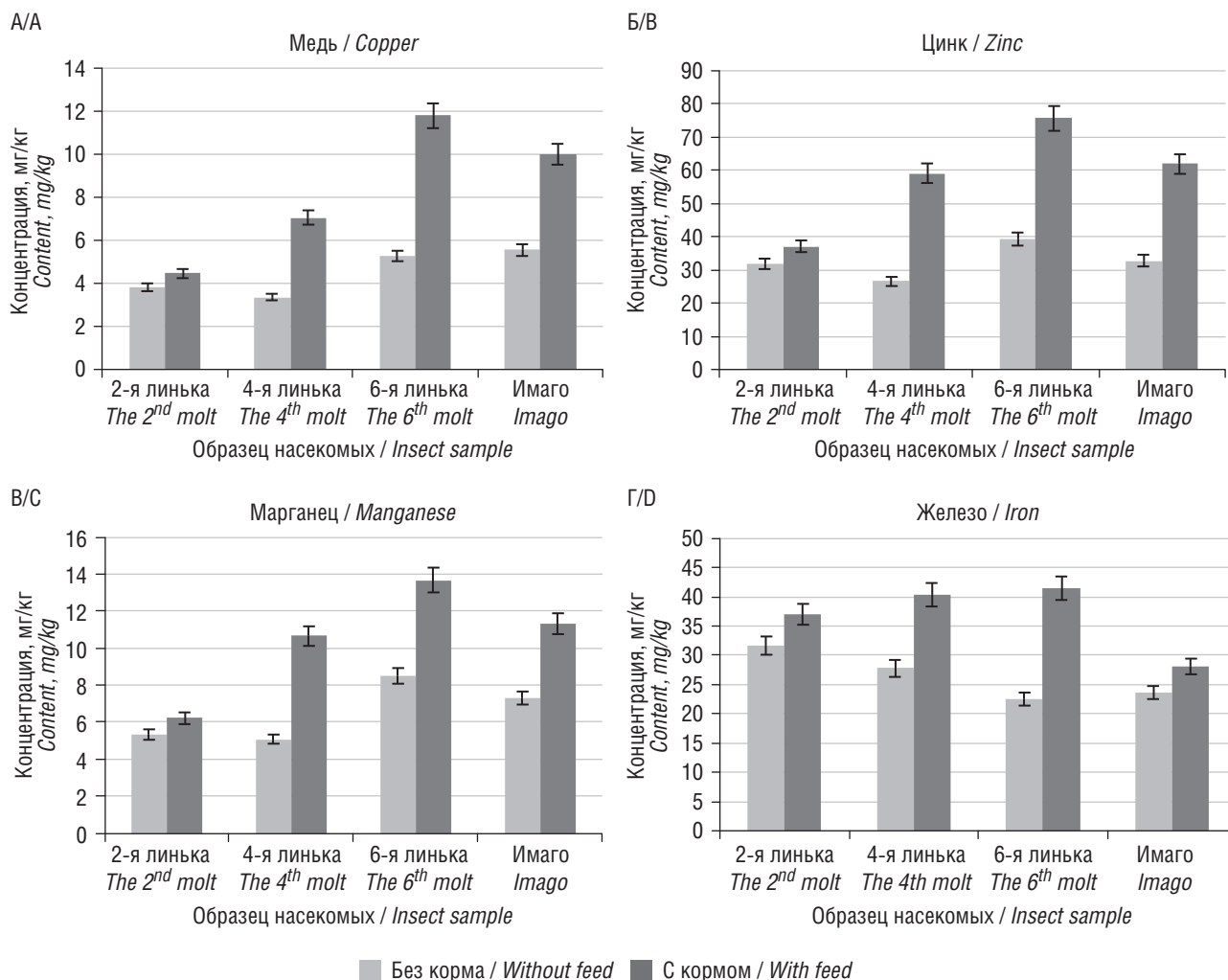


Рис. 1. Содержание меди (А), цинка (Б), марганца (В) и железа (Г) в образцах биомассы *Acheta domestica*, полученных при стабильной подаче корма и при выдерживании без корма

Fig. 1. Copper (A), zinc (B), manganese (C) and iron (D) content in *Acheta domestica* biomass samples obtained under stable feeding and under incubation without feeding

к пище», железа, меди, цинка, свинца и кадмия – по ГОСТ 30178-96 «Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов».

Статистические исследования проведены с использованием Microsoft Office (Excel) 2021. Для характеристики вариационного ряда рассчитывали среднее арифметическое и стандартную ошибку среднего. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Оценку элементного состава биомассы сверчка (возраст 6-й линьки и имаго), полученного при разных режимах кормления, проводили с точки зрения возможности использования насекомых в качестве источника соответствующих минеральных веществ, для чего содержание элемента в биомассе сравнивали с нормами физиологических потребностей [MP 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения

Российской Федерации» и «Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)»]. Анализ содержания минеральных веществ проводили из расчета на 100 г биомассы, что соответствует вероятному уровню суточного потребления человеком (согласно расчетам, представленным в рекомендациях Commission Implementing Regulation (EU) 2022/188 of 10 February 2022 authorising the placing on the market of frozen, dried and powder forms of *A. domestica* as a novel food).

Результаты и обсуждение

В аспекте безопасности пищевой продукции в первую очередь контролируется содержание токсичных элементов, однако негативное действие может проявляться

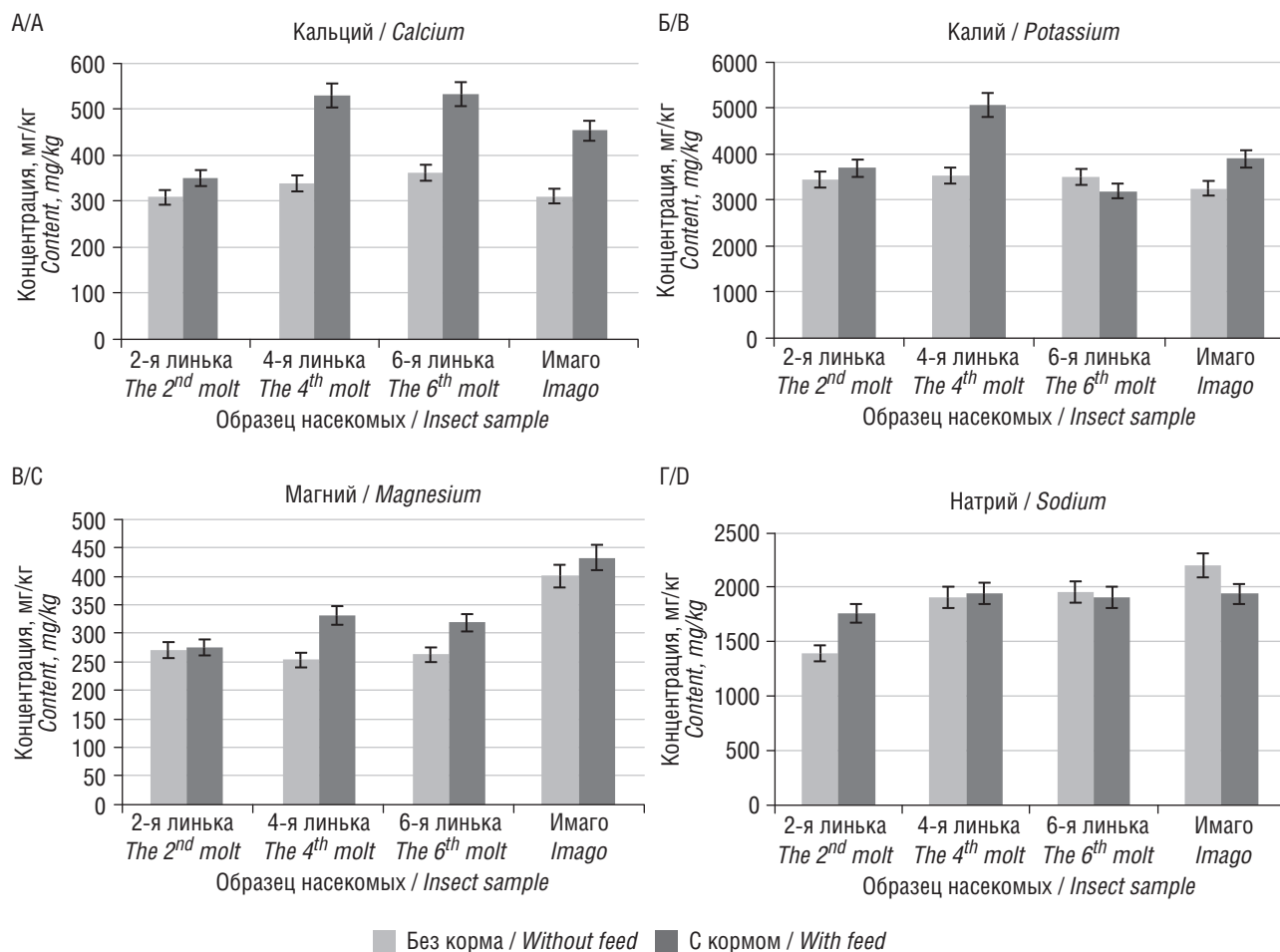


Рис. 2. Содержание кальция (А), калия (Б), магния (В) и натрия (Г) в образцах биомассы *Acheta domesticus*, полученных при стабильной подаче корма и при выдерживании без корма

Fig. 2. Calcium (A), potassium (B), magnesium (C) and sodium (D) content in *Acheta domesticus* biomass samples obtained under stable feeding and under holding without feeding

и при поступлении эссенциальных веществ в дозах, превышающих нормы потребления. Первичный анализ риска избыточного поступления минеральных компонентов в составе биомассы насекомых предполагает такую возможность, свидетельствуя о необходимости изучения методов управления этим риском.

Результаты исследования элементного состава *A. domesticus* приведены на рис. 1, 2. В образцах насекомых со стабильной подачей корма концентрации меди, цинка, марганца, железа (см. рис. 1), а также кальция (см. рис. 2А) увеличивались по мере роста насекомых, максимальная концентрация достигалась в возрасте 6-й линьки, при этом у взрослых особей (имаго) содержание кальция и микроэлементов было достоверно ниже ($p < 0,05$). В процессе роста содержание меди, цинка и марганца в биомассе сверчков, содержащихся в условиях стабильной подачи корма, увеличивалось более чем на 100% (104–165%) в сравнении со сверчками, выдержанными без корма, у которых разница в содержании меди, цинка и марганца не превышала 60%. Нако-

пление железа и кальция также происходило интенсивнее в биомассе сверчков, содержащихся в условиях стабильной подачи корма (отличие минимального и максимального содержания в биомассе составляло 50%), а в образцах, прошедших голодный этап, концентрация кальция изменялась в пределах погрешности метода. Таким образом, концентрация меди, цинка, марганца, железа и кальция в образцах насекомых, прошедших голодный этап, была статистически значимо ниже (меди и цинка – на $45 \pm 3\%$, кальция и марганца – на $33 \pm 2\%$, железа – на $15 \pm 1\%$, $p < 0,05$), чем в образцах насекомых при стабильной подаче корма.

Содержание калия, магния и натрия в образцах сверчка постепенно увеличивалось по мере роста насекомых, при этом сохранялась тенденция к более низкому содержанию этих элементов в образцах насекомых, прошедших «голодный» этап, однако достоверной зависимости отмечено не было (см. рис. 2).

Концентрация свинца и кадмия в исследованных образцах домового сверчка не превышала 1,0 мг/кг (зна-

Таблица 2. Содержание минеральных веществ в образцах биомассы сверчков *Acheta domesticus* возраста 6-й линьки, полученных при стабильном режиме питания и при выдерживании без корма

Table 2. Mineral content in biomass samples of *Acheta domesticus* crickets of the 6th molt age obtained under a stable feeding schedule and without feeding

Минеральный элемент <i>Mineral element</i>	Адекватный уровень потребления для человека*, мг/сут <i>Adequate intake for humans*, mg/day</i>	Выдерживание без корма в последние 24 ч <i>Unfed period for last 24 h</i>		Стабильная подача корма на протяжении всего культивирования <i>Stable feeding for the whole period</i>	
		содержание в <i>A. domesticus</i> , мг/кг <i>content in A. domesticus, mg/kg</i>	% от адекватного суточного потребления в 100 г образца <i>100 g sample provides % of adequate daily intake</i>	содержание в <i>A. domesticus</i> , мг/кг <i>content in A. domesticus, mg/kg</i>	% от адекватного суточного потребления в 100 г образца <i>100 g sample provides % of adequate daily intake</i>
Калий / <i>Potassium</i>	2500	3505	14,0	3194	12,8
Натрий / <i>Sodium</i>	1300	1956	15,1	1906	14,7
Кальций / <i>Calcium</i>	1000	360,6	3,6	531,9	5,3
Магний <i>Magnesium</i>	400	263,1	6,6	318,5	8,0
Железо / <i>Iron</i>	10	22,48	22,5	41,51	41,5
Марганец / <i>Manganese</i>	2	8,51	42,6	13,67	68,4
Медь / <i>Copper</i>	1	5,27	52,7	11,81	118,1
Цинк / <i>Zinc</i>	12	39,36	32,8	75,64	63,0
Хром / <i>Chromium</i>	0,05	0,091	18,2	0,110	22,0

Примечание. Здесь и в табл. 3: * – Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю).

Note. Here and in table 3: * – Uniform sanitary-epidemiological and hygienic requirements for products (goods) subject to sanitary and epidemiological supervision (control).

чение соответствует требованиям безопасности, указанным в ТР ТС 021/2011 для пищевых продуктов животного происхождения, сходных с исследуемыми образцами по количеству белка, жира и влаги). Содержание хрома, увеличивавшееся при переходе на стадию имаго (взрослого насекомого) как у сверчков, стабильно получавших корм, так и у прошедших этап 24-часового голодания, не превышало 0,5 мг/кг. В целом для свинца, кадмия и хрома наблюдалось сохранение тенденции к поддержанию более высокой концентрации в образцах, полученных при стабильной подаче корма.

Во всех исследованных образцах биомассы сверчка содержание кобальта и никеля было ниже уровня чувствительности метода определения ($\leq 0,01$ мг/кг).

Оценка элементного состава биомассы сверчка с точки зрения возможности использования насекомых в качестве источников минеральных веществ продемонстрировала, что в 100 г образца сверчка возраста 6-й линьки, получавшего стабильное питание, содержание марганца и цинка не превышало адекватных суточных уровней потребления этих элементов для человека, тогда как содержание меди было выше адекватного уровня потребления почти на 20% (табл. 2), что может привести к негативным последствиям при включении такого продукта в рацион. Элементный состав насекомых того же возраста, прошедших «голодный» этап, обеспечивал поступление со 100 г биомассы всех микроэлементов в пределах норм физиологических потребностей человека.

Изучение биомассы взрослых сверчков продемонстрировало сходную картину в части влияния «голодного» этапа, позволившего снизить содержание в образцах марганца, меди и цинка в среднем в 2 раза (табл. 3).

Таким образом, изменение режима кормления приводило к снижению в биомассе насекомых концентрации меди, цинка, кальция, марганца и железа и не влияло на содержание калия, натрия, магния, свинца и кадмия.

Предупреждение избыточного поступления микронутриентов с пищей может быть достигнуто за счет более низкого уровня потребления такого продукта в рационе, например, допустимые уровни содержания кадмия, свинца и ртути в мясе и мясopодуктах в несколько раз ниже, чем в рыбе и нерыбных объектах промысла. Такая разница концентраций компенсируется нормами потребления в соответствии с Рекомендациями по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания, утвержденными приказом Минздрава России от 19.08.2016 № 614: для мясных продуктов она составляет 73 кг в год (200 г/сут), а для рыбных – 22 кг в год (60 г/сут). Таким образом, несмотря на более высокие допустимые уровни содержания некоторых токсичных элементов в рыбных продуктах и невозможности их контролировать из-за условий промысла, риск избыточного поступления элементов регулируется посредством более низкого уровня потребления таких продуктов, что актуально для рыбы, моллюсков и ракообразных. Такой же подход может быть применен при формировании гигиенических (санитарно-химических) нормативов для сырья и пищевой продукции, полученных из насекомых.

Регулирование показателей безопасности пищевой продукции в ряде случаев не ограничивается токсичными элементами: на сегодняшний день существует ряд пище-

Таблица 3. Содержание минеральных веществ в образцах биомассы сверчков *Acheta domesticus* возраста имаго, полученных при стабильном режиме питания и при выдерживании без корма**Table 3.** Mineral content in biomass samples of adult age *Acheta domesticus* crickets obtained under a stable feeding schedule and without feeding

Минеральный элемент <i>Element</i>	Адекватный уровень потребления для человека*, мг/сут <i>Adequate intake for humans*, mg/day</i>	Выдерживание без корма в последние 24 ч <i>Unfed period for last 24 h</i>		Стабильная подача корма на протяжении всего культивирования <i>Stable feeding for the whole period</i>	
		содержание в <i>A. domesticus</i> , мг/кг <i>content in A. domesticus, mg/kg</i>	% от адекватного суточного потребления в 100 г образца <i>100 g sample provides % of adequate daily intake</i>	содержание в <i>A. domesticus</i> , мг/кг <i>content in A. domesticus, mg/kg</i>	% от адекватного суточного потребления в 100 г образца <i>100 g sample provides % of adequate daily intake</i>
Калий / <i>Potassium</i>	2500	3245	13,0	3898	15,6
Натрий / <i>Sodium</i>	1300	2202	16,9	1940	14,9
Кальций / <i>Calcium</i>	1000	309,7	3,1	452,5	4,5
Магний / <i>Magnesium</i>	400	400,4	10,0	432,9	10,8
Железо / <i>Iron</i>	10	23,65	23,7	28,10	28,1
Марганец / <i>Manganese</i>	2	7,32	36,6	11,35	56,8
Медь / <i>Copper</i>	1	5,54	55,4	10,00	100,0
Цинк / <i>Zinc</i>	12	32,75	27,3	61,85	51,5
Хром / <i>Chromium</i>	0,05	0,4231	84,6	0,400	80,0

вых продуктов, находящихся в зоне риска по высокому содержанию некоторых микроэлементов, для которых установлены требования безопасности по отдельным показателям (согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»), например пектин по содержанию цинка и меди, консервированные продукты по хрому, молочные продукты по меди. Поскольку при анализе содержания минеральных веществ в 100 г биомассы сверчка (вероятный уровень суточного потребления человеком) было показано значительное количество марганца, меди, цинка и хрома (более 50% адекватного уровня потребления данных микроэлементов), есть все основания для включения этих элементов в перечень показателей химической безопасности насекомых и продуктов на их основе.

Таким образом, домовые сверчки могут служить источником макро- и микроэлементов в рационе человека, причем существует риск избыточного поступления минеральных элементов при использовании сырья из *A. domesticus* в пищу. Несмотря на то что результаты проведенных исследований свидетельствуют о возможности корректировки элементного состава биомассы сверчка изменением рецептуры кормов и режимов кормления, при разработке гигиенических (санитарно-химических) нормативов для новых объектов технического регулирования – сырья и пищевой продукции, полученных из насекомых, необходимо учитывать вариативность минерального состава и включить в перечень контролируемых показателей содержание марганца, меди, цинка и хрома.

Сведения об авторах

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация):

Тышко Надежда Валерьевна (*Nadezhda V. Tyshko*) – доктор медицинских наук, заведующий лабораторией оценки безопасности биотехнологий и новых источников пищи

E-mail: tnv@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8532-5327>

Тимошенко Ксения Андреевна (*Kseniya A. Timoshenko*) – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории оценки безопасности биотехнологий и новых источников пищи

E-mail: Timoshenko.K.ion@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0009-5344-2703>

Шестакова Светлана Игоревна (*Svetlana I. Shestakova*) – научный сотрудник лаборатории оценки безопасности биотехнологий и новых источников пищи

E-mail: shestakova@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0279-4134>

Зотов Владимир Алексеевич (*Vladimir A. Zotov*) – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории химии пищевых продуктов

E-mail: orpheus2718@gmail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8271-3869>

Литература

1. Каноклова М.А., Хамуков Ю.Х. Связь рациона питания и устойчивости развития общества. Объективизация представлений о последствиях замены животного белка растительным // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2022. № 12. С. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.17513/mjpf.13477>
2. Dolganyuk V., Sukhikh S., Kalashnikova O., Ivanova S., Kashirskikh E., Prosekov A. et al. Food proteins: potential resources // Sustainability. 2023. Vol. 15, N 7. P. 5863. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15075863>
3. Тышко Н.В., Садыкова Э.О., Шестакова С.И., Аксюк И.Н. Новые источники пищи: от генно-инженерно-модифицированных организмов к расширению биоресурсной базы России // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 100–109. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10046>
4. Boehm E., Borzekowski D., Ververis E., Lohmann M., Böhl G.-F. Communicating food risk-benefit assessments: edible insects as red meat replacers // Front. Nutr. 2021. Vol. 16, N 8. Article ID 749696. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.749696>
5. Onwezen M., Bouwman E., Reinders M., Dagevos H. A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat // Appetite. 2021. Vol. 159. Article ID 105058. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.105058>
6. Estell M., Hughes J., Grafenauer S. Plant protein and plant-based meat alternatives: consumer and nutrition professional attitudes and perceptions // Sustainability. 2021. Vol. 13, N 3. P. 1478. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13031478>
7. Siddiqui S.A., Khalifa I., Yin T. Valorization of plant proteins for meat analogues design - a comprehensive review // Eur. Food Res. Technol. 2024. Vol. 250. P. 2479–2513. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04565-1>
8. Tacon A.G., Lemos D., Metian M. Fish for health: improved nutritional quality of cultured fish for human consumption // Rev. Fish. Sci. Aquac. 2020. Vol. 28, N 4. P. 449–458. DOI: <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1762163>
9. Brightwell H.G. Safety of alternative proteins: technological, environmental and regulatory aspects of cultured meat, plant-based meat, insect protein and single-cell protein // Foods. 2021. Vol. 10, N 6. P. 1226. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10061226>
10. Ramos-Elorduy J. Anthro-entomophagy: cultures, evolution and sustainability // Entomol. Res. 2009. Vol. 39, N 5. P. 271–288. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2009.00238.x>
11. Svanberg I., Berggren A. Insects as past and future food in entomophobic Europe // Food Cult. Soc. 2021. Vol. 24, N 5. P. 624–638. DOI: <https://doi.org/10.1080/15528014.2021.1882170>
12. Ververis E., Boué G., Poulsen M., Pires S.M., Niforou A., Thomsen S.T. et al. A systematic review of the nutrient composition, microbiological and toxicological profile of *Acheta domesticus* (house cricket) // J. Food Compos. Anal. 2022. Vol. 114. Article ID 104859. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104859>
13. Rumbos C., Athanassiou C. Feed additives for insect production // Sustainable Use of Feed Additives in Livestock / eds G. Arsenos, I. Giannenas. Cham : Springer, 2023. P. 799–810. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-42855-5_27
14. Королев А.А. Гигиена питания : руководство для врачей. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2016. 624 с. ISBN: 978-5-9704-3706-3.
15. Fernandez-Cassi X., Supeanu A., Vaga M., Jansson A., Boqvist S., Vagsholm I. The house cricket (*Acheta domesticus*) as a novel food: a risk profile // J. Insects Food Feed. 2019. Vol. 5, N 2. P. 137–157. DOI: <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0021>
16. Piñera A.V., Charles H.M., Dinh T.A., Killian K.A. Maturation of the immune system of the male house cricket, *Acheta domesticus* // J. Insect Physiol. 2013. Vol. 59, N 8. P. 752–760. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2013.05.008>
17. Turck D., Bohn T., Castenmiller J., De Henauw S., Hirsch-Ernst K.I., Maciuk A. et al. Safety of frozen and dried formulations from whole house crickets (*Acheta domesticus*) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283 // EFSA J. 2021. Vol. 19, N 8. Article ID e06779. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6779>
18. Turck D., Bohn T., Castenmiller J., De Henauw S., Hirsch-Ernst K.I., Maciuk A. et al. Safety of partially defatted house cricket (*Acheta domesticus*) powder as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283 // EFSA J. 2022. Vol. 20, N 5. Article ID e07258. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7258>
19. Lange K.W., Nakamura Y. Edible insects as future food: chances and challenges // J. Future Foods. 2021. Vol. 1, N 1. P. 38–46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.10.001>
20. Machado I., Suárez Prieto A., Rodríguez M. C., Heath D., Heath E., Kouřimská L. et al. Bioaccessibility of trace elements and Fe and Al endogenous nanoparticles in farmed insects: pursuing quality sustainable food // Food Chem. 2024. Vol. 458. Article ID 140229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140229>
21. Mwangi M.N., Oonincx D.G.A.B., Stouten T. Insects as sources of iron and zinc in human nutrition // Nutr. Res. Rev. 2018. Vol. 31, N 2. P. 248–255. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0954422418000094>
22. Genchi G., Lauria G., Catalano A., Sinicropi M.S., Carocci A. Biological activity of selenium and its impact on human health // Int. J. Mol. Sci. 2023. Vol. 24, N 3. P. 2633. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms24032633>
23. Oonincx D.G.A.B., Van der Poel A.F.B. Effects of diet on the chemical composition of migratory locusts (*Locusta migratoria*) // Zoo Biol. 2011. Vol. 30, N 1. P. 9–16. DOI: <https://doi.org/10.1002/zoo.20308>

References

1. Kanokova M.A., Khamukov Y.Kh. Relation of dietary intake and sustainability of society development. Objectivisation of ideas about the consequences of replacing animal protein with vegetable protein. Mezhdunarodniy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [International Journal of Applied and Fundamental Research]. 2022; (12): 15–23. DOI: <https://doi.org/10.17513/mjpf.13477> (in Russian)
2. Dolganyuk V., Sukhikh S., Kalashnikova O., Ivanova S., Kashirskikh E., Prosekov A., et al. Food proteins: potential resources. Sustainability. 2023; 15 (7): 5863. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15075863>
3. Tyshko N.V., Sadykova E.O., Shestakova S.I., Aksyuk I.N. New sources of food: from genetically engineered modified organisms to expand the bioresource base of Russia. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2020; 89 (4): 100–9. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10046> (in Russian)
4. Boehm E., Borzekowski D., Ververis E., Lohmann M., Böhl G.-F. Communicating food risk-benefit assessments: edible insects as red meat replacers. Front Nutr. 2021; 16 (8): 749696. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.749696>
5. Onwezen M., Bouwman E., Reinders M., Dagevos H. A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat. Appetite. 2021; 159: 105058. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.105058>
6. Estell M., Hughes J., Grafenauer S. Plant protein and plant-based meat alternatives: consumer and nutrition professional attitudes and perceptions. Sustainability. 2021; 13 (3): 1478. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13031478>
7. Siddiqui S.A., Khalifa I., Yin T. Valorization of plant proteins for meat analogues design - a comprehensive review. Eur Food Res Technol. 2024; 250: 2479–513. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04565-1>
8. Tacon A.G., Lemos D., Metian M. Fish for health: improved nutritional quality of cultured fish for human consumption. Rev Fish Sci Aquac. 2020; 28 (4): 449–58. DOI: <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1762163>
9. Brightwell H.G. Safety of alternative proteins: technological, environmental and regulatory aspects of cultured meat, plant-based meat, insect protein and single-cell protein. Foods. 2021; 10 (6): 1226. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10061226>
10. Ramos-Elorduy J. Anthro-entomophagy: cultures, evolution and sustainability. Entomol Res. 2009; 39 (5): 271–88. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2009.00238.x>
11. Svanberg I., Berggren A. Insects as past and future food in entomophobic Europe. Food Cult Soc. 2021; 24 (5): 624–38. DOI: <https://doi.org/10.1080/15528014.2021.1882170>
12. Ververis E., Boué G., Poulsen M., Pires S.M., Niforou A., Thomsen S.T., et al. A systematic review of the nutrient composition, microbiological and toxicological profile of *Acheta domesticus* (house cricket). J Food Compos Anal. 2022; 114: 104859. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104859>
13. Rumbos C., Athanassiou C. Feed additives for insect production. In: G. Arsenos, I. Giannenas (eds). Sustainable Use of Feed Additives in Livestock. Cham: Springer, 2023: 799–810. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-42855-5_27
14. Korolev A.A. Hygiene of nutrition: guide for doctors. Moscow: GEOTAR-Media. 2016: 624 p. ISBN: 978-5-9704-3706-3. (in Russian)

15. Fernandez-Cassi X., Supeanu A., Vaga M., Jansson A., Boqvist S., Vagsholm I. The house cricket (*Acheta domesticus*) as a novel food: a risk profile. *J Insects Food Feed*. 2019; 5 (2): 137–57. DOI: <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0021>
16. Piñera A.V., Charles H.M., Dinh T.A., Killian K.A. Maturation of the immune system of the male house cricket, *Acheta domesticus*. *J Insect Physiol*. 2013; 59 (8): 752–60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2013.05.008>
17. Turck D., Bohn T., Castenmiller J., De Henauw S., Hirsch-Ernst K.I., Maciuk A., et al. Safety of frozen and dried formulations from whole house crickets (*Acheta domesticus*) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA J*. 2021; 19 (8): e06779. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6779>
18. Turck D., Bohn T., Castenmiller J., De Henauw S., Hirsch-Ernst K.I., Maciuk A., et al. Safety of partially defatted house cricket (*Acheta domesticus*) powder as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA J*. 2022; 20 (5): e07258. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7258>
19. Lange K.W., Nakamura Y. Edible insects as future food: chances and challenges. *J Future Foods*. 2021; 1 (1): 38–46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.10.001>
20. Machado I., Suárez Priede A., Rodríguez M. C., Heath D., Heath E., Kouřimská L., et al. Bioaccessibility of trace elements and Fe and Al endogenous nanoparticles in farmed insects: pursuing quality sustainable food. *Food Chem*. 2024; 458: 140229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140229>
21. Mwangi M.N., Oonincx D.G.A.B., Stouten T. Insects as sources of iron and zinc in human nutrition. *Nutr Res Rev*. 2018; 31 (2): 248–55. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0954422418000094>
22. Genchi G., Lauria G., Catalano A., Sinicropi M.S., Carocci A. Biological activity of selenium and its impact on human health. *Int J Mol Sci*. 2023; 24 (3): 2633. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms24032633>
23. Oonincx D.G.A.B., Van der Poel A.F.B. Effects of diet on the chemical composition of migratory locusts (*Locusta migratoria*). *Zoo Biol*. 2011; 30 (1): 9–16. DOI: <https://doi.org/10.1002/zoo.20308>

Для корреспонденции

Трушина Элеонора Николаевна – кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией иммунологии
ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Адрес: 109240, Российская Федерация, г. Москва,

Устьинский проезд, д. 2/14

Телефон: (495) 698-53-45

E-mail: trushina@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0035-3629>

Трушина Э.Н.¹, Мустафина О.К.¹, Аксенов И.В.¹, Красуцкий А.Г.¹, Тутельян В.А.¹⁻³, Никитюк Д.Б.¹⁻³

Протективное действие экстракта корня женьшеня на апоптоз миофибрилл и иммунный ответ у крыс после истощающей физической нагрузки. Часть I. Влияние экстракта корня женьшеня на апоптоз миофибрилл икроножной мышцы крыс

Protective action of ginseng root extract on myofibril apoptosis and immune response in rats after exhausting physical exercise. Part I. Effect of ginseng root extract on myofibril apoptosis in rats' gastrocnemius muscle

Trushina E.N.¹, Mustafina O.K.¹, Aksenov I.V.¹, Krasutsky A.G.¹, Tutelyan V.A.¹⁻³, Nikityuk D.B.¹⁻³

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 имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), 119991, г. Москва, Российская Федерация

³ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», 117198, 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 (Sechenov University), Ministry of Health of the Russian Federation, 119991, Moscow, Russian Federation

³ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, 117198, Moscow, Russian Federation

Напряженные психофизические нагрузки спортсменов являются патогенетической основой развития иммунной дисфункции, гормонального дисбаланса, окислительного стресса и активации апоптоза клеток различных органов и тканей, включая миофибриллы скелетной мускулатуры. Адаптогены растительного происхождения, в том числе биологически активные вещества (БАВ)

Финансирование. Поисково-аналитическая работа по подготовке рукописи проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках Программы фундаментальных научных исследований (тема № FGMF-2025-0001).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Аксенов И.В., Красуцкий А.Г., Тутельян В.А., Никитюк Д.Б.; сбор и статистическая обработка данных – Трушина Э.Н., Мустафина О.К.; написание текста – Трушина Э.Н.; редактирование – Тутельян В.А., Никитюк Д.Б.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Трушина Э.Н., Мустафина О.К., Аксенов И.В., Красуцкий А.Г., Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. Протективное действие экстракта корня женьшеня на апоптоз миофибрилл и иммунный ответ у крыс после истощающей физической нагрузки. Часть I. Влияние экстракта корня женьшеня на апоптоз миофибрилл икроножной мышцы крыс // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 1. С. 111–117. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-111-117>

Статья поступила в редакцию 02.11.2024. Принята в печать 15.01.2025.

женьшеня, издавна используются профессиональными спортсменами для повышения устойчивости организма к стрессу и улучшения физической работоспособности. Далеко не все механизмы адаптогенного действия БАВ женьшеня установлены. Особо актуален вопрос изучения влияния БАВ женьшеня на поврежденную структуру миофибрилл скелетной мускулатуры и активность их регенерации после интенсивных физических нагрузок спортсменов.

Цель исследования – изучение влияния внутрижелудочного введения экстракта корня женьшеня (гинсенозидов) на апоптоз миофибрилл икроножной мышцы крыс после истощающей физической нагрузки (ИФН).

Материал и методы. Исследование проводили на 5 группах крыс-самцов линии Wistar с исходной массой тела ≈ 250 г. Крысы получали полноценный полусинтетический рацион, воду – *ad libitum*. После подготовительного этапа (1 нед карантина и 1 нед привыкания крыс к беговой дорожке) животных контрольной (1-я) и подопытных (2, 3, 4 и 5-я) групп в течение 2 нед (3 раза в неделю) помещали на беговую дорожку в рамках заданной программы тренировок (продолжительность бега – 20 мин, скорость – 25 см/с, угол наклона беговой дорожки – 10°), после завершения которой проводили (за исключением контрольной группы) тест на ИФН. За 30 мин до начала тренировок и ИФН крысам 3–5-й групп внутрижелудочно вводили экстракт корня женьшеня (ЭКЖ) в физиологическом растворе в дозах 2,7 (3-я группа), 13,5 (4-я группа) и 27,0 (5-я группа) мг на 1 кг массы тела в пересчете на гинсенозиды; животным 1-й и 2-й групп – физиологический раствор. В течение 30 мин после прекращения ИФН крыс выводили из эксперимента декапитацией с последующим отбором образца икроножной мышцы. Интенсивность апоптоза миофибрилл икроножной мышцы крыс изучали в день забоя методом проточной цитометрии. Окрашивание миофибрилл проводили конъюгированным с флуорохромом аннексином V и витальным красителем 7-аминоактиномицином с последующей детекцией на проточном цитофлуориметре FC-500.

Результаты. ИФН у крыс 2-й группы приводила к снижению относительного содержания интактных (живых) миофибрилл икроножной мышцы ($80,51 \pm 1,41$ против $88,39 \pm 1,04\%$ в контроле, $p < 0,05$) и возрастанию доли миофибрилл в апоптозе ($20,06 \pm 1,62$ против $11,16 \pm 1,14\%$ в контроле, $p < 0,05$). Внутрижелудочное введение крысам ЭКЖ обеспечивало положительную динамику ($p < 0,05$) возрастания относительного содержания интактных миофибрилл у крыс 4-й и 5-й групп ($85,75 \pm 1,22$ и $84,60 \pm 1,11\%$ соответственно) по сравнению с показателем крыс 2-й группы, не получавших ЭКЖ. Суммарное число миофибрилл в апоптозе у крыс 2, 3 и 5-й групп после ИФН превышало ($p < 0,05$) данный показатель у крыс контрольной группы. Введение крысам ЭКЖ 4-й и 5-й групп (13,5 и 27 мг на 1 кг массы тела) обеспечило снижение количества миофибрилл в апоптозе по сравнению с показателем у крыс 2-й группы ($p < 0,05$). Используемая минимальная дозировка ЭКЖ у крыс 3-й группы (2,7 мг на 1 кг массы тела) не оказала влияния на исследованные показатели апоптоза.

Заключение. На модели ИФН у крыс показано дозозависимое антиапоптотическое действие БАВ ЭКЖ на миофибриллы скелетной мускулатуры. Наиболее выраженный эффект наблюдался при введении ЭКЖ в суточной дозе 13,5 мг на 1 кг массы тела (в пересчете на гинсенозиды). При использовании минимальной и максимальной дозировки ЭКЖ (соответственно 2,7 и 27 мг на 1 кг массы тела) доля миофибрилл в апоптозе остается повышенной относительно контрольной группы. Таким образом, результаты работы подтверждают концепцию, согласно которой одним из механизмов адаптогенного действия БАВ женьшеня является снижение активности процесса апоптоза миофибрилл скелетной мускулатуры, индуцированного ИФН.

Ключевые слова: апоптоз; экстракт корня женьшеня; гинсенозиды; истощающая физическая нагрузка; икроножная мышца; миофибриллы

Funding. The research was carried out using subsidy for the implementation of a state assignment within the framework of the Fundamental Scientific Research Program (Topic No. FGMP-2025-0001).

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

Contribution. Study concept and design – Aksenov I.V., Krasutskiy A.G., Tutelyan V.A., Nikityuk D.B.; data collection and statistical processing – Trushina E.N., Mustafina O.K.; text writing – Trushina E.N.; editing – Tutelyan V.A., Nikityuk D.B.; approval of the final version, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Trushina E.N., Mustafina O.K., Aksenov I.V., Krasutsky A.G., Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. Protective action of ginseng root extract on myofibril apoptosis and immune response in rats after exhausting physical exercise. Part I. Effect of ginseng root extract on myofibril apoptosis in rats' gastrocnemius muscle. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (1): 111–7. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-111-117> (in Russian)

Received 02.11.2024. **Accepted** 15.01.2025.

Intense psychophysical loads in athletes are the pathogenetic basis for the development of immune dysfunction, hormonal imbalance, oxidative stress and activation of the process of apoptosis of cells in various organs and tissues, including myofibrils of skeletal muscles. Adaptogens of plant origin, including bioactive compounds (BAC) of ginseng, have long been used by professional athletes to enhance the body's resistance to stress and improve physical performance. All mechanisms of the adaptogenic effect of ginseng BAS have not been established yet. Of particular relevance is the issue of the effect of ginseng BAC on the damaged structure of skeletal muscle myofibrils and the activity of their regeneration after intense physical exertion in athletes.

The aim of the research was to investigate the effect of intragastric administration of the ginseng root extract (ginsenosides) on the apoptosis of myofibrils in the gastrocnemius muscle of rats after exhausting physical exercise (EPE).

Material and methods. The study was conducted on 5 groups of male Wistar rats with an initial body weight of ≈ 250 g. The rats received a complete semi-synthetic diet and water ad libitum. After the preparatory stage (1 week of quarantine and 1 week of acclimation to the treadmill), animals of the control (the 1st) and experimental (the 2, 3, 4 and 5th) groups were placed on a treadmill for 2 weeks (3 times a week) according to the training program (running duration – 20 min, speed 25 cm/s, treadmill inclination angle 10°), after the completion of which (except for the control group) a test for EPE was carried out. Thirty minutes before the start of training and EPE, rats of experimental groups 3–5 were intragastrically administered ginseng root extract (GRE) in saline in doses: 2.7 (group 3), 13.5 (group 4), and 27.0 (group 5) mg per kg body weight in terms of ginsenosides; animals of groups 1 and 2 were given saline. Within 30 minutes after EPE cessation, rats were withdrawn from the experiment by decapitation, followed by collection of a sample of the gastrocnemius muscle. The intensity of apoptosis of gastrocnemius muscle myofibrils was studied on the day of slaughter by the flow cytometry method. Myofibrils were stained with annexin V conjugated with fluorochrome and 7-aminoactinomycin vital dye with subsequent detection on an FC-500 flow cytometer.

Results. EPE in rats of the 2nd group lead to a decrease in the relative content of intact (live) myofibrils of the gastrocnemius muscle (80.51 ± 1.41 vs $88.39 \pm 1.04\%$ in the control, $p < 0.05$) and an increase in the proportion of myofibrils in apoptosis (20.06 ± 1.62 vs $11.16 \pm 1.14\%$ in the control, $p < 0.05$). Intragastric administration of GRE provided positive dynamics ($p < 0.05$) of an increase in the relative content of intact myofibrils in rats of the 4th and 5th groups (85.75 ± 1.22 and $84.60 \pm 1.11\%$ respectively) compared with the indicator in rats of the 2nd group that didn't receive GRE. The total number of myofibrils in apoptosis in rats of the 2, 3 and 5th groups after EPE exceeded ($p < 0.05$) the indicator in control rats. GRE administration to the animals of the 4th (13.5 mg/kg body weight) and the 5th (27 mg/kg body weight) groups ensured a decrease ($p < 0.05$) of the total number of apoptotic myofibrils compared to rats of the 2nd group. The minimum dosage of GRE used in rats of the 3rd group (2.7 mg/kg body weight) did not have a reliable effect on the studied apoptosis indices.

Conclusion. A dose-dependent anti-apoptotic effect of the GRE BAC on the myofibrils of skeletal muscles has been demonstrated on the EPE model in rats. The most pronounced effect was observed with GRE administration at a daily dose of 13.5 mg/kg body weight (in terms of ginsenosides). When using the minimum and maximum GRE dosage (2.7 and 27 mg/kg body weight), the proportion of myofibrils in apoptosis remained elevated relative to the control group. Thus, the data obtained confirm the concept that one of the mechanisms of the adaptogenic effect of ginseng BAC is a decrease in the apoptosis activity in skeletal muscle myofibrils induced by EPE.

Keywords: apoptosis; ginseng root extract; ginsenosides; exhausting physical exercise; gastrocnemius muscle; myofibrils

При интенсивной физической нагрузке генерируется большое количество свободных радикалов, что сопровождается активацией метаболических процессов организма, повышением интенсивности перекисного окисления липидов и карбонилирования белков [1]. Накопление активных форм кислорода (АФК) приводит к окислительному стрессу во многих органах, в том числе в скелетных мышцах. Продукция АФК, вызванная сокращениями миофибрилл во время физической нагрузки умеренной интенсивности, способствует физиологической адаптации скелетных мышц (митохондриальный биогенез, синтез антиоксидантных ферментов и стрессовых белков), тогда как высокий уровень

выработки АФК приводит к повреждению макромолекулярных структур (белков, липидов, ДНК) с последующей стимуляцией генов, регулирующих апоптоз [2]. Напротив, апоптоз миофибрилл в условиях регулярных тренировок является физиологическим регуляторным процессом, в результате которого удаляются поврежденные структуры без воспалительной реакции, что обеспечивает оптимальную функцию мышц. Степень выраженности апоптоза в различных типах мышц (медленных мышечных волокнах с аэробной системой окисления и быстрых гликолитических волокнах) определяется их фенотипом и зависит от интенсивности и характера физической нагрузки [3].

Основным патогенетическим фактором активации апоптоза миофибрилл является окислительный стресс. Поскольку митохондрии представляют собой основной источник и мишень АФК, избыток АФК может инициировать увеличение проницаемости мембран митохондрий, открытие митохондриальных Ca^{2+} -зависимых пор (mPTP), снижение выработки аденозинтрифосфорной кислоты и повышение высвобождения митохондриального цитохрома С (Cyt С – специфический инициирующий фактор) для активации процесса апоптоза [4]. Митохондриальный апоптоз является одной из наиболее распространенных форм запрограммированной гибели клеток. В этом процессе участвуют белки семейства Bcl-2: проапоптотические белки Bax, Bak и антиапоптотические белки Bcl-2. Белок Bax повышает проницаемость митохондрий с высвобождением цитохрома С в цитоплазму, где он взаимодействует с апоптотическим протеазаактивирующим фактором (apoptotic protease activating factor 1 – Araf-1) и прокаспазой-9, вызывая конформационные изменения Araf-1 через домены активации и рекрутирования каспаз (caspase recruitment domains – CARDs) с формированием апоптосом и последующей активацией эффекторных каспаз 3, 6, 7 [5].

Для ослабления или предотвращения мышечного повреждения (микротравмы, апоптоз) у спортсменов широко используются антиоксиданты и адаптогены растительного происхождения [6–8]. Одним из представителей растительных адаптогенов является женьшень. Женьшень содержит различные биологически активные вещества (БАВ), в том числе гинсенозиды, алкалоиды, гликозиды, а также полисахариды и полипептиды, витамины, минеральные вещества, клетчатку [9]. Основным действующим компонентом женьшеня являются гинсенозиды, представляющие собой класс природных стероидных гликозидов и тритерпеноидных сапонинов. Установлено, что потребление экстракта женьшеня спортсменами улучшает энергетический обмен, ослабляет воспалительные реакции, а также оказывает положительное воздействие на кишечную микробиоту [10]. На примере пациентов с саркопенией показана эффективность приема экстракта корня женьшеня (ЭКЖ) в плане улучшения сократительной функции мышц и мышечной регенерации посредством нормализации функции митохондрий и активации дифференцировки миоцитов [11].

В России адекватный уровень суточного потребления гинсенозидов для взрослых в составе специализированных пищевых продуктов и биологически активных добавок к пище составляет 5,0 мг, верхний допустимый уровень потребления – 30 мг¹. В исследованиях на добровольцах по изучению влияния ЭКЖ на индуцированное физической нагрузкой повреждение мышц используются его суточные дозировки от 160 мг до

20 г [12], что в случае 10% содержания гинсенозидов примерно соответствует их употреблению в диапазоне 16–2000 мг/сут на человека.

Цель исследования – изучение влияния внутрижелудочного введения ЭКЖ (гинсенозидов) на апоптоз миофибрилл икроножной мышцы крыс после истощающей физической нагрузки (ИФН).

Материал и методы

Исследование получило одобрение этического комитета ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» и было проведено на 5 группах крыс-самцов линии Wistar (по 8 животных с исходной массой тела ≈ 250 г), полученных из питомника филиала «Столбовая» ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий ФМБА». Обращение с животными осуществляли в соответствии с ГОСТ 33216-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами». Крысы получали полноценный полусинтетический рацион (энергетическая ценность – 3,9 ккал/г) [13] из расчета 20 г/сут сухого корма на крысу, воду – *ad libitum*. В конце эксперимента отъем корма проводили за 16 ч до забоя. После подготовительного этапа (1 нед карантина и 1 нед привыкания крыс к беговой дорожке) животных контрольной (1-я) и подопытных (2, 3, 4 и 5-я) групп в течение 2 нед (3 раза в неделю) помещали на беговую дорожку в рамках заданной программы тренировок (продолжительность бега – 20 мин, скорость – 25 см/с, угол наклона беговой дорожки – 10°), после завершения которой проводили (за исключением контрольной группы) тест на ИФН [14]. За 30 мин до начала тренировок и ИФН крысам подопытных групп (за исключением 2-й группы) внутрижелудочно вводили ЭКЖ [Tayga (Shanghai) Co., Ltd, КНР; 12,5% гинсенозидов] в физиологическом растворе в дозах 2,7 (3-я группа), 13,5 (4-я группа) и 27,0 (5-я группа) мг на 1 кг массы тела в пересчете на гинсенозиды; животным 1-й и 2-й групп – физиологический раствор. В течение 30 мин после прекращения ИФН крыс выводили из эксперимента декапитацией с последующим отбором образца икроножной мышцы.

Исследование интенсивности апоптоза миофибрилл икроножной мышцы крыс проводили в день забоя методом проточной цитометрии [15]. Окрашивание миофибрилл проводили конъюгированным с флуорохромом аннексином V и витальным красителем 7-аминоактиномицином (Beckman Coulter, США) с последующей детекцией на проточном цитофлуориметре (FC-500, Beckman Coulter, США).

Статистический анализ данных выполняли в рамках сбалансированного рандомизированного однофактор-

¹ Евразийская экономическая комиссия. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю).

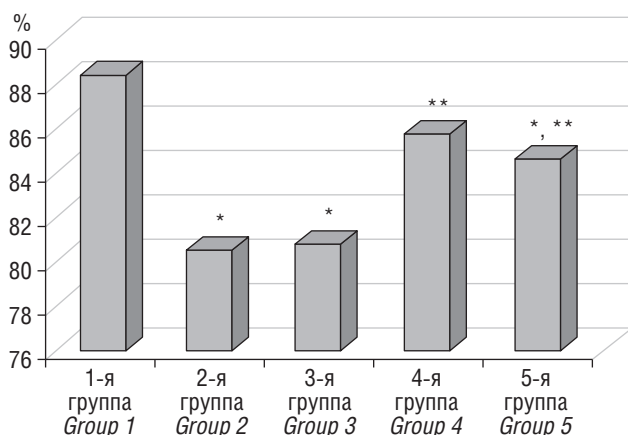


Рис. 1. Относительное содержание интактных (AnV-FITC-/7-AAD-) миофибрилл в икроножной мышце крыс

Здесь и на рис. 2: 1-я группа – контрольная, без физической нагрузки, внутрижелудочное введение физиологического раствора; 2-я группа – истощающая физическая нагрузка (ИФН), внутрижелудочное введение физиологического раствора; 3-я группа – ИФН + внутрижелудочное введение экстракта корня женьшеня (ЭКЖ) в физиологическом растворе в дозе 2,7 мг на 1 кг массы тела в пересчете на гинсенозиды; 4-я группа – ИФН + внутрижелудочное введение ЭКЖ в физиологическом растворе в дозе 13,5 мг на 1 кг массы тела в пересчете на гинсенозиды; 5-я группа – ИФН + внутрижелудочное введение ЭКЖ в физиологическом растворе в дозе 27 мг на 1 кг массы тела в пересчете на гинсенозиды. Статистически значимое отличие ($p < 0,05$) от показателя животных: * – контрольной группы; ** – 2-й группы.

Fig. 1. Relative content of intact (AnV-FITC-/7-AAD-) myofibrils in the gastrocnemius muscle of rats

Here and on fig. 2: group 1 – control, without physical activity, intragastric administration of saline; group 2 – exhausting physical exercise (EPE), intragastric administration of saline; group 3 – EPE + intragastric administration of ginseng root extract (GRE) in saline at a dose of 2.7 mg/kg body weight in terms of ginsenosides; group 4 – EPE + intragastric administration of GRE in saline at a dose of 13.5 mg/kg body weight in terms of ginsenosides; 5th group – EPE + intragastric administration of GRE in saline at a dose of 27 mg/kg body weight in terms of ginsenosides. * – $p < 0.05$ – compared with control group; ** – $p < 0.05$ – compared with 2nd group.

ного эксперимента. Фиксированным фактором являлся ЭКЖ. Количество уровней 5: 1-я – контрольная без добавления ЭКЖ и без ИФН; 2-я – опытная без добавления ЭКЖ с ИФН; 3-я – опытная группа с ИФН и введением ЭКЖ в дозе 2,7 мг на 1 кг массы тела в пересчете на гинсенозиды; 4-я – опытная группа с ИФН и введением ЭКЖ в дозе 13,5 мг на 1 кг массы тела в пересчете на гинсенозиды; 5-я – опытная группа с ИФН и введением ЭКЖ в дозе 27 мг на 1 кг массы тела в пересчете на гинсенозиды. При общем размере выборки 40 объектов, при условии, что коэффициент вариации зависимой переменной не превышает 0,3, оценка точности не превышает 0,2 при уровне значимости 0,05, вероятность ошибки второго рода не превышает 0,1, что делает данный эксперимент релевантным и чувствительным в случае, если факторная нагрузка дает досто-

верный статистический отклик в отношении зависимой переменной. Для проведения параметрических методов анализа использовали критерий Шапиро–Уилка в качестве теста на нормальность. Для проверки на гомоскедастичность проводили тест Левена. В случае выполнения условий параметрического исследования использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). В случае отклонения нуль-гипотезы применяли множественное сравнение средних с использованием критерия Тьюки. В случае применения непараметрических методов анализа использовали аналоги: критерий Краскела–Уоллиса (H -критерий) с последующей процедурой множественного сравнения по критерию Дана. При множественном сравнении в случае как параметрического, так и непараметрического анализа проводили попарное сравнение: 1-я контрольная – с опытными группами и 2-я группа – с 3–5-й группами. Также сравнивали 1-ю контрольную и 2-ю опытную группы. Различия принимали за достоверные на уровне значимости $p < 0,05$. Расчеты выполняли в пакете программ SPSS 20.0.

Результаты

ИФН у крыс 2-й группы приводила к снижению относительного содержания интактных (живых) миофибрилл икроножной мышцы и возрастанию доли миофибрилл в апоптозе по сравнению с контрольной группой (рис. 1, 2; $p < 0,05$). Внутрижелудочное введение крысам ЭКЖ сопровождалось положительной динамикой возрастания относительного содержания интактных миофибрилл у крыс 4-й и 5-й групп по сравнению с показателем крыс 2-й группы, не получавших ЭКЖ (см. рис. 1; $p < 0,05$). Суммарное число миофибрилл в апоптозе у крыс 2, 3 и 5-й групп после ИФН превышало данный показатель у крыс контрольной группы (см. рис. 2; $p < 0,05$). Введение ЭКЖ животным 4-й (13,5 мг на 1 кг массы тела) и 5-й (27 мг на 1 кг массы тела) групп привело к снижению данного показателя по сравнению с таковым у крыс 2-й группы (см. рис. 2; $p < 0,05$). Используемая минимальная дозировка ЭКЖ у крыс 3-й группы (2,7 мг на 1 кг массы тела) не оказала достоверного влияния на исследованные показатели апоптоза (см. рис. 1, 2).

Обсуждение

Физические упражнения – концентрические, эксцентрические и изометрические – могут приводить к повреждению миофибрилл и цитоскелета мышц с активацией апоптоза. Физическая нагрузка высокой интенсивности, которой подвергались крысы в нашем эксперименте, привела к достоверному ($p < 0,05$) повышению суммарного числа миофибрилл в апоптозе (см. рис. 2). Ультраструктурное повреждение мышц и апоптоз являются патогенетической основой синдрома отсроченной

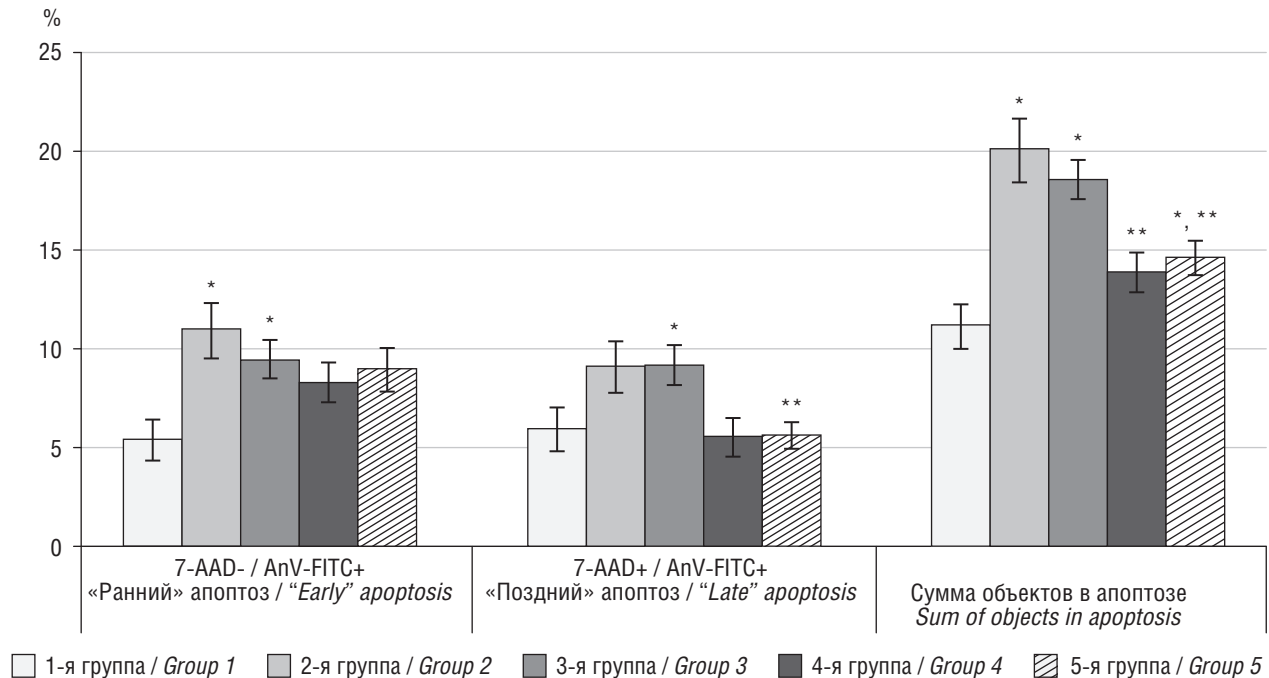


Рис. 2. Относительное содержание миофибрилл на разных стадиях апоптоза в икроножной мышце крыс

Статистически значимое отличие ($p < 0,05$) от показателя животных: * – контрольной группы; ** – 2-й группы.

Fig. 2. Relative content of myofibrils at different stages of apoptosis in the gastrocnemius muscle of rats

* – $p < 0.05$ – compared with control group; ** – $p < 0.05$ – compared with 2th group.

мышечной боли – наиболее распространенной причиной снижения спортивных результатов [16]. Клинически это проявляется экспрессией клеточных биомаркеров повреждения скелетных мышц, преимущественно провоспалительных [17]. Окислительный стресс и метаболические нарушения снижают сократительную способность мышечных волокон и приводят к мышечной усталости, основными причинами которой являются перетренированность или микротравмы [18].

Женьшень традиционно используется в качестве вспомогательного средства для лечения и профилактики различных воспалительных заболеваний [19]. Противовоспалительная роль БАВ женьшеня, в частности, определяется их способностью ингибировать эффекторные и воспалительные каспазы в процессе апоптоза [20]. В нашем исследовании показана положительная динамика снижения числа миофибрилл в апоптозе и повышение относительного содержания интактных миофибрилл у крыс, получавших ЭКЖ (см. рис. 1, 2). Наряду с протективным влиянием на миофибриллы после физических нагрузок женьшень (гинсенозиды) может инициировать мышечную регенерацию. Так, в работе J. Wu и соавт. [21] приведены результаты двойного слепого плацебо-контролируемого перекрестного исследования влияния женьшеня на структуру мышц с использованием биопсии. У 12 здоровых мужчин, которые принимали гинсенозид Rg1 (5 мг) или

плацебо за 1 ч до выполнения теста на велоэргометре в течение 1 ч при 70% VO_{2max} , брали биопсию из латеральной широкой мышцы бедра до, сразу после и через 3 ч после тренировки. Количество сателлитных клеток Pax7⁺ оценивали с помощью иммуногистохимического окрашивания. Сателлитные клетки являются маркерами, непосредственно связанными с регенерацией мышц [22]. В группе сравнения (плацебо) обнаружено снижение числа миосателлитоцитов Pax7⁺ на 36% по сравнению с исходным уровнем, уменьшение центрально-ядерных волокон мышцы на 46% через 3 ч после нагрузки. Эти изменения были полностью предотвращены приемом гинсенозида Rg1. Кроме того, после физической нагрузки в основной группе было констатируется повышение уровней экспрессии миогенных факторов мРНК Myf5 и мРНК Myf4, играющих ключевую роль в регуляции мышечной дифференцировки и миогенеза и являющихся маркерами миогенной индукции. Таким образом, авторами [21] получены объективные доказательства взаимосвязи между потреблением гинсенозидов и регенерацией мышц. Антиапоптотическое дозозависимое действие БАВ женьшеня, установленное в нашем исследовании, и доказательство последующей стимуляции регенерации миофибрилл свидетельствуют о наличии эффективных механизмов протективного действия гинсенозидов при повреждении мышц после интенсивных физических нагрузок.

Заключение

На модели ИФН у крыс показано дозозависимое анти-апоптотическое действие БАВ ЭКЖ на миофибриллы скелетной мускулатуры. Наиболее выраженный эффект наблюдается при введении ЭКЖ в суточной дозе 13,5 мг на 1 кг массы тела (в пересчете на гинсенозиды). При использовании минимальной дозировки (2,7 мг на 1 кг

массы тела) и максимальной дозировки (27 мг на 1 кг массы тела) ЭКЖ доля миофибрилл в апоптозе остается повышенной относительно показателя контрольной группы. Таким образом, результаты работы подтверждают концепцию, согласно которой одним из механизмов адаптогенного действия БАВ женьшеня является снижение активности процесса апоптоза миофибрилл скелетной мускулатуры, индуцированного ИФН.

Сведения об авторах

Трушина Элеонора Николаевна (Eleonora N. Trushina) – кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией иммунологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: trushina@ion.ru

<http://orcid.org/0000-0002-0035-3629>

Мустафина Оксана Константиновна (Oksana K. Mustafina) – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: mustafina@ion.ru

<http://orcid.org/0000-0001-7231-9377>

Аксенов Илья Владимирович (Ilya V. Aksenov) – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории энзимологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: aksenov@ion.ru

<http://orcid.org/0000-0003-4567-9347>

Красуцкий Александр Геннадьевич (Alexander G. Krasutsky) – научный сотрудник лаборатории энзимологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

<http://orcid.org/0000-0001-7271-9557>

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 ФГАУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), профессор кафедры экологии и безопасности пищи ФГАУ ВО РУДН им. П. Лумумбы (Москва, Российская Федерация)

E-mail: tutelyan@ion.ru

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

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 ИПО ФГАУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), профессор кафедры экологии и безопасности пищи ФГАУ ВО РУДН им. П. Лумумбы (Москва, Российская Федерация)

E-mail: dimitrynik@mail.ru

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

Литература

1. Powers S.K., Deminice R., Ozdemir M., Yoshihara T., Bomkamp M.P., Hyatt H. Exercise-induced oxidative stress: friend or foe? // *J. Sport Health Sci.* 2020. Vol. 9. P. 415–425. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.04.001>
2. Buchheit M., Laursen P.B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle // *Sports Med.* 2013. Vol. 43, N 5. P. 313–338. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
3. Azad M., Khaledi N., Hedayat M., Karbalaie M. Apoptotic response to acute and chronic exercises in rat skeletal muscle: eccentric & sprint interval // *Life Sci.* 2021. Vol. 270. Article ID 119002. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2020.119002>
4. Zhao X.Q., You J.Q., Liu X.R., Sun J.Z., Li J.P., Wang R.Y. Effects of heavy-load exercise on skeletal muscle cells apoptosis and mechanisms of mitochondrial apoptosis in rats // *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi.* 2022. Vol. 38, N 5. P. 569–576. DOI: <https://doi.org/10.12047/j.cjap.6319.2022.106>
5. Huang F., Huang M., Zhang H., Zhang C.J., Zhang D.Q., Zhou G.H. Changes in apoptotic factors and caspase activation pathways during the postmortem aging of beef muscle // *Food Chem.* 2016. Vol. 190. P. 110–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.056>
6. Braakhuis A.J., Somerville V.X., Hurst R.D. The effect of New Zealand blackcurrant on sport performance and related biomarkers: a systematic review and meta-analysis // *J. Int. Soc Sports Nutr.* 2021. Vol. 18, N 1. P. 8. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00398-x>
7. Rathore S., Khuntia B.K., Wadhawan M., Sharma V., Sharma G. Herbal adaptogens: an integrative approach for enhancing performance and resilience in athletes // *Phytother. Res.* 2022. Vol. 36, N 10. P. 3678–3680. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.7529>
8. Megna M., Amico A.P., Cristella G., Saggini R., Jirillo E., Ranieri M. Effects of herbal supplements on the immune system in relation to exercise // *Int. J. Immunopathol. Pharmacol.* 2012. Vol. 25, N 1. Suppl. P. 43S–49S. DOI: <https://doi.org/10.1177/03946320120250s107>
9. Ru W., Wang D., Xu Y., He X., Sun Y.E., Qian L. et al. Chemical constituents and bioactivities of *Panax ginseng* (C. A. Mey.) // *Drug Discov. Ther.* 2015. Vol. 9. P. 23–32. DOI: <https://doi.org/10.5582/ddt.2015.01004>
10. Zhou S., Zhou J., Xu J., Shen H., Kong M., Yip K. et al. Ginseng ameliorates exercise-induced fatigue potentially by regulating the gut microbiota // *Food Funct.* 2021. Vol. 12. P. 3954–3964. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0FO03384G>
11. Zha W., Sun Y., Gong W., Li L., Kim W., Li H. Ginseng and ginsenosides: therapeutic potential for sarcopenia // *Biomed. Pharmacother.* 2022. Vol. 156. Article ID 113876. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113876>
12. Muñoz-Castellanos B., Martínez-López P., Bailón-Moreno R., Esquius L. Effect of ginseng intake on muscle damage induced by exercise in healthy adults // *Nutrients.* 2024. Vol. 16, N 1. P. 90. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16010090>
13. Kravchenko L.V., Aksenov I.V., Nikitin N.S., Guseva G.V., Avrenyeva L.I., Trusov N.V. et al. Lipoic acid exacerbates oxidative stress and lipid accumulation in the liver of Wistar rats fed a hypercaloric choline-deficient diet // *Nutrients.* 2021. Vol. 13, N 6. P. 1999. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13061999>

14. Трушина Э.Н., Мустафина О.К., Аксенов И.В., Красуцкий А.Г., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А. Биологически активные вещества – антоцианины как фактор алиментарного восстановления адаптационного потенциала организма после интенсивной физической нагрузки в эксперименте: оценка иммунологических и гематологических показателей адаптации // Вопросы питания. 2023. Т. 92, № 1. С. 6–15. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-6-15>
15. Трушина Э.Н., Мустафина О.К., Аксенов И.В., Красуцкий А.Г., Никитюк Д.Б. Протективное действие антоцианинов на апоптоз миоцитов икроножной мышцы крыс после интенсивной физической нагрузки // Вопросы питания. 2022. Т. 91, № 4. С. 47–53. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-4-47-53>
16. Tanabe Y., Fujii N., Suzuki K. Dietary supplementation for attenuating exercise-induced muscle damage and delayed-onset muscle soreness in humans // *Nutrients*. 2021. Vol. 14. P. 70. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14010070>
17. Powers S.K., Deminice R., Ozdemir M., Yoshihara T., Bomkamp M.P., Hyatt H. Exercise-induced oxidative stress: friend or foe? // *J. Sport Health Sci.* 2020. Vol. 9. P. 415–425. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.04.001>
18. Constantin-Teodosiu D., Constantin D. Molecular mechanisms of muscle fatigue // *Int. J. Mol. Sci.* 2021. Vol. 22. Article ID 11587. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms222111587>
19. Kim J.H., Yi Y.S., Kim M.Y., Cho J.Y. Role of ginsenosides, the main active components of *Panax ginseng*, in inflammatory responses and diseases // *J. Ginseng Res.* 2017. Vol. 41. P. 435–443. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2016.08.004>
20. Yun M., Yi Y.-S. Regulatory roles of ginseng on inflammatory caspases, executioners of inflammasome activation // *J. Ginseng Res.* 2020. Vol. 44, N 3. P. 373–385. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2019.12.006>
21. Wu J., Saavieng S., Cheng I.-S., Jensen J., Jean W.-H., Alkhatib A. et al. Satellite cells depletion in exercising human skeletal muscle is restored by ginseng component Rg1 supplementation // *J. Funct. Foods*. 2019. Vol. 58. P. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.04.032>
22. Murach K.A., Fry C.S., Dupont-Versteegden E.E., McCarthy J.J., Peterson C.A. Fusion and beyond: satellite cell contributions to loading-induced skeletal muscle adaptation // *FASEB J.* 2021. Vol. 35. Article ID e21893. DOI: <https://doi.org/10.1096/fj.202101096R>

References

1. Powers S.K., Deminice R., Ozdemir M., Yoshihara T., Bomkamp M.P., Hyatt H. Exercise-induced oxidative stress: friend or foe? *J Sport Health Sci.* 2020; 9: 415–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.04.001>
2. Buchheit M., Laursen P.B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. *Sports Med.* 2013; 43 (5): 313–38. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
3. Azad M., Khaledi N., Hedayati M., Karbalaie M. Apoptotic response to acute and chronic exercises in rat skeletal muscle: eccentric & sprint interval. *Life Sci.* 2021; 270: 119002. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2020.119002>
4. Zhao X.Q., You J.Q., Liu X.R., Sun J.Z., Li J.P., Wang R.Y. Effects of heavy-load exercise on skeletal muscle cells apoptosis and mechanisms of mitochondrial apoptosis in rats. *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi.* 2022; 38 (5): 569–76. DOI: <https://doi.org/10.12047/j.cjap.6319.2022.106>
5. Huang F., Huang M., Zhang H., Zhang C.J., Zhang D.Q., Zhou G.H. Changes in apoptotic factors and caspase activation pathways during the postmortem aging of beef muscle. *Food Chem.* 2016; 190: 110–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.056>
6. Braakhuis A.J., Somerville V.X., Hurst R.D. The effect of New Zealand blackcurrant on sport performance and related biomarkers: a systematic review and meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr.* 2021; 18 (1): 8. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00398-x>
7. Rathore S., Khuntia B.K., Wadhawan M., Sharma V., Sharma G. Herbal adaptogens: an integrative approach for enhancing performance and resilience in athletes. *Phytother Res.* 2022; 36 (10): 3678–80. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.7529>
8. Megna M., Amico A.P., Cristella G., Saggini R., Jirillo E., Ranieri M. Effects of herbal supplements on the immune system in relation to exercise. *Int J Immunopathol Pharmacol.* 2012; 25 (1 suppl): 43S–9S. DOI: <https://doi.org/10.1177/03946320120250s107>
9. Ru W., Wang D., Xu Y., He X., Sun Y.E., Qian L., et al. Chemical constituents and bioactivities of *Panax ginseng* (C. A. Mey.). *Drug Discov Ther.* 2015; 9: 23–32. DOI: <https://doi.org/10.5582/ddt.2015.01004>
10. Zhou S., Zhou J., Xu J., Shen H., Kong M., Yip K., et al. Ginseng ameliorates exercise-induced fatigue potentially by regulating the gut microbiota. *Food Funct.* 2021; 12: 3954–64. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0FO03384G>
11. Zha W., Sun Y., Gong W., Li L., Kim W., Li H. Ginseng and ginsenosides: therapeutic potential for sarcopenia. *Biomed Pharmacother.* 2022; 156: 113876. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113876>
12. Muñoz-Castellanos B., Martínez-López P., Bailón-Moreno R., Esquius L. Effect of ginseng intake on muscle damage induced by exercise in healthy adults. *Nutrients.* 2024; 16 (1): 90. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16010090>
13. Kravchenko L.V., Aksekov I.V., Nikitin N.S., Guseva G.V., Avrenyeva L.I., Trusov N.V., et al. Lipoic acid exacerbates oxidative stress and lipid accumulation in the liver of Wistar rats fed a hypercaloric choline-deficient diet. *Nutrients.* 2021; 13 (6): 1999. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13061999>
14. Trushina E.N., Mustafina O.K., Aksekov I.V., Krasutsky A.G., Nikityuk D.B., Tutel'yan V.A. Bioactive compounds anthocyanins as a factor in the nutritional recovery of the body's adaptive potential after intense physical activity in the experiment: assessment of immunological and hematological indicators of adaptation. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition].* 2023; 92 (1): 6–15. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-6-15> (in Russian)
15. Trushina E.N., Mustafina O.K., Aksekov I.V., Krasutsky A.G., Nikityuk D.B. Protective effect of anthocyanins on apoptosis of gastrocnemius muscle myocytes of rats after intense exercise. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition].* 2022; 91 (4): 47–53. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-4-47-53> (in Russian)
16. Tanabe Y., Fujii N., Suzuki K. Dietary supplementation for attenuating exercise-induced muscle damage and delayed-onset muscle soreness in humans. *Nutrients.* 2021; 14: 70. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14010070>
17. Powers S.K., Deminice R., Ozdemir M., Yoshihara T., Bomkamp M.P., Hyatt H. Exercise-induced oxidative stress: friend or foe? *J Sport Health Sci.* 2020; 9: 415–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.04.001>
18. Constantin-Teodosiu D., Constantin D. Molecular mechanisms of muscle fatigue. *Int J Mol Sci.* 2021; 22: 11587. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms222111587>
19. Kim J.H., Yi Y.S., Kim M.Y., Cho J.Y. Role of ginsenosides, the main active components of *Panax ginseng*, in inflammatory responses and diseases. *J Ginseng Res.* 2017; 41: 435–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2016.08.004>
20. Yun M., Yi Y.-S. Regulatory roles of ginseng on inflammatory caspases, executioners of inflammasome activation. *J Ginseng Res.* 2020; 44 (3): 373–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2019.12.006>
21. Wu J., Saavieng S., Cheng I.-S., Jensen J., Jean W.-H., Alkhatib A., et al. Satellite cells depletion in exercising human skeletal muscle is restored by ginseng component Rg1 supplementation. *J Funct Foods.* 2019; 58: 27–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.04.032>
22. Murach K.A., Fry C.S., Dupont-Versteegden E.E., McCarthy J.J., Peterson C.A. Fusion and beyond: satellite cell contributions to loading-induced skeletal muscle adaptation. *FASEB J.* 2021; 35: e21893. DOI: <https://doi.org/10.1096/fj.202101096R>

Для корреспонденции

Шипелин Владимир Всеволодович – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории пищевой токсикологии и оценки безопасности нанотехнологий ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Адрес: 109240, Российская Федерация, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14

Телефон: (495) 698-53-68

E-mail: v.shipelin@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0015-8735>

Шипелин В.А.¹, Холина А.В.², Замятина А.В.², Мазо В.К.¹, Никитюк Д.Б.¹

Влияние фикоцианинов из *Arthrospira platensis* на эффективность иммунизации противокоронавирусной вакциной *in vivo*

The effect of phycocyanins from *Arthrospira platensis* on the efficacy of immunization with an anti-coronavirus vaccine *in vivo*

Shipelin V.A.¹, Kholina A.V.², Zamyatina A.V.², Mazo V.K.¹, Nikityuk D.B.¹

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

² Филиал федерального государственного бюджетного учреждения науки Государственного научного центра Российской Федерации Института биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук, 142290, г. Пущино, Московская область, Российская Федерация

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

² Branch of the Scientific Center of the Russian Federation of the Institute of Bioorganic Chemistry named after Academicians M.M. Shemyakin and Yu.A. Ovchinnikov of the Russian Academy of Sciences, 142290, Pushchino, Moscow region, Russian Federation

*Создание отечественных специализированных пищевых продуктов, предназначенных для повышения устойчивости иммунной системы человека к вирусным инфекциям, является актуальным разделом современной нутрициологии. Фикоцианины (ФЦ) пищевой цианобактерии *Arthrospira platensis* обладают потенциальными иммуномодулирующими свойствами. Существенный интерес представляет исследование возможности применения концентратов ФЦ в качестве пероральных иммуностимуляторов и/или иммуноадьювантов в сценариях вакцинации.*

Финансирование. Работа проведена за счет средств гранта РФ № 22-16-00006 (<https://rscf.ru/project/22-16-00006/>).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Никитюк Д.Б., Мазо В.К., Шипелин В.А.; сбор и обработка данных – Холина А.В., Замятина А.В., Шипелин В.А.; написание текста – Шипелин В.А., Холина А.В., Замятина А.В.; редактирование – Никитюк Д.Б., Мазо В.К.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Благодарности. Авторы благодарят сотрудников ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» Н.А. Бирюлину, доктора технических наук, проф. А.Л. Новокшанову, кандидата технических наук А.С. Билялову за представленные для исследования образцы ФЦ и Модуля, кандидата биологических наук В.А. Саркисяна за помощь в обработке данных динамики специфических IgG методом главных компонент; академика РАН, доктора биологических наук Д.Ю. Логунова (ФГБУ «НИЦЭМ им. Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России) и чл.-корр. РАН, доктора медицинских наук А.В. Тутельяна (ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора) за помощь в разработке *in vivo* модели для изучения иммуномодулирующих свойств; доктора биологических наук, проф. А.Н. Мурашева (Филиал ГНЦ ИБХ РАН) за идеи концепции исследования и обсуждение полученных результатов.

Для цитирования: Шипелин В.А., Холина А.В., Замятина А.В., Мазо В.К., Никитюк Д.Б. Влияние фикоцианинов из *Arthrospira platensis* на эффективность иммунизации противокоронавирусной вакциной *in vivo* // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 1. С. 118–130. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-118-130>

Статья поступила в редакцию 11.12.2024. **Принята в печать** 05.02.2025.

Цель настоящего исследования – изучение способности концентрата ФЦ и комплекса ФЦ с яичным белком (Модуль) оказывать влияние на состояние звеньев клеточно-опосредованного и гуморального иммунитета у лабораторных грызунов – мышей BALB/c – на разработанной модели ослабленной вакцинации препаратом «Спутник V».

Материал и методы. В эксперименте использовали 34 самца мышей линии BALB/c с исходной массой тела $20,0 \pm 1,0$ г в возрасте 4–5 нед. Были сформированы 5 групп: контроль, ФЦ-200, ФЦ-420, Модуль-200 и Модуль-420. Концентрат ФЦ и Модуль вводили перорально ежедневно в течение 49 сут в дозах 200 и 420 мг на 1 кг массы тела (в пересчете на ФЦ). Вакцину «Спутник V» для профилактики коронавирусной инфекции SARS-CoV-2 человека вводили всем животным на 29-е и 50-е сутки. При изучении иммуноадъювантного потенциала концентрата ФЦ и Модуля на 49, 57, 64, 141 и 171-й день методом иммуноферментного анализа оценивали уровни иммуноглобулинов класса G (IgG) к SARS-CoV-2. На 28, 31 и 51-й дни методом цитометрии оценивали иммуностимулирующие свойства путем иммунофенотипирования лимфоцитов крови. По окончании эксперимента на 190-е сутки оценивали интегральные, гематологические и биохимические (сыворотка крови) показатели.

Результаты. При оценке иммуноадъювантных свойств концентрата ФЦ и Модуля на 64-е сутки обнаружено значительное увеличение титров IgG до $1/115\,000$ и $1/128\,000$ у животных групп Модуль-200 и Модуль-420 соответственно. У мышей группы Модуль-200 на 141-е сутки концентрация антител была выше контроля практически в 2 раза. С 141-х по 171-е сутки наблюдались повышенные титры антител во всех опытных группах по сравнению с контролем. При исследовании иммуностимулирующих свойств изучаемых объектов на 31-й день исследования у животных групп Модуль-200 и Модуль-420 установлено увеличение численности субпопуляции цитотоксических Т-лимфоцитов на 29 и 42% соответственно. По окончании эксперимента были выявлены незначительные сдвиги в биохимических показателях крови, отсутствовали изменения в гематологических показателях; у мышей группы Модуль-420 обнаружено увеличение массы сердца на 11,7%.

Заключение. Проведенный эксперимент продемонстрировал наличие иммуноадъювантных свойств у концентрата ФЦ и Модуля, особенно выраженных в группе Модуль-200. Модуль оказывал иммуностимулирующее действие на клеточно-опосредованный иммунитет. Выраженность эффектов у Модуля в отличие от концентрата ФЦ, по всей видимости, связана с его лучшей стабильностью в условиях среды желудочно-кишечного тракта. Необходимы дальнейшие исследования секреторной активности иммунокомпетентных клеток, которые могут пролить свет на природу воздействия ФЦ на ключевые звенья иммунной системы.

Ключевые слова: *Arthrospira platensis*; фикоцианины; концентрат фикоцианинов; белковый комплекс фикоцианина; доклинические исследования; иммуномодулятор; иммуноадъювант; SARS-CoV-2

The creation of food for special dietary use designed to increase the resistance of the human immune system to viral infections is an vital section of modern nutrition science. Phycocyanins (PC) of the Arthrospira platensis food cyanobacterium possess potential immunomodulatory properties. The study of the possibility of using PC as oral immunostimulants and/or immunoadjuvants in vaccination scenarios is of significant interest.

Funding. This research was funded by the Russian Science Foundation (grant number № 22-16-00006, <https://rscf.ru/project/22-16-00006/>).

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

Contribution. The concept and design of the study – Nikityuk D.B., Mazo V.K., Shipelin V.A.; data collection and processing – Kholina A.V., Zamyatina A.V., Shipelin V.A.; writing – Shipelin V.A., Zamyatina A.V., Kholina A.V.; editing – Nikityuk D.B., Mazo V.K.; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

Acknowledgements. The authors would like to express their gratitude to the employees of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety – Mrs. N.A. Biryulina, Prof. A.L. Novokshanova, Dr. A.S. Bilyalova for the samples of the PC concentrate and Module used in the research; Dr. V.A. Sarkisyan for assistance in processing data on the dynamics of specific IgG using the principal component analysis; Academician of the Russian Academy of Sciences D.Yu. Logunov (National Research Center for Epidemiology and Microbiology named after Honorary Academician N.F. Gamaleya, Ministry of Health of the Russian Federation) and Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences A.V. Tutelyan (Central Scientific Research Institute of Epidemiology) for support in the development of an *in vivo* model for studying immunomodulatory properties; Prof. A.N. Murashev (The Branch of the IBCh RAS in Pushchino) for the ideas of the research concept and discussion of the result.

For citation: Shipelin V.A., Kholina A.V., Zamyatina A.V., Mazo V.K., Nikityuk D.B. The effect of phycocyanins from *Arthrospira platensis* on the efficacy of immunization with an anti-coronavirus vaccine *in vivo*. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2025; 94 (1): 118–30. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-1-118-130> (in Russian)

Received 11.12.2024. **Accepted** 05.02.2025.

The purpose of this research was to study the ability of PC concentrate and PC complex with egg protein (Module) to influence the state of cell-mediated and humoral immunity in laboratory rodents – BALB/c mice on the developed model of attenuated vaccination with Sputnik-V.

Material and methods. The experiment involved 34 male BALB/c mice with an initial body weight of 20.0 ± 1.0 g at the age of 4–5 weeks. 5 groups were formed: “Control”, “PC-200”, “PC-420”, “Module-200” and “Module-420”. The PC concentrate and the Module were administered orally daily for 49 days at doses of 200 and 420 mg/kg body weight (in terms of PC). The Sputnik-V vaccine for the prevention of human SARS-CoV-2 coronavirus infection was administered to all animals on days 29 and 50. When studying the immunoadjuvant potential of PC concentrate and Module on days 49, 57, 64, 141 and 171, IgG levels to SARS-CoV-2 were assessed by enzyme-linked immunosorbent assay. On days 28, 31 and 51, immunostimulating properties were evaluated by cytometry by means of immunophenotyping blood lymphocytes. At the end of the experiment, integral, hematological, and biochemical (blood serum) parameters were evaluated on day 190.

Results. When evaluating the immunoadjuvant properties of PC concentrate and Module on day 64, a significant increase in IgG titers to 1/115 000 and 1/128 000 was observed in Module-200 and Module-420 groups, respectively. In the Module-200 group, on day 141, the concentration of antibodies was almost 2 fold higher than the control ones. From days 141 to 171, increased antibody titers were observed in all experimental groups compared with the control. When studying the immunostimulating properties of the surveyed objects on the 31st day of the experiment, an increase in the number of cytotoxic T-cell subpopulations by 29 and 42%, respectively, was found in the Module-200 and Module-420 groups. At the end of the experiment, minor shifts in blood biochemical parameters were revealed, there were no changes in hematological parameters; an 11.7% increase in heart mass was found in the Module-420 group.

Conclusion. The experiment demonstrated the presence of immunoadjuvant properties in PC concentrate and Module, especially expressed in the Module-200 group. The Module had immunostimulating effect on cell-mediated immunity. The manifestation of the Module effects, in contrast to the PC concentrate, is apparently due to its better stability in the gastrointestinal tract environment. Further studies of the secretory activity of immunocompetent cells are needed, which may shed light on the nature of the effect of PC on key parts of the immune system.

Keywords: *Arthrospira platensis*; phycocyanins; phycocyanin concentrate; phycocyanin protein complex; preclinical studies; immunomodulator; immunoadjuvant; SARS-CoV-2

Пандемия COVID-19 продемонстрировала важность нутриентной поддержки организма человека как с позиции противодействия вирусу SARS-CoV-2, так и для формирования устойчивого гуморального иммунного ответа при вакцинации [1, 2]. Создание отечественной специализированной пищевой продукции диетического профилактического питания, предназначенной для повышения устойчивости иммунной системы человека к вирусным инфекциям, является актуальным разделом современной нутрициологии. Важным этапом, определяющим возможность дальнейшей клинической апробации такой продукции, является доклиническое тестирование разработанных пищевых ингредиентов на экспериментальных моделях.

Выбор пищевого иммуномодулятора для этих целей определяется его способностью влиять на совокупность реакций иммунного ответа, активируемых для защиты организма от инфекционных агентов [3]. Иммуномодуляторы классифицируются на иммуностимуляторы, иммуноадьюванты и иммунодепрессанты [4]. Если иммунодепрессанты применяются для ингибирования аномального гуморального и клеточного иммунитета при лечении аутоиммунных заболеваний, то иммуностимуляторы воздействуют неспецифически и используются для повышения устойчивости орга-

низма к инфекции, действуя как через врожденные, так и через адаптивные механизмы иммунного ответа [5]. Иммуноадьюванты, в свою очередь, находят применение для повышения эффективности гуморального иммунного ответа при вакцинации, не вызывая специфических антигенных эффектов [3, 5].

Помимо разнообразных растительных источников природных биологически активных веществ (БАВ) [3] с широко изученными иммуномодулирующими свойствами [эхинацея (*Echinacea purpurea* L.), лакрица (*Glycyrrhiza glabra* L.), куркума (*Curcuma longa* L.) и др.], отдельный интерес представляет исследование БАВ из морских организмов, в частности из микроводорослей и цианобактерий [6, 7]. К числу последних относится *Arthrospira platensis* (*A. platensis*), содержащая наряду с незначительным количеством макроэлементов (калий, кальций, магний, фосфор, натрий) ряд микроэлементов (медь, железо, марганец, цинк, хром, селен), витамины группы В (В₁, В₂, В₃), К, D и Е, природные фотосинтетические пигменты – фикобилипротеины, которые являются основным источником фикоцианинов (ФЦ), а также хлорофиллы и каротиноиды [8].

Фикобилипротеины *A. platensis* (С-ФЦ и аллофикоцианин) обладают потенциальными антиоксидантными, антиканцерогенными, противовоспалительными,

антимикробными и противовирусными свойствами [9, 10]. Несмотря на многолетнюю историю исследований *A. platensis* в научной литературе представлено незначительное количество экспериментальных работ, посвященных изучению иммуномодулирующих свойств ФЦ *in vivo*. В работе [11] установлено усиление иммунного ответа, выраженное в достоверном увеличении сывороточной концентрации интерферона γ у более чем 50% мужчин 40–65 лет, употреблявших в течение 2 мес концентрированный водный экстракт *A. platensis*. В 2 независимых исследованиях было показано существенное воздействие 7-дневного потребления экстракта на основе *A. platensis* на активность NK-клеток у здоровых североамериканцев и датчан, проявляющееся в увеличении экспрессии мРНК маркеров NK-клеток NKG2D, NK- и Т-клеток перфорина [12, 13]. В 30-дневном исследовании подострой пероральной токсичности [14] у мышей линии BALB/c С-ФЦ не вызывал неблагоприятных эффектов даже при максимальной дозе 2000 мг на 1 кг массы тела. Вместе с этим при изучении концентрации 12 цитокинов в сыворотке крови было обнаружено, что С-ФЦ дозозависимо подавляет синтез провоспалительных цитокинов (интерферона γ и фактора некроза опухоли α) на фоне повышения уровней противовоспалительного цитокина – интерлейкина 10. Таким образом, проведенные исследования ФЦ *in vivo* демонстрируют их безопасность и иммуномодулирующий потенциал.

Несмотря на широкий круг научных исследований по использованию биомассы *A. platensis* в питании в доступной научной литературе отсутствуют сведения об ее использовании в качестве пищевых ингредиентов в составе специализированной пищевой продукции, предназначенной для повышения эффективности иммунизации, в том числе при коронавирусных инфекциях. В этой связи существенный интерес представляет исследование возможности применения концентратов ФЦ в качестве пероральных иммуностимуляторов или иммуноадьювантов в сценариях вакцинации. Вместе с этим следует учитывать, что ФЦ являются фото- и термочувствительными соединениями [15], восприимчивыми к деградации в ходе технологического процесса или при хранении. Кроме того, важным дестабилизирующим фактором ФЦ является кислотность среды, оказывающая влияние на скорость их денатурации и/или протеолиза [16], особенно в процессе желудочно-кишечного переваривания [17]. Создание комплексов ФЦ с различными белками, как это показано для других светочувствительных микронутриентов, может, по-видимому, снизить степень их деградации [18].

Целью настоящего исследования была экспериментальная оценка способности концентратов фикобиопротеинов и их комплексов с яичным белком оказывать влияние на состояние звеньев клеточно-опосредованного и гуморального иммунитета у лабораторных грызунов – мышей BALB/c – на разработанной модели ослабленной двукратной иммунизации вакциной «Спутник V».

Материал и методы

Характеристика использованных концентратов фикоцианинов

Объектом исследования был образец сухой биомассы *A. platensis* (НПО «Биосоляр МГУ», РФ). Для проведения *in vivo* исследований получали экстракт ФЦ с его последующим концентрированием согласно ранее описанной методике [19]. Полученный сухой концентрат ФЦ характеризовался степенью чистоты 1,98; суммарное содержание ФЦ (С-ФЦ и аллофикоцианина) составляло $50,9 \pm 0,7\%$. Полученный концентрат использовали для приготовления сухого пищевого ингредиента (далее – Модуль), представляющего собой комплекс концентрата ФЦ *A. platensis* с яичным белком, добавленным в соотношении 5:1 (белок : ФЦ). Для этого навеску сухого концентрата ФЦ вносили в раствор яичного белка, произведенного по ГОСТ 30363-2013 (АО «РусАгроГрупп ПКФ», РФ), перемешивали, охлаждали до $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и лиофильно высушивали. Массовая доля ФЦ в Модуле составляла $8,8 \pm 0,2\%$. Методом флуоресцентной спектроскопии было показано [20] образование связи между ФЦ и аминокислотами, входящими в состав яичного белка, с последующим экранированием молекул ФЦ от действия возбуждающего излучения. Таким образом, ФЦ в составе Модуля в определенной степени изолированы от действия внешних факторов, что может влиять на их стабильность при хранении и переработке [20].

Следование нормативным стандартам

Исследование проведено на базе Центра биологических испытаний Филиала ГНЦ ФИБХ РАН, имеющего сертификаты соответствия принципам надлежащей лабораторной практики Федеральной службы аккредитации (приказ № НЛП-4 от 03.03.2022) и GLP OECD Турецкого аккредитационного агентства TÜRKAK (AB-0028-II от 19.03.2024). Исследование было проведено в соответствии с межгосударственным стандартом «Принципы надлежащей лабораторной практики» (ГОСТ 33044-2014). Условия содержания и ухода за животными соответствовали ГОСТ 33216 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами» и Директиве 2010/63/EU по защите животных, используемых в научных целях. При проведении эксперимента не было зарегистрировано отклонений, способных повлиять на интерпретацию полученных данных. Все экспериментальные манипуляции выполняли согласно утвержденным в лаборатории стандартным операционным процедурам.

Обращение с экспериментальными животными и этические стандарты

Процедуры с животными были рассмотрены и утверждены биоэтической комиссией Филиала ГНЦ ФИБХ РАН (протокол № 939/23 от 23.06.2023). В эксперименте использовали 34 самца мышей линии BALB/c с исходной

Таблица 1. Группы животных и использованные в эксперименте дозы исследуемых препаратов

Table 1. Animal groups and doses used in the experiment

Группа <i>Group</i>	Доза ФЦ, мг на 1 кг массы тела <i>PC dose, mg/kg body weight</i>	Объем введения <i>The volume of the introduction</i>	Вакцинирование противокоронавирусной вакциной <i>Vaccination of anticoronavirus vaccine</i>	Количество животных <i>The number of animals</i>
Контроль / <i>Control</i>	–	10 мл на 1 кг массы тела <i>10 ml/kg body weight</i>	1-й компонент на 29-й день исследования в/м* 50 мкл <i>1st component on the 29th day of the experiment i/m* 50 µl</i>	6
ФЦ-200 / <i>PC-200</i>	200			7
ФЦ-420 / <i>PC-420</i>	420			7
Модуль-200 / <i>Module-200</i>	200		2-й компонент на 50-й день исследования в/м 50 мкл <i>2nd component on the 50th day of the experiment i/m 50 µl</i>	7
Модуль-420 / <i>Module-420</i>	420			7

П р и м е ч а н и е. * – внутримышечно. Здесь и в табл. 2, 3: расшифровка аббревиатур дана в тексте.

N o t e. * – intramuscular. Here and in tables 2, 3: explanation of abbreviations is given in the text.

массой тела $20,0 \pm 1,0$ г в возрасте 4–5 нед, полученных из НПП «Питомник лабораторных животных» ГНЦ ФИБХ РАН (Пущино, Московская область, РФ). Производителем животных были предоставлены сведения о контроле их здоровья, подтверждающие статус SPF-животных (свободные от определенных патогенов). Мышей содержали по отдельности в поликарбонатных клетках в комнате барьерного типа. В клетки помещали дополнительно материал обогащения окружающей среды (древесные волокна Lignocel Nesting, JRS, Германия). Условия параметров микроклимата в комнатах содержания животных соответствовали требованиям руководства [21]. Мышей содержали в контролируемых условиях окружающей среды при температуре 20–24 °C, относительной влажности 30–55%, 10-кратной смене объема воздуха комнаты в час и 12-часовом цикле освещения: «день» – 08:00–20:00, «ночь» – 20:00–08:00. Животные получали *ad libitum* воду, очищенную на установке Milli-RO, и стандартный гранулированный автоклавируемый корм для содержания лабораторных грызунов (Altromin 1324).

Дизайн исследования

В основе дизайна исследования лежали рекомендации по проведению доклинических испытаний лекарственных веществ [22]. Были сформированы 5 групп по 6 и 7 особей в каждой (табл. 1). Тестируемые объекты (концентрат ФЦ и Модуль) вводили животным перорально зондом в желудок в дозах 200 и 420 мг на 1 кг массы тела ежедневно в течение 49 сут (в объеме 10 мл/кг). Дозы для 2–5-й групп (см. табл. 1) рассчитывали исходя из процентного содержания ФЦ в концентрате (2-я и 3-я группы) и Модуле (4-я и 5-я группы), в соответствии с последними значениями массы тела. Комбинированную векторную вакцину «Гам-КОВИД-Вак» («Спутник V») для профилактики коронавирусной инфекции человека вводили двукратно на 29-й и 50-й день исследования внутримышечно в объеме 50 мкл в четырехглавую мышцу бедра.

Всех животных ежедневно осматривали для своевременного выявления отклонений после тестируемых объ-

ектов. Массу тела регистрировали перед началом введения препаратов и далее еженедельно в течение всего исследования. В ходе прижизненной фазы исследования на 49, 57, 64, 141 и 171-й день у животных собирали образцы крови в объеме 100 мкл для получения сыворотки с последующим проведением иммуноферментного анализа (ИФА) для изучения уровней иммуноглобулинов класса G (IgG) к рецептор-связывающему домену поверхностного гликопротеина S (spike) коронавируса SARS-CoV-2. Образцы крови помещали в пробирки без антикоагулянта, оставляли для сворачивания в течение 60 мин, центрифугировали (1600 g, 4 °C, 15 мин) и хранили при температуре -15...-25 °C до проведения анализа. Для оценки клеточного иммунного ответа (иммунофенотипирование лимфоцитов) образцы цельной крови (100 мкл) были собраны на 28, 31 и 51-й день исследования. Кровь брали из латеральной хвостовой вены с помощью катетера с иглой 26G. Образцы крови помещали в пробирки, содержащие K₃EDTA, и сразу передавали для анализа.

В конце прижизненной фазы на 190-й день исследования животные были подвергнуты эвтаназии путем анестезии (Телазол®/Ксиланит®) с последующим терминальным взятием крови из нижней полой вены для оценки гематологических и биохимических показателей крови. Для анализа гематологии образцы крови помещали в пробирки Microvette®, содержащие K₃ЭДТА. Для биохимического анализа образцы крови помещали в пробирки без антикоагулянта, оставляли в течение 60 мин для сворачивания и центрифугировали (1600 g, 4 °C, 15 мин). Полученную сыворотку хранили при температуре -15...-25 °C до проведения анализа. При некропсии были оценены интегральные показатели – процентные отношения массы органов (головной мозг, почки, сердце, надпочечники, легкие, печень, тимус и селезенка) к массе тела. Схема эксперимента представлена на рис. 1.

Вакцина

Для иммунизации животных была использована комбинированная векторная вакцина «Гам-КОВИД-Вак» («Спутник V»), Филиал «Медгамал» ФГБУ «НИЦЭМ



Рис. 1. Схема 190-дневного исследования по изучению иммуномодулирующих свойств концентрата фикоцианинов (ФЦ) и Модуля

Fig. 1. Scheme of a 190-day study on the immunomodulatory properties of phycocyanins (PC) concentrate and Module

им. Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России, РФ) для профилактики коронавирусной инфекции, вызываемой вирусом SARS-CoV-2. Вакцина состоит из 2 компонентов: компонент I и компонент II. В состав компонента I входит рекомбинантный аденовирусный вектор на основе аденовируса человека 26-го серотипа, несущий ген белка S вируса SARS-CoV-2 в количестве $(1,0 \pm 0,5) \times 10^{11}$ частиц/доза. В состав компонента II входит рекомбинантный аденовирусный вектор на основе аденовируса человека 5-го серотипа, несущий ген белка S вируса SARS-CoV-2 в количестве $(1,0 \pm 0,5) \times 10^{11}$ частиц/доза.

Оценка показателей гуморального иммунного ответа методом иммуноферментного анализа

В качестве реагентов для ИФА были использованы наборы для иммуноферментного выявления IgG к рецептор-связывающему домену поверхностного гликопротеина S (spike) коронавируса SARS-CoV-2 «SARS-CoV-2-RBD-ИФА-Гамалеи» по ТУ 21.20.23-090-01894956-2020 (Филиал «Медгамал» ФГБУ «НИЦЭМ им. Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России, РФ). Определение проводили согласно рекомендациям производителя со следующей модификацией: после отмывки несвязавшихся антител, в качестве конъюгата вносили моноклональные антитела к IgG мыши (XpressBio, США), конъюгированные с пероксидазой хрена. Результаты изучения уровней специфических IgG к рецептор-связывающему домену поверхностного гликопротеина S коронавируса SARS-CoV-2 представлены в виде титров, отражающих предельное разведение сыворотки крови, при котором могут быть обнаружены антитела.

Оценка показателей клеточного иммунного ответа методом проточной цитометрии

Образы крови, помещенные в пробирку с K₃ЭДТА, анализировали на автоматизированном проточном

цитометре Attune® NxT Acoustic Focusing Cytometer (Thermo Fisher Scientific, США). Методом проточной цитометрии получены данные о процентном содержании В-клеток (CD19-ER780, Elabscience, Китай), NK-клеток (CD335-APC, Elabscience, Китай), общее содержание Т-клеток (CD3-PE, Elabscience, Китай), Т-хелперы (в гейте CD3, CD4-PerCP/Cy5.5, Elabscience, Китай) и Т-киллеры (в гейте CD3, меченные CD8a-PE/Cy7, Elabscience, Китай). Субпопуляционные данные получены в общей популяции лейкоцитов (CD45-FITC, Elabscience, Китай). Обработку результатов проводили с помощью программного обеспечения FlowJo 10. Иммунорегуляторный индекс (ИИ, IMMi) рассчитывали как отношение количества Т-хелперов к количеству Т-киллеров.

Оценка гематологических и биохимических показателей крови

Гематологические показатели определяли в пробах цельной крови в K₃ЭДТА в течение 2–3 ч после их отбора на гематологическом анализаторе Mythic 18 Vet (C2 Diagnostics S.A., Франция). Анализировали количество эритроцитов, уровень гемоглобина, гематокрит, количество лейкоцитов, среднее содержание гемоглобина в эритроците, среднюю концентрацию гемоглобина в эритроците, средний объем эритроцита, широту распределения эритроцитов по объему, количество тромбоцитов, средний объем тромбоцитов, тромбоцит, широту распределения тромбоцитов по объему, абсолютное и относительное количество лимфоцитов, моноцитов и гранулоцитов.

В сыворотке крови на автоматическом биохимическом анализаторе SAPHIRE 400 (Prestige 24i, Tokyo Boki, Япония) с использованием реагентов (Randox Laboratories Ltd, Великобритания) анализировали стандартный набор биохимических показателей.

Статистический анализ

Использовали методы описательной статистики: расчет среднего и стандартного отклонения; для уровней специфических IgG рассчитывали среднее значение и стандартную ошибку среднего. Для установления межгрупповых различий данные анализировали многофакторным дисперсионным анализом ANOVA-2 с последующим тестом Дункана. Значения масс органов анализировали однофакторным дисперсионным анализом с использованием теста Краскела–Уоллиса. При уровне значимости дисперсионного анализа $p < 0,05$ применяли тест Манна–Уитни для попарного сравнения групп. Статистический анализ проводили с использованием программы Statistica 7.1. Различия определяли при 5% уровне значимости. Анализ взаимосвязей в показателях гуморального иммунитета мышей проводили методом главных компонент в среде R версии 4.4.1 (2024-06-14) с использованием модулей «factoextra» и «FactoMineR» [23–25].

Результаты и обсуждение

Характеристика *in vivo* модели

Для оценки иммуностимулирующего и иммуноадьювантного потенциала концентрата ФЦ и Модуля у мышей BALB/c при иммунизации вакциной «Спутник V» против вируса SARS-CoV-2 была разработана модель, позволяющая прижизненно в длительной перспективе мониторировать показатели гуморального и клеточного иммунного ответа. Для этих целей была выбрана схема 49-дневного периода профилактического кормления разработанными препаратами с двукратной прайм-буст иммунизацией вакциной «Спутник V» на 29-й и 50-й день исследования по рекомендованной для клинического применения схеме [26]. Следует отметить, что режим дозирования вакцины в проведенных ранее *in vivo* исследованиях на мышах с использованием препарата «Спутник V» соответствовал дозам для человека [27, 28], что, по-видимому, способствует длительной стимуляции специфических антител к SARS-CoV-2, затрудняя их адекватную оценку. Для возможности мониторинга иммунологических показателей в доступные временные рамки нами была предпринята попытка воспроизвести экспериментальную модель при десятикратно ослабленных дозах вакцинации, что позволило в течение 141 дня с момента первой иммунизации оценивать формирование и угасание гуморального иммунного ответа у мышей BALB/c. Как видно из данных, представленных на рис. 2, средние значения титров специфических IgG за день до второй вакцинации (49-е сутки) составляли в среднем не более чем 1/2000. Однако уже через неделю после второй иммунизации титры выросли более чем в 10 раз и достигли своего максимума к 64-му дню исследования, составляя в среднем 1/60 000 и оставаясь существенно высокими (1/14 200) вплоть до 171-го дня. Эти результаты свидетельствуют о высокой иммуноген-

ности вакцины «Спутник V» у мышей линии BALB/c даже при десятикратно сниженных дозах иммунизации.

При выборе экспериментальных доз ФЦ мы руководствовались результатами 30-дневного исследования подострой пероральной токсичности [14], где С-ФЦ у мышей линии BALB/c, начиная с дозы 500 мг на 1 кг массы тела и более, вызывал дозозависимое увеличение активности ферментов – супероксиддисмутаза и каталаза, являющихся 2 из 3 ферментов первой линии антиоксидантной защиты [29]. Следует отметить, что в работе [14], начиная с дозы ФЦ 200 мг на 1 кг массы тела, в крови мышей было обнаружено дозозависимое снижение синтеза провоспалительных цитокинов – интерферона γ и фактора некроза опухоли α – на фоне повышения уровней противовоспалительного интерлейкина 10.

Результаты мониторинга состояния здоровья животных и оценки интегральных показателей

На протяжении всего эксперимента ни у одного животного не наблюдалось отклонений, связанных с введением тестируемых объектов или противокоронавирусной вакцины; отсутствовали различия в приростах массы тела. При оценке относительных масс органов, собранных при некропии, у животных, получавших ФЦ в дозе 420 мг/кг, отмечено достоверное увеличение массы сердца на 11,7% по сравнению с контролем ($p < 0,05$, критерий Манна–Уитни). Данные изменения, несмотря на незначительную величину, выходят за пределы естественной вариабельности нормы и связаны, по-видимому, с выявленными у 2 мышей в этой группе признаками очаговой вакуолизации саркоплазмы кардиомиоцитов (данные не показаны). Для уточнения причин дегенерации кардиомиоцитов или выявления других цитоплазматических включений требуется проведение ультраструктурного исследования с привлечением методов электронной микроскопии [30].

Исследование иммуноадьювантных свойств концентрата фикоцианинов и Модуля

Для оценки иммуноадьювантных свойств концентрата ФЦ и Модуля на фоне их 49-дневного потребления изучали динамику гуморального иммунного ответа у мышей после иммунизации вакциной «Спутник V». Во всех опытных группах, как и в контроле, пик выработки специфических IgG был зафиксирован после вакцинации вторым компонентом на 64-е сутки исследования (см. рис. 2). К этому моменту наиболее значительное увеличение количества антител наблюдалось в группах, получавших Модуль в дозах 200 и 420 мг на 1 кг массы тела, – средние титры IgG к SARS-CoV-2 достигали 1/115 000 и 1/128 000. В 4-й группе (Модуль-200) на 141-е сутки эксперимента концентрация антител держалась достоверно выше относительно контрольной группы практически в 2 раза ($p < 0,05$, критерий Манна–Уитни). В период наблюдения с 141-го по 171-й день обращают на себя внимание в среднем повышенные титры антител во всех опытных группах по сравнению с контролем.

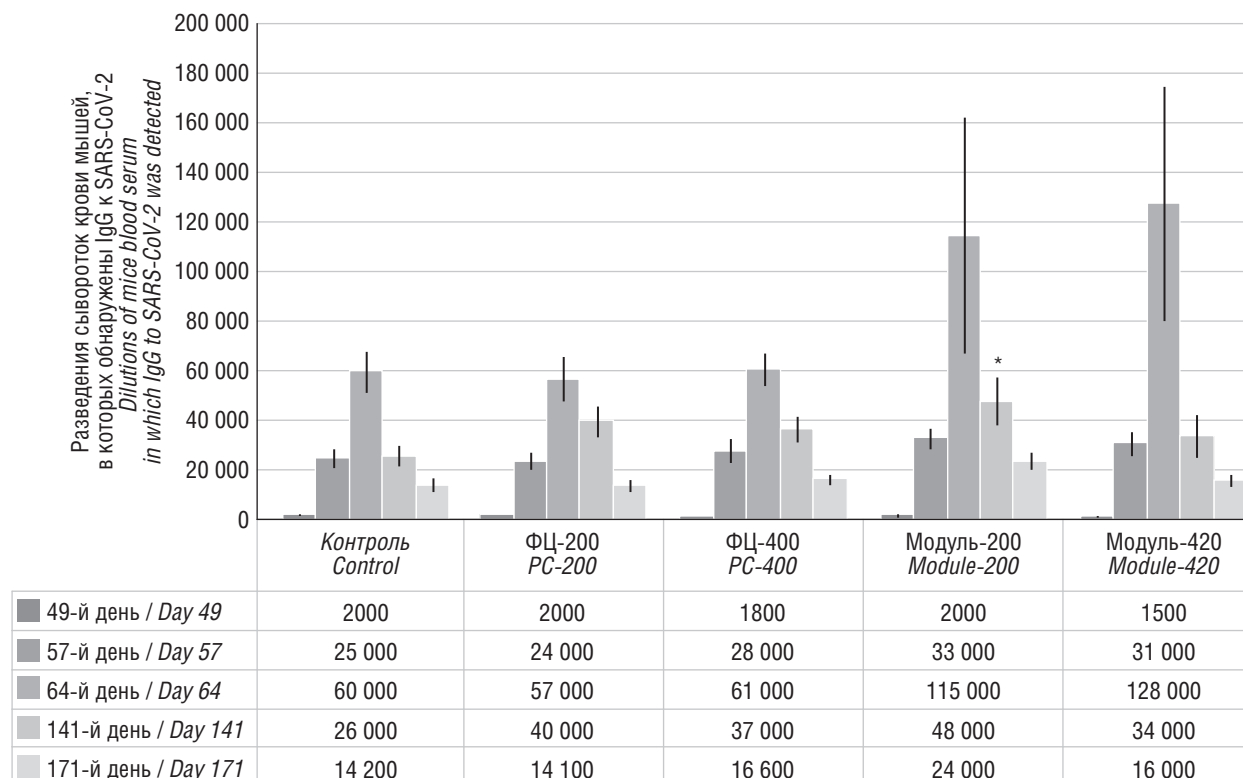


Рис. 2. Средние значения титров специфических иммуноглобулинов класса G к рецептор-связывающему домену поверхностного гликопротеина S коронавируса SARS-CoV-2 в сыворотках крови мышей

Уровни специфических IgG к рецептор-связывающему домену поверхностного гликопротеина S коронавируса SARS-CoV-2 представлены в виде титров, отражающих предельное разведение сыворотки крови, при котором могут быть обнаружены антитела; * – различия с соответствующим днем эксперимента при сравнении с контрольной группой статистически значимы ($p < 0.05$) согласно критерию Манна–Уитни; значения в столбцах под легендой каждой группы соответствуют средним значениям в данной группе в зависимости от дня эксперимента.

Fig. 2. Average blood serum titers of specific IgG to the receptor-binding domain of the surface glycoprotein S of the SARS-CoV-2 coronavirus

The levels of specific IgG to the receptor-binding domain of the surface glycoprotein S of the SARS-CoV-2 coronavirus are presented as titers reflecting the maximum dilution of blood serum at which antibodies can be detected; * – differences with the corresponding day of the experiment compared to the control group are significant, $p < 0.05$, Mann–Whitney criterion; the values in the columns under the legend of each group correspond to the average values in this group, depending on the day of the experiment.

Для изучения корреляции между показателями, характеризующими гуморальный иммунный ответ к SARS-CoV-2 у мышей, – уровнями специфических IgG, и оценки вклада потребления концентрата ФЦ и Модуля в их динамику был использован метод главных компонент. На основании матрицы корреляций были построены векторы взаимосвязи переменных (рис. 3). Поскольку корреляционная матрица отражает степень линейной связи между различными переменными, то векторы будут задавать направления с максимальной дисперсией данных [31]. Согласно представленным на рис. 3 графикам, PCA сгруппировал коррелирующие в динамике показатели уровней IgG к SARS-CoV-2 в 2 главные компоненты, в одной из которых кластеризовались данные контрольной группы и группы ФЦ-420, а в другой – данные групп Модуль-200, Модуль-420 и ФЦ-200 как наиболее близко взаимосвязанные на про-

тяжении всего эксперимента. Следует отметить, что, несмотря на высокую дисперсию значений IgG в группах, вектор группы Модуль-200 имел практически ортогональную направленность по сравнению с контролем. Эти сведения, вместе с отмеченными ранее достоверными отличиями титров антител группы Модуль-200 от контроля (на 141-й день), в определенной степени характеризуют комплекс ФЦ с яичным белком как оказывающий иммуноадаптивное действие у мышей линии BALB/c при дозе 200 мг на 1 кг массы тела.

Исследование иммуностимулирующих свойств концентрата фикоцианинов и Модуля

Для оценки иммуностимулирующих свойств концентрата ФЦ и Модуля на фоне вакцинации изучали состояние клеточного иммунного ответа мышей путем иммунофенотипирования лимфоцитов за день до введения

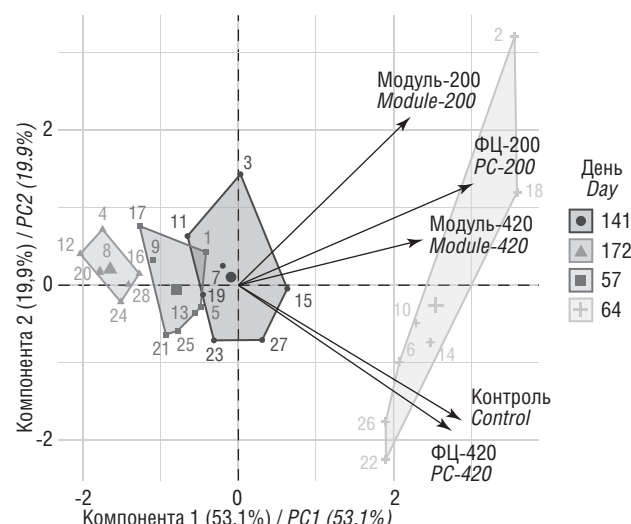


Рис. 3. Анализ динамики титров специфических иммуноглобулинов класса G к SARS-CoV-2 с использованием метода главных компонент

Fig. 3. Analysis of titer dynamics of specific IgG to SARS-CoV-2 using principal component analysis

первого компонента вакцины, спустя 48 ч после введения (31-е сутки) и через сутки после введения второго компонента (51-е сутки). Отсутствовали изменения в показателях клеточного иммунитета между группами до начала иммунизации вакциной «Спутник V» и после введения второго компонента (данные не показаны). Вместе с этим через 48 ч после первой иммунизации были обнаружены статистически значимые изменения у животных групп Модуль-200 и Модуль-420 (табл. 2). В группе животных, получавших Модуль в дозе 200 мг на 1 кг массы тела, было выявлено достоверное увеличение популяции цитотоксических Т-лимфоцитов на 29,3% относительно показателя контрольной группы ($p < 0,05$, тест Манна–Уитни). В группе Модуль-420 было также обнаружено достоверное дозозависимое увеличение концентрации цитотоксических Т-лимфоцитов на 42%

на фоне снижения концентрации Т-хелперов на 27,4% и иммунорегуляторного индекса на 45,7% относительно контроля ($p < 0,05$, тест Манна–Уитни). Таким образом, употребление Модуля уже на 31-е сутки в обеих дозах способствовало стимуляции клеточно-опосредованного иммунитета, увеличивая выработку цитотоксических Т-лимфоцитов. Считается, что именно цитотоксические Т-лимфоциты (CD8⁺-Т-клетки) остаются активными в отношении вируса даже при снижении титров антител или при ускользании вариантов SARS-CoV-2 от иммунной защиты после перенесенной болезни или вакцинации [32, 33].

Характеристика гематологических и биохимических показателей

По окончании эксперимента (190-й день) отсутствовали изменения в гематологических показателях мышей после употребления в течение 49 сут концентрата ФЦ и Модуля на фоне вакцинации (данные не показаны). При оценке биохимических показателей крови (табл. 3) наблюдались изменения в концентрациях мочевины у животных группы Модуль-420, креатинина в группах ФЦ-420, Модуль-200 и Модуль-420, альбумина и соотношения альбумин/глобулины в группе ФЦ-420. Тем не менее выявленные изменения были не дозозависимыми, незначительными по величине и достигли уровня статистической значимости лишь за счет высокой однородности выборки.

Заключение

Суммируя полученные результаты, можно сделать вывод о наличии иммуноадьювантных свойств у концентрата ФЦ и Модуля, особенно выраженных в группе Модуль-200. Вместе с этим только Модуль обладал дозозависимыми иммуностимулирующими свойствами в отношении показателей клеточно-опосредованного иммунитета. Выявленные иммуномодулирующие эффекты не оказывали влияния на гематологические показатели и вызывали незначительные (в преде-

Таблица 2. Иммунофенотипирование лимфоцитов крови мышей на 31-е сутки эксперимента ($M \pm \sigma$)

Table 2. Immunophenotyping of mice blood lymphocytes on day 31 of the experiment ($M \pm \sigma$)

Показатель Indicator	Группа животных / Group				
	контроль control	ФЦ-200 PC-200	ФЦ-420 PC-420	Модуль-200 Module-200	Модуль-420 Module-420
Лимфоциты, % / Lymphocytes, %	88,1±22,5	94,5±3,8	94,4±4,2	93,2±6,7	93,6±3,8
В-клетки, % / B-cells, %	7,6±0,6	7,6±1,1	6,7±2,0	6,7±2,2	6,2±2,7
NK-клетки, % / NK-cells, %	4,6±0,5	–	7,4±2,6	6,0±1,5	6,0±1,8
Т-клетки, % / T-cells, %	37,1±2,8	33,3±9,0	25,6±13,9	26,0±15,7	21,2±12,2
Т-хелперы, % / T-helper, %	78,3±1,0	61,1±25,3	56,1±25,0	65,0±14,0	57,6±19,4*
Цитотоксические Т-лимфоциты, % / T-killer, %	19,3±0,8	21,7±3,9	23,9±4,4	25,0±4,6*	27,4±3,8*
Иммунорегуляторный индекс / IMMi	4,07±0,23	2,94±1,34	2,57±1,47	2,76±1,01	2,21±1,01*

Примечание. * – статистически значимые ($p < 0,05$) отличия от показателя контрольной группы согласно тесту Манна–Уитни.

Note. * – $p < 0.05$ relative to the “Control” group, according to the Mann–Whitney test.

Таблица 3. Биохимические показатели сыворотки крови мышей на 190-е сутки эксперимента ($M \pm \sigma$)Table 3. Blood serum biochemical indices of mice on the 190th day of the experiment ($M \pm \sigma$)

Показатель <i>Indicator</i>	Группа животных / <i>Group</i>				
	контроль / <i>control</i>	ФЦ-200 <i>PC-200</i>	ФЦ-420 <i>PC-420</i>	Модуль-200 <i>Module-200</i>	Модуль-420 <i>Module-420</i>
Мочевина, ммоль/л <i>Urea, mmol/l</i>	9,6±1,3	9,9±1,7	9,6±2,1	10,0±1,4	8,2±0,9*
Общий холестерин, ммоль/л <i>Total cholesterol, mmol/l</i>	2,89±0,19	2,87±0,16	2,73±0,21	2,88±0,29	3,06±0,56
Триглицериды, ммоль/л <i>Triglycerides, mmol/l</i>	1,25±0,34	1,42±0,40	1,35±0,46	1,39±0,33	1,27±0,37
Аланинаминотрансфераза, Ед/л <i>Alanine Aminotransferase, Units/l</i>	47±5	60±17	52±19	86±43	59±20
Аспаратаминотрансфераза, Ед/л <i>Aspartate Aminotransferase, Units/l</i>	64±5	75±15	67±9	83±28	67±7
Общий билирубин, мкмоль/л <i>Total bilirubin, μmol/l</i>	0,5±1,0	0,8±1,2	1,3±1,6	0,5±0,8	0,8±1,0
Креатинин, мкмоль/л <i>Creatinine, μmol/l</i>	45±4	41±6	41±3*	42±2*	39±4*
Щелочная фосфатаза, Ед/л <i>Alkaline phosphatase, Units/l</i>	259±22	260±18	282±37	283±27	268±30
Альбумин, г/л <i>Albumin, g/l</i>	30,4±1,2	30,5±1,3	32,3±1,7*	31,5±1,0	30,7±1,9
Кальций, ммоль/л <i>Calcium, mmol/l</i>	2,29±0,23	2,15±0,05	2,27±0,14	2,16±0,05	2,23±0,03
Неорганические фосфаты, ммоль/л <i>Non-organic phosphates, mmol/l</i>	2,27±0,34	2,32±0,18	2,17±0,28	2,43±0,28	2,15±0,41
Общий белок, г/л <i>Total protein, g/l</i>	49,6±2,3	49,4±2,3	50,8±2,0	50,6±2,0	49,3±1,8
Глобулины, г/л <i>Globulins, g/l</i>	19,2±1,4	18,9±1,6	18,5±1,0	19,2±2,0	18,7±2,0
Альбумин/глобулины <i>Albumin/globulins</i>	1,6±0,1	1,6±0,1	1,7±0,1*	1,7±0,2	1,7±0,3

Примечание. * – статистически значимые ($p < 0,05$) отличия от показателя контрольной группы согласно критерию Манна–Уитни.
Note. * – $p < 0.05$ relative to the “Control” group, according to the Mann–Whitney test.

лах физиологической нормы) сдвиги в биохимических показателях крови. Вместе с этим при наибольшей из доз Модуля (420 мг на 1 кг массы тела) отмечены признаки очаговой вакуолизации саркоплазмы кардиомиоцитов, по-видимому, оказавшие влияние на увеличение массы сердца у животных этой группы, что может рассматриваться как признак органотоксического действия высокой дозы ФЦ в Модуле. Следует отметить, что проявление большинства эффектов у Модуля в отличие от концентрата ФЦ, по всей видимости, связано с его лучшей стабильностью в условиях среды желудочно-кишечного тракта. Для выяснения механизмов выявленных эффектов необходимо проведение дополнительных исследований, не вошедших в цели настоящего эксперимента, среди кото-

рых, в частности, исследование секреторной активности иммунокомпетентных клеток – уровней цитокинов и хемокинов. Отдельный интерес представляет исследование иммуномодулирующей способности концентратов высокоочищенных ФЦ (70% и более) в липосомальной форме. Разработанная в рамках настоящего исследования *in vivo* модель может быть использована в доклинических испытаниях эффективности профилактических схем приема пероральных БАВ-иммунотропных и исследований иммуноадьювантов. Результаты проведенного исследования делают целесообразным в дальнейшем проведение клинической апробации Модуля в пересчете дозировок, не превышающих использованную в настоящем исследовании дозу ФЦ 200 мг на 1 кг массы тела.

Сведения об авторах

Шипелин Владимир Александрович (Vladimir A. Shipelin) – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории пищевой токсикологии и оценки безопасности нанотехнологий ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)
E-mail: v.shipelin@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0015-8735>

Холина Арина Владимировна (Arina V. Kholina) – младший научный сотрудник лаборатории биологических испытаний Филиала ГНЦ ИБХ РАН (Пущино, Московская область, Российская Федерация)

E-mail: bervinova@bibch.ru

<https://orcid.org/0009-0003-0341-8955>

Замятина Анна Валерьевна (Anna V. Zamyatina) – младший научный сотрудник лаборатории токсикологии *in vitro* Филиала ГНЦ ИБХ РАН (Пущино, Московская область, Российская Федерация)

E-mail: anna.zamjatina@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7720-9572>

Мазо Владимир Кимович (Vladimir K. Mazo) – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: mazo@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3237-7967>

Никитюк Дмитрий Борисович (Dmitriy B. Nikityuk) – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией спортивной антропологии и нутрициологии, директор ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: dimitrynik@mail.ru

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

Литература

1. Rust P., Ekmekcioglu C. The role of diet and specific nutrients during the COVID-19 pandemic: what have we learned over the last three years? // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2023. Vol. 20, N 7. P. 5400. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20075400>
2. Deng Y., Huang L., Liu P., Geng X., Lin Z., Zheng Z. et al. Association of fat-soluble vitamins (A, D, and E) status with humoral immune response to COVID-19 inactivated vaccination // *Front. Nutr.* 2023. Vol. 10. Article ID 1167920. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1167920>
3. Sotto A. Di, Vitalone A., Giacomo S. Di. Plant-derived nutraceuticals and immune system modulation: an evidence-based overview // *Vaccines*. 2020. Vol. 3, N 8. P. 468. DOI: <https://doi.org/10.3390/vaccines8030468>
4. Behl T., Kumar K., Brise C., Rus M., Nistor-Cseppento D., Bustea C. et al. Exploring the multifocal role of phytochemicals as immunomodulators // *Biomed. Pharmacother.* 2021. Vol. 133. Article ID 110959. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110959>
5. Hooda P., Malik R., Bhatia S., Al-Harrasi A. Najmi A., Zoghebi K. et al. Phytoimmunomodulators: a review of natural modulators for complex immune system // *Heliyon*. 2023. Vol. 10, N 1. Article ID e23790. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23790>
6. Montuori E., de Pascale D., Lauritano C. Recent discoveries on marine organism immunomodulatory activities // *Mar. Drugs*. 2022. Vol. 20, N 7. P. 422. DOI: <https://doi.org/10.3390/md20070422>
7. Bouyahya A., Bakrim S., Chamkhi I., Taha D., El Omari N., El Mneyiy N. et al. Bioactive substances of cyanobacteria and microalgae: sources, metabolism, and anticancer mechanism insights // *Biomed. Pharmacother.* 2024. Vol. 170. Article ID 115989. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115989>
8. Fernandes R., Campos J., Serra M., Fidalgo J., Almeida H., Casas A. et al. Exploring the benefits of phycocyanin: from *Spirulina* cultivation to its widespread applications // *Pharmaceuticals* (Basel). 2023. Vol. 16, N 4. P. 592. DOI: <https://doi.org/10.3390/ph16040592>
9. Gentsheva G., Nikolova K., Panayotova V., Peycheva K., Makedonski L., Slavov P. et al. Application of *Arthrospira platensis* for medicinal purposes and the food industry: a review of the literature // *Life*. 2023. Vol. 13. P. 845. DOI: <https://doi.org/10.3390/life13030845>
10. Бирюлина Н.А., Мазо В.К., Багрянцева О.В. Фикоцианины *Arthrospira platensis*: перспективы использования в специализированной пищевой продукции (краткий обзор) // *Вопросы питания*. 2022. Т. 91, № 6. С. 30–36. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-6-30-36>
11. Ratha S.K., Renuka N., Rawat I., Bux F. Prospective options of algae-derived nutraceuticals as supplements to combat COVID-19 and human coronavirus diseases // *Nutrition*. 2021. Vol. 83. Article ID 111089. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2020.111089>
12. Finamore A., Palmery M., Bensehaila S., Peluso I. Antioxidant, immunomodulating, and microbial-modulating activities of the sustainable and ecofriendly *Spirulina* // *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2017. Vol. 2017. Article ID 3247528. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/3247528>
13. Nielsen C.H., Balachandran P., Christensen O., Pugh N.D., Tamta H., Sufka K.J. et al. Enhancement of natural killer cell activity in healthy subjects by Immulina®, a *Spirulina* extract enriched for Braun-type lipoproteins // *Planta Med.* 2010. Vol. 76, N 16. P. 1802–1808. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0030-1250043>
14. Grover P., Bhatnagar A., Kumari N., Narayan Bhatt A., Kumar Nishad D., Purkayastha J. C-Phycocyanin – a novel protein from *Spirulina platensis* – in vivo toxicity, antioxidant and immunomodulatory studies // *Saudi J. Biol. Sci.* 2021. Vol. 28, N 3. P. 1853–1859. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.037>
15. Петрухина Д.И., Лыков И.Н. Стабильность фикоцианина цианобактерии *Spirulina subsals* при различных температурных условиях хранения // Сборник трудов по итогам международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и достижения в естественных и математических науках». Самара, 2017. Т. 4. 46 с. URL: <https://izron.ru/articles/aktualnye-problemy-i-dostizheniya-v-estestvennykh-i-matematicheskikh-naukakh-sbornik-nauchnykh-trudov-sektsiya-60-biotekhnologiya-v-tom-chisle-bionanotekhnologii-spetsialnost-03-01-06/stabilnost-fikotsianina-tsianobakterii-spirulina-subsalsapri-razlichnykh-temperaturnykh-usloviyakh/> (дата обращения 10.09.2024)
16. Adjali A., Clarot I., Chen Z., Marchioni E., Boudier A. Physicochemical degradation of phycocyanin and means to improve its stability: a short review // *J. Pharm. Anal.* 2022. Vol. 12, N 3. P. 406–414. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2021.12.005>
17. Teixé-Roig J., Oms-Oliu G., Ballesté-Muñoz S., Odriozola-Serrano I., Martín-Belloso O. Encapsulation and controlled release of phycocyanin during the in vitro digestion using polysaccharide-added double emulsions (W1/O/W2) // *Food Struct.* 2022. Vol. 31. Article ID 100249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2021.100249>
18. Vasava H., Singh R., Yadav T. Characterisation of whey protein–polyphenol conjugates prepared by the noncovalent and covalent methods for their effect on the functional properties of whey proteins // *Int. J. Dairy Technol.* 2022. Vol. 75, N 3. P. 563–574. DOI: <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12874>
19. Бирюлина Н.А., Зорин С.Н., Никитюк Д.Б., Мазо В.К. Модифицированный метод получения фикоцианинового концентрата биомассы *Arthrospira platensis* // *Вопросы питания*. 2023. Т. 92, № 5. С. 110–116. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-5-110-116>
20. Novokshanova A., Bilyalova A., Aksenov I. Spectrometric study of the interaction of phycocyanins with egg proteins // *E3S Web Conf.* 2023. Vol. 463. Article ID 01021. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346301021>
21. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. 8th ed. / Committee for the Update of the Guide for the Care and Use of Laboratory Animals; Institute for Laboratory Animal Research (ILAR); Division on Earth and Life Studies (DELS); National Research Council of the National Academies. Washington : The National Academies Press, 2011. 246 p. ISBN-13: 978-0-309-15401-7; ISBN-10: 978- 0-309-15401-4.
22. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Часть первая. Москва : Гриф и К, 2012. 944 с. ISBN: 978-5-8125-1466-3.
23. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2024. URL: <https://www.R-project.org> (дата обращения: 10.09.2024).
24. Kassambara A., Mundt F. Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.7, 2020. URL: <https://>

- CRAN.R-project.org/package=factoextra (дата обращения: 10.09.2024).
25. Le S., Josse J., Husson F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis // J. Stat. Software. 2008. Vol. 25, N 1. P. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
 26. Logunov D.Y., Dolzhikova I.V., Zubkova O.V., Tukhvatullin A.I., Shcheblyakov D.V., Dzharullaeva A.S. et al. Safety and immunogenicity of an rAd26 and rAd5 vector-based heterologous prime-boost COVID-19 vaccine in two formulations: two open, non-randomised phase 1/2 studies from Russia // Lancet. 2020. Vol. 396, N 10 255. P. 887–897. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31866-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31866-3)
 27. Elgallal E.A., Sadawe I.A., Elghobassa A.H., Alshoushan A.A.A., Bensaber S.M., Elbakay M.A. et al. The effect of Sputnik V COVID-19 vaccine on the body weight of mice // J. Pharm. Res. Rep. 2021. Vol. 2, N 2. P. 2–3. DOI: [https://doi.org/10.47363/JPRSR/2021\(2\)114](https://doi.org/10.47363/JPRSR/2021(2)114)
 28. Dolzhikova I.V., Tukhvatullin A.I., Grousova D.M., Zorkov I.D., Komyakova M.E., Ilyukhina A.A. et al. Immunogenicity and protectivity of Sputnik V vaccine in hACE2-transgenic mice against homologous and heterologous SARS-CoV-2 lineages including far-distanced Omicron BA.5 // Vaccines. 2024. Vol. 12. P. 1152. DOI: <https://doi.org/10.3390/vaccines12101152>
 29. Ighodaro O.M., Akinloye O.A. First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): their fundamental role in the entire antioxidant defence grid // Alexandria J. Med. 2018. Vol. 54. P. 287–293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajme.2017.09.001>
 30. Fishbein G.A., Bois M.C., d'Amati G., Glass C., Masuelli L., Rodriguez E.R. et al. Ultrastructural cardiac pathology: the wide (yet so very small) world of cardiac electron microscopy // Cardiovasc. Pathol. 2024. Vol. 73. Article ID 107670. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carpath.2024.107670>
 31. Jolliffe I.T., Cadima J. Principal component analysis: a review and recent developments // Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci. 2016. Vol. 374, N 2065. Article ID 20150202. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
 32. Fathi M., Charley L., Cooper L.J., Varadarajan N., Meyer D.D. Cytotoxic T lymphocytes targeting a conserved SARS-CoV-2 spike epitope are efficient serial killers // Biotechniques. 2022. Vol. 72, N 4. P. 113–120. DOI: <https://doi.org/10.2144/btn-2022-0016>
 33. Alter G., Yu J., Liu J., Chandrashekar A., Borducchi E.N., Tostanoski L.H. et al. Immunogenicity of Ad26.COV2.S vaccine against SARS-CoV-2 variants in humans // Nature. 2021. Vol. 596, N 7871. P. 268–272. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03681-2>

References

1. Rust P., Ekmekcioglu C. The role of diet and specific nutrients during the COVID-19 pandemic: what have we learned over the last three years? Int J Environ Res Public Health. 2023; 20 (7): 5400. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20075400>
2. Deng Y., Huang L., Liu P., Geng X., Lin Z., Zheng Z., et al. Association of fat-soluble vitamins (A, D, and E) status with humoral immune response to COVID-19 inactivated vaccination. Front Nutr. 2023; 10: 1167920. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1167920>
3. Sotto A. Di, Vitalone A., Giacomo S. Di. Plant-derived nutraceuticals and immune system modulation: an evidence-based overview. Vaccines. 2020; 3 (8): 468. DOI: <https://doi.org/10.3390/vaccines8030468>
4. Behl T., Kumar K., Brisc C., Rus M., Nistor-Cseppento D., Bustea C., et al. Exploring the multifocal role of phytochemicals as immunomodulators. Biomed Pharmacother. 2021; 133: 110959. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110959>
5. Hooda P., Malik R., Bhatia S., Al-Harrasi A., Najmi A., Zoghebi K., et al. Phytoimmunomodulators: a review of natural modulators for complex immune system. Heliyon. 2023; 10 (1): e23790. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23790>
6. Montuori E., de Pascale D., Lauritano C. Recent discoveries on marine organism immunomodulatory activities. Mar Drugs. 2022; 20 (7): 422. DOI: <https://doi.org/10.3390/md20070422>
7. Bouyahya A., Bakrim S., Chamkhi I., Taha D., El Omari N., El Mneyi N., et al. Bioactive substances of cyanobacteria and microalgae: sources, metabolism, and anticancer mechanism insights. Biomed Pharmacother. 2024; 170: 115989. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115989>
8. Fernandes R., Campos J., Serra M., Fidalgo J., Almeida H., Casas A., et al. Exploring the benefits of phycocyanin: from Spirulina cultivation to its widespread applications. Pharmaceuticals (Basel). 2023; 16 (4): 592. DOI: <https://doi.org/10.3390/ph16040592>
9. Gentsheva G., Nikolova K., Panayotova V., Peycheva K., Makedonski L., Slavov P., et al. Application of Arthrospira platensis for medicinal purposes and the food industry: a review of the literature. Life. 2023; 13: 845. DOI: <https://doi.org/10.3390/life13030845>
10. Biryulina N.A., Mazo V.K., Bagryantseva O.V. Arthrospira platensis phycocyanins: a perspective for use in foods for special dietary uses (brief review). Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2022; 91 (6): 30–6. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-6-30-36> (in Russian)
11. Ratha S.K., Renuka N., Rawat I., Bux F. Prospective options of algae-derived nutraceuticals as supplements to combat COVID-19 and human coronavirus diseases. Nutrition. 2021; 83: 111089. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2020.111089>
12. Finamore A., Palmery M., Bensehaila S., Peluso I. Antioxidant, immunomodulating, and microbial-modulating activities of the sustainable and ecofriendly Spirulina. Oxid Med Cell Longev. 2017; 2017: 3247528. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/3247528>
13. Nielsen C.H., Balachandran P., Christensen O., Pugh N.D., Tamta H., Sufka K.J., et al. Enhancement of natural killer cell activity in healthy subjects by Immulina®, a Spirulina extract enriched for Braun-type lipoproteins. Planta Med. 2010; 76 (16): 1802–8. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0030-1250043>
14. Grover P., Bhatnagar A., Kumari N., Narayan Bhatt A., Kumar Nishad D., Purkayastha J. C-Phycocyanin – a novel protein from Spirulina platensis – in vivo toxicity, antioxidant and immunomodulatory studies. Saudi J Biol Sci. 2021; 28 (3): 1853–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.037>
15. Petrkhina D.I., Lykov I.N. Stability of phycocyanin of cyanobacteria Spirulina subsalsa under various temperature storage conditions. In: A collection of papers on the results of the international scientific and practical conference «Actual Problems and Achievements in Natural and Mathematical Sciences». Samara, 2017; 4: 46 p. URL: <https://izron.ru/articles/aktualnye-problemy-i-dostizheniya-v-estestvennykh-i-matematicheskikh-naukakh-sbornik-nauchnykh-trudo/sektsiya-60-biotekhnologiya-v-tom-chisle-bionanotekhnologii-spetsialnost-03-01-06/stabilnost-fikotsianina-tsiyanobakterii-spirulina-subsalsa-pri-razlichnykh-temperaturnykh-usloviyakh/> (date of access September 10, 2024) (in Russian)
16. Adjali A., Clarot I., Chen Z., Marchioni E., Boudier A. Physicochemical degradation of phycocyanin and means to improve its stability: a short review. J Pharm Anal. 2022; 12 (3): 406–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2021.12.005>
17. Teixé-Roig J., Oms-Oliu G., Ballesté-Muñoz S., Odrizola-Serrano I., Martín-Belloso O. Encapsulation and controlled release of phycocyanin during the in vitro digestion using polysaccharide-added double emulsions (W1/O/W2). Food Struct. 2022; 31: 100249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2021.100249>
18. Vasava H., Singh R., Yadav T. Characterisation of whey protein–polyphenol conjugates prepared by the noncovalent and covalent methods for their effect on the functional properties of whey proteins. Int J Dairy Technol. 2022; 75 (3): 563–74. DOI: <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12874>
19. Biryulina N.A., Zorin S.N., Nikityuk D.B., Mazo V.K. Modified method for obtaining phycocyanine concentrate of Arthrospira platensis biomass. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2023; 92 (5): 110–6. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-5-110-116> (in Russian)
20. Novokshanova A., Bilyalova A., Aksenov I. Spectrometric study of the interaction of phycocyanins with egg proteins. E3S Web Conf. 2023; 463: 01021. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346301021>
21. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. 8th ed. In: Committee for the Update of the Guide for the Care and Use of Laboratory Animals; Institute for Laboratory Animal Research (ILAR); Division on Earth and Life Studies (DELS); National Research Council of the National Academies. Washington: The National Academies Press, 2011: 246 p. ISBN-13: 978-0-309-15401-7; ISBN-10: 978-0-309-15401-4.
22. Guidelines for conducting preclinical studies of drugs. Part one. Moscow: Grif i K, 2012: 944 p. ISBN: 978-5-8125-1466-3. (in Russian)
23. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2024. URL: <https://www.R-project.org> (date of access September 10, 2024).
24. Kassambara A., Mundt F. Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.7, 2020. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra> (date of access September 10, 2024).
25. Le S., Josse J., Husson F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. J Stat Software. 2008; 25 (1): 1–18. DOI: <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>

26. Logunov D.Y., Dolzhikova I.V., Zubkova O.V., Tikhvatullin A.I., Shcheblyakov D.V., Dzharullaeva A.S., et al. Safety and immunogenicity of an rAd26 and rAd5 vector-based heterologous prime-boost COVID-19 vaccine in two formulations: two open, non-randomised phase 1/2 studies from Russia. *Lancet*. 2020; 396 (10 255): 887–97. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31866-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31866-3)
27. Elgallal E.A., Sadawe I.A., Elghobassa A.H., Alshoushan A.A.A., Bensaber S.M., Elbakay M.A., et al. The effect of Sputnik V COVID-19 vaccine on the body weight of mice. *J Pharm Res Rep*. 2021; 2 (2): 2–3. DOI: [https://doi.org/10.47363/JPRSR/2021\(2\)114](https://doi.org/10.47363/JPRSR/2021(2)114)
28. Dolzhikova I.V., Tikhvatulin A.I., Grousova D.M., Zorkov I.D., Komyakova M.E., Ilyukhina A.A., et al. Immunogenicity and protectivity of Sputnik V vaccine in hACE2-transgenic mice against homologous and heterologous SARS-CoV-2 lineages including far-distanced Omicron BA.5. *Vaccines*. 2024; 12: 1152. DOI: <https://doi.org/10.3390/vaccines12101152>
29. Ighodaro O.M., Akinloye O.A. First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria J Med*. 2018; 54: 287–93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajme.2017.09.001>
30. Fishbein G.A., Bois M.C., d'Amati G., Glass C., Masuelli L., Rodriguez E.R., et al. Ultrastructural cardiac pathology: the wide (yet so very small) world of cardiac electron microscopy. *Cardiovasc Pathol*. 2024; 73: 107670. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carpath.2024.107670>
31. Jolliffe I.T., Cadima J. Principal component analysis: a review and recent developments. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*. 2016; 374: 2065. Article ID 20150202. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
32. Fathi M., Charley L., Cooper L.J., Varadarajan N., Meyer D.D. Cytotoxic T lymphocytes targeting a conserved SARS-CoV-2 spike epitope are efficient serial killers. *Biotechniques*. 2022; 72 (4): 113–20. DOI: <https://doi.org/10.2144/btn-2022-0016>
33. Alter G., Yu J., Liu J., Chandrashekar A., Borducchi E.N., Tostanoski L.H., et al. Immunogenicity of Ad26.COV2.S vaccine against SARS-CoV-2 variants in humans. *Nature*. 2021; 596 (7871): 268–72. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03681-2>

Для корреспонденции

Сасуга Ясухиро – Лаборатория,
 Центр исследований и разработок
 B&S Corporation в Хатиодзи, Токио, Япония
 E-mail: y-sasuga@bandscorp.jp
<https://orcid.org/0000-0002-2758-9375>

Хиробуми И.¹, Сасуга Я.²

Комбинированное воздействие сублингвальной иммунотерапии и экстракта соевого молока, ферментированного ацидофильными лактобактериями, на симптомы поллиноза, вызываемого пылью кедра*

The combined effects
 of sublingual immunotherapy
 and *Lactobacillus acidophilus*-
 producing extract on cedar
 pollinosis symptoms

Hirobumi I.¹, Sasuga Y.²

¹ Оториноларингология, ЛОР-клиника Ито, Фунабаси, Япония

² Лаборатория, Центр исследований и разработок B&S Corporation в Хатиодзи, Токио, Япония

¹ Otolaryngology, Ito ENT Clinic, Funabashi, Japan

² Laboratory, B&S Corporation Hachioji Research and Development Center, Tokyo, Japan

Введение. Сублингвальная иммунотерапия (СЛИТ), при которой вводится стандартизированный раствор экстракта пыльцы кедра, применялась для лечения поллиноза, вызываемого пылью кедра. Однако применение СЛИТ сопряжено с определенными проблемами, поскольку для достижения эффекта требуется много времени, а в некоторых случаях СЛИТ оказывается неэффективной даже после продолжительного лечения. Сообщалось также, что экстракт, ферментированный ацидофильными лактобактериями (LEX), пищевой ингредиент, облегчает различные аллергические симптомы. В данном исследовании проводили сравнительный анализ эффективности LEX и СЛИТ в лечении поллиноза, вызываемого пылью кедра. Авторы также проанализировали, может ли комбинированное применение СЛИТ и LEX обеспечить скорейшее наступление терапевтического эффекта при лечении поллиноза, вызываемого пылью кедра. А кроме того исследовали эффективность LEX в качестве терапии второй линии (терапии спасения) для пациентов, которым не помогла СЛИТ.

Материал и методы. 15 пациентов, страдающих поллинозом, вызываемым пылью кедра, были разделены на 3 группы следующим образом: 3 пациента

Для цитирования: Hirobumi I., Sasuga Y. The combined effects of sublingual immunotherapy and *Lactobacillus acidophilus*-producing extract on cedar pollinosis symptoms. Cureus. 2023; 15 (7): e41374.
 DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.41374>

For citation: Hirobumi I., Sasuga Y. The combined effects of sublingual immunotherapy and *Lactobacillus acidophilus*-producing extract on cedar pollinosis symptoms. Cureus. 2023; 15 (7): e41374.
 DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.41374>

* © Copyright 2023. Данная статья находится в открытом доступе под лицензией Creative Commons Attribution License CCBY 4.0, которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания первоначального автора и источника.

в группе, получавшей стандартизированный экстракт кедровой пыльцы (группа S); 7 пациентов в группе, получавшей ферментированный лактобактериями экстракт¹ (группа L), и 5 пациентов в группе комбинированной терапии, получавшей стандартизированный экстракт кедровой пыльцы и ферментированный лактобактериями экстракт (группа SL). Участники исследования проходили лечение в течение 3 лет, что соответствует 3 сезонам рассеивания кедровой пыльцы, и наблюдались в соответствии с критериями оценки. Они включали оценку тяжести заболевания на основе результатов обследования, субъективную оценку симптомов и качества жизни (индекс QOL) на основе Японского стандартного опросника для оценки качества жизни при аллергическом рините (JRQLQ № 1), определение уровня неспецифических IgE-антител в крови и IgE-антител, специфических к пыльце кедра.

Результаты. После 3 лет наблюдения не было выявлено существенных различий в показателях тяжести заболевания и уровнях неспецифических IgE-антител между 3 группами, в то время как индекс QOL значительно снизился между 1-м и 3-м годами лечения у пациентов группы L. Наблюдалось увеличение уровней специфических IgE-антител к пыльце кедра в 1-й год лечения у пациентов в группах S и SL и постепенное снижение во 2-й и 3-й годы лечения по сравнению с периодом до начала лечения. В группе L в 1-й год увеличения уровней не наблюдалось, а во 2-й и 3-й годы, в период распространения пыльцы кедра, отмечено их значительное снижение.

Заключение. Результаты оценки тяжести заболевания и QOL показали, что потребовалось 3 года лечения для достижения эффективности в группах S и SL, в то время как в группе L наблюдалось улучшение показателей QOL и уровней специфических IgE-антител к пыльце кедра с 1-го года лечения, что свидетельствует о том, что LEX эффективен для лечения поллиноза, вызываемого пыльцой кедра. Комбинированная терапия с применением СЛИТ и LEX не продемонстрировала явную эффективность, но поскольку эффект от применения LEX наблюдался на ранней стадии лечения, мы посчитали, что комбинированная терапия с применением LEX на ранней стадии лечения может быть эффективной для снижения частоты неэффективных случаев. Комбинированная терапия с применением СЛИТ и LEX также может быть полезна в качестве терапии второй линии.

Категории: отоларингология, аллергология/иммунология, интегративная/комплементарная медицина.

Ключевые слова: скорейшее наступление терапевтического эффекта; пищевые ингредиенты; комбинированный эффект; терапия второй линии (спасения); неэффективные случаи; ферментированный ацидофильными лактобактериями экстракт (LEX); сублингвальная иммунотерапия (СЛИТ); поллиноз; пыльца японского кедра; сезонный аллергический ринит

Introduction. Sublingual immunotherapy (SLIT), in which standardized cedar pollen extract solution is administered, has been used to treat cedar pollinosis, but SLIT is problematic because it takes a long time to become effective, and some cases are ineffective even after long-term treatment. It has also been reported that lactobacillus acidophilus extract (LEX), a food-derived ingredient, alleviates various allergic symptoms. This study examined the usefulness of LEX as a treatment for cedar pollinosis in comparison with SLIT. We also examined whether the combined use of SLIT and LEX could have an early-onset of therapeutic effect on cedar pollinosis. We also examined the usefulness of LEX as a salvage therapy for patients who failed to respond to SLIT.

Subjects and methods. Fifteen patients with cedar pollinosis were divided into three groups. The three groups were: three patients in the standardized cedar pollen extract group (S group), seven patients in the lactobacillus-producing extract group (L group), and five patients in the combination group of standardized cedar pollen extract and lactobacillus-producing extract (SL group). The subjects were treated for three years, corresponding to the three scattering seasons of cedar pollen, and observed according to the evaluation items. The evaluation items were severity score based on examination findings, subjective symptom score (QOL score) based on the Japanese Standard QOL Questionnaire for Allergic Rhinitis (JRQLQ No. 1) questionnaire, nonspecific IgE level measurement by blood test, and cedar pollen-specific IgE level measurement.

Results. After three years of observation, there were no significant differences in severity score and nonspecific IgE levels among the three groups, while QOL score decreased

¹ Соевого молока. – Прим. ред.

significantly between the first and third years of treatment in the L group. Cedar pollen-specific IgE levels in the S and SL groups showed an increase in the first year and a gradual decrease in the second and third years of treatment compared to the pre-treatment period. In group L, no increase was observed in the first year, and a significant decrease was observed in the second and third years during the cedar pollen dispersal period.

Conclusion. The results of severity and quality of life scores indicated that it took three years of treatment for the S and SL groups to show efficacy, while the L group showed improvement in quality of life scores and cedar pollen-specific IgE levels from the first year, suggesting that LEX is useful as a treatment for cedar pollinosis. The efficacy of combination therapy with SLIT and LEX was not clear, but since the effect of LEX was observed from the early stage of treatment, it was thought that the combination therapy with LEX intake from the early stage of treatment may be effective in reducing the incidence of ineffective cases. The combination therapy of SLIT and LEX may also be useful as a salvage therapy.

Categories: otolaryngology, allergy/immunology, integrative/complementary medicine

Keywords: fast onset of effects; food ingredients; combination effect; salvage therapy; ineffective cases; lactobacillus acidophilus produced extract (LEX); sublingual immunotherapy (SLIT); pollinosis; japanese cedar pollen, seasonal allergic rhinitis

В Японии кедровые леса занимают 18% общей площади лесов и, по оценкам, являются причиной около 70% случаев аллергии на пыльцу. Когда антигены пыльцы кедра (Cry j 1 и Cry j 2) распознаются макрофагами в носовой полости, информация об антигене передается Т- и В-клеткам, которые вырабатывают специфические IgE-антитела к пыльце кедра и сенсибилизируют их. При связывании антигенов пыльцы кедра с сенсибилизированными IgE-антителами тучные клетки активируются и высвобождают химические мессенджеры, такие как гистамин и лейкотриены, что приводит к появлению симптомов аллергического ринита вследствие поллиноза, вызываемого пыльцой кедра. В Японии растет число случаев поллиноза, вызываемого пыльцой кедра. В ходе общенационального эпидемиологического исследования было установлено, что в Японии распространенность поллиноза, вызываемого пыльцой кедра, превысила примерно 38%, а также было отмечено снижение качества жизни (QOL) и производительности труда из-за поллиноза, вызываемого пыльцой кедра [1]. Поллинозом чаще всего страдают люди молодого и среднего возраста. Симптомы включают не только чихание, выделения из носа и заложенность носа, но также усталость и снижение концентрации внимания, что приводит к снижению работоспособности в дневное время и оказывает существенное влияние на работу и учебу людей в расцвете сил. Поэтому лечение пациентов с поллинозом должно не только подавлять симптомы, но также учитывать улучшение QOL на рабочем месте и в школе [2].

Сублингвальная иммунотерапия (СЛИТ) является перспективным лечебным воздействием, которое побуждает регуляторные Т-клетки вызывать иммунный ответ Т-хелперов 1 типа (Th1) и смягчать иммунный ответ Т-хелперов 2 типа (Th2). Также считается, что ее механизм действия заключается в индукции в организме аллерген-специфических антител IgG4, которые блокируют антигены пыльцы кедра [3]. Было исследовано использование различных пищевых ингредиентов с целью улучшения QOL и лечения поллиноза, вызываемого пыльцой

кедра. Проблемы, подлежащие решению при применении СЛИТ, включают длительный период лечения, наличие недостоверных случаев и сложность прогнозирования эффективности лечения [4]. Одним из таких примеров являются пробиотики, такие как молочнокислые бактерии, об эффективности которых сообщалось в плане уменьшения аллергических симптомов, включая поллиноз, вызываемый пыльцой кедра [5–7]. Кроме того, имеется информация о том, что стерилизованные организмы и бактериальные метаболиты эффективны в качестве постбиотических материалов [8, 9]. Поступала информация о том, что экстракт, полученный ферментацией лактобактериями (далее именуемый LEX), который получают путем ферментации соевого молока несколькими штаммами молочнокислых бактерий, оказывает противораковое действие на колоректальную аденокарциному [10], иммуностимулирующее действие на кишечник [11], воздействует на полипы толстой кишки [12], вызывает изменения в кишечной микрофлоре, улучшает кишечную среду и т.д. [13].

Имеются сообщения [3] о том, что СЛИТ, прием молочнокислых бактерий, а также других пробиотиков и постбиотиков эффективны в борьбе с поллинозом, вызываемым пыльцой кедра, поскольку способствуют восстановлению кишечной микрофлоры. Однако авторам не удалось обнаружить исследования, которые бы оценивали комбинированную терапию СЛИТ и LEX или полезность LEX в качестве терапии второй линии в случаях неэффективности СЛИТ. В настоящем исследовании основное внимание уделялось постбиотическим ингредиентам, полученным из пищевых продуктов, с целью установления эффективности комбинированной терапии с применением СЛИТ на раннем этапе и терапии второй линии в случае неэффективности, а также было проведено предварительное исследование по применению LEX. Данные об иммуномодулирующем действии постбиотических ингредиентов на организм человека по-прежнему ограничены, и данное исследование представлено здесь в качестве потенциального источника данных.

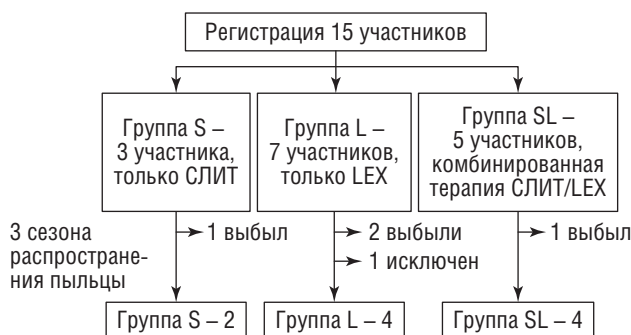


Рис. 1. Поток участников исследования

Отображено включение пациентов в исследование по группам, в том числе выбывших. Мы использовали критерий Смирнова–Граббса для анализа уровней IgE-RIST и антител к пыльце кедра до начала лечения, и пациенты с высоким исходным уровнем антител были исключены. СЛИТ – сублингвальная иммунотерапия; ЛЕХ – экстракт, ферментированный ацидофильными лактобактериями; RIST – радиоиммуносорбентный тест; S – группа, принимающая стандартизированный экстракт пыльцы кедров; L – группа, принимающая экстракт, ферментированный ацидофильными лактобактериями; SL – группа комбинированной терапии, принимающая стандартизированный экстракт пыльцы кедров и экстракт, ферментированный ацидофильными лактобактериями.

Fig. 1. Subject flow

Аннотация данной статьи была представлена на 83-м ежегодном собрании и конференции Клинического общества врачей-оториноларингологов 26–27 июня 2021 г. в г. Саппоро (Япония).

Материал и методы

Данное исследование представляет собой квазиэкспериментальное исследование, в котором участвовали 3 группы пациентов: те, кто принимал только препараты в рамках СЛИТ, те, кто принимал только ЛЕХ, и те, кто принимал препараты СЛИТ и ЛЕХ в течение 3 лет, с 2016 по 2018 г. Участниками исследования были пациенты, которые посетили нашу клинику в 2015 г. и у которых был диагностирован поллиноз, вызываемый пыльцой кедров, а в анамнезе были указаны симптомы, связанные с распылением пыльцы кедров в 2015 г., и у которых были обнаружены специфические IgE-антитела к пыльце кедров (далее именуемые «антитела к пыльце кедров»), измеренные с помощью флуоресцентного иммуноферментного анализа (FEIA), причем результаты теста на специфические IgE-антитела к пыльце кедров (далее именуемые «антитела к пыльце кедров») были положительными при уровне 3,5 МЕ/мл или выше. Пациенты с тяжелой формой

бронхиальной астмы были исключены из исследования, поскольку им был противопоказан стандартизированный раствор экстракта пыльцы кедров.

Пациентам группы S вводился только препарат СЛИТ (стандартизированный основной раствор экстракта пыльцы кедров, флакон, 2000 JAU²/мл, Torii Pharmaceuticals, Токио, Япония). Пациенты группы L принимали только ЛЕХ (экстракт, ферментированный ацидофильными лактобактериями B&S Corporation, Токио, Япония). Группа SL³ состояла из 3 пациентов в группе S, 7 пациентов в группе L и 5 пациентов в группе SL. Из группы S выбыл 1 пациент, из группы L выбыли 2 пациента и 1 пациент выбыл из группы SL. В общей сложности 11 пациентов находились под наблюдением в течение 3 лет. Наблюдение проводилось в течение 3 сезонов распространения пыльцы с момента начала лечения в октябре 2015 г. до окончания распространения пыльцы в мае 2018 г. В Японии пыльца кедров обычно начинает распространяться примерно в начале января. Таким образом, лечение было начато не позднее конца ноября. Препарат СЛИТ в дозе 2000 ЯАЕ в день вводился в качестве поддерживающей дозы после 2-недельного периода увеличения дозы в соответствии с графиком дозирования, указанным в инструкции по применению. Прием ЛЕХ⁴ составлял 2 пакетика (10 мл × 2) в день; группа SL начала прием ЛЕХ одновременно с терапией СЛИТ, а группа L начала прием ЛЕХ в ноябре в связи с началом терапии СЛИТ.

В качестве первичной конечной точки результатов исследования проводили обследование пациентов в период распространения пыльцы (с середины февраля до середины марта) в 1-й, 2-й и 3-й годы лечения, а также регистрировали тяжесть симптомов аллергического ринита (оценка тяжести). При обследовании отмечали отек слизистой оболочки нижних носовых раковин, цвет слизистой оболочки нижних носовых раковин, количество водянистого секрета и характер назальных выделений, наличие каждого симптома оценивалось по 5-балльной шкале от 0 до 4, а общая сумма баллов по 4 пунктам использовалась для оценки тяжести. Кроме того, субъективные симптомы были оценены с помощью Японского стандартного опросника для оценки качества жизни при аллергическом рините (JRQLQ № 1), а общий балл (индекс) по всем пунктам использовали для оценки QOL [14]. Вторичные показатели результатов исследования включали определение уровня неспецифических IgE-антител (радиоиммуносорбентный тест, IgE-RIST) до начала лечения (до распространения пыльцы) и в период распространения пыльцы (с середины февраля до середины марта) в 1-й, 2-й и 3-й годы лечения, определение уровня специфических IgE-антител к пыльце кедров (радиоаллергосорбентный тест, IgE-RAST). Вышеуказанные тесты на

² ЯАЕ, японская аллергенная единица. – Прим. ред.

³ Вместо SL следует читать «обследованных». – Прим. ред.

⁴ ЛЕХ – коммерчески доступная БАД к пище, торговая марка DAIGO. – Прим. ред.

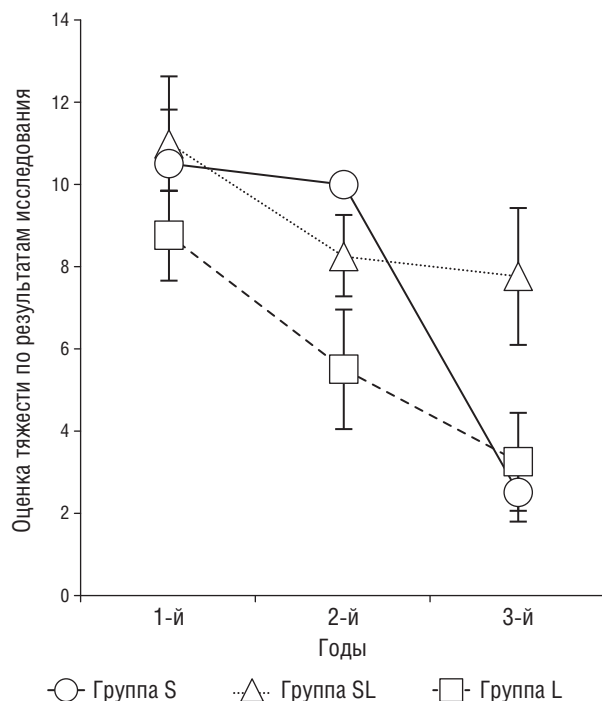


Рис. 2. Динамика показателей тяжести

Со временем все группы продемонстрировали улучшение показателей тяжести заболевания. ○, △ и □ представляют средние значения, а планки погрешностей – стандартные отклонения. Группа S (○) – группа СЛИТ; группа SL (△) – группа комбинированной терапии СЛИТ/LEX; группа L (□) – группа LEX. СЛИТ – сублингвальная иммунотерапия; LEX – экстракт, ферментированный ацидофильными лактобактериями.

Fig. 2. Severity score trends

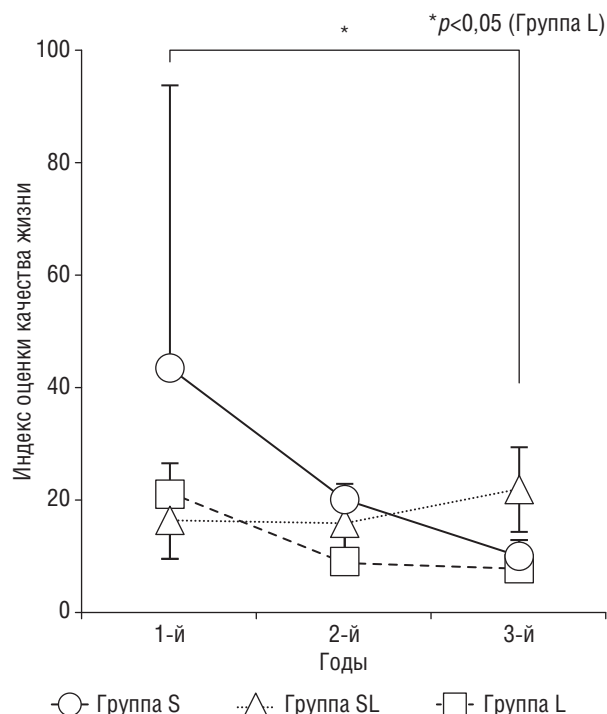


Рис. 3. Изменение индекса оценки качества жизни с течением времени

Показатели в группах L и SL улучшились на 3-м году лечения. В группе L наблюдалось значимое улучшение. ○, △ и □ представляет средние значения, а планки погрешностей – стандартные отклонения. Группа S (○) – группа СЛИТ; группа SL (△) – группа комбинированной терапии СЛИТ/LEX; группа L (□) – группа LEX. * – $p < 0,05$ согласно критерию Фридмана. СЛИТ – сублингвальная иммунотерапия; LEX – экстракт, ферментированный ацидофильными лактобактериями.

Fig. 3. Change in quality of life over time

антитела были выполнены в Showa Medical Science Co. Значения в период распространения пыльцы (с середины февраля до середины марта) были разделены на значения, полученные до начала лечения (до распространения пыльцы), после чего была рассчитана и сравнена скорость повышения уровней IgE-RAST.

Статистическую обработку проводили с использованием критерия Фридмана для оценки изменений с течением времени внутри групп в отношении тяжести симптомов аллергического ринита и индекса оценки QOL, значений IgE-RIST и IgE-RAST, а также с использованием критерия Краскела–Уоллиса для сравнения значений между группами и темпов увеличения уровней IgE-RAST за каждый год. Множественные сравнения проводили с помощью метода множественных сравнений Шеффе. Выбросы выявляли с помощью критерия Смирнова–Граббса для исходных значений IgE-RIST и IgE-RAST. Для оценки корреляции между показателями тяжести и индексом оценки QOL использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Статистический анализ проводили с использованием про-

граммы Excel Statistics (версия 3.21, Social Information Service Co., Ltd.), уровень риска менее 5% считался статистически значимым.

Данное исследование было проведено с одобрения Комитета по этическим вопросам некоммерческой корпорации Rex Labs (номер сертификата 002). Устное и письменное информированное согласие было получено от всех участников исследования, и исследование проводилось в соответствии с Хельсинкской декларацией. При обработке данных и других материалов, связанных с исследованием, мы уделили достаточно внимания защите конфиденциальности участников исследования и не включали никакой информации, которая могла бы идентифицировать участников исследования, при публикации результатов исследования.

Результаты

На рис. 1 показан поток участников исследования. В исследовании приняли участие 15 человек, но 4 чело-

Изменения уровней IgE-RIST и специфических IgE-антител к пыльце кедр

Changes in IgE-RIST and cedar pollen-specific IgE levels

Показатель	Группа	До рассеивания пыльцы	Период рассеивания пыльцы		
			1-й год	2-й год	3-й год
Уровень IgE-RIST, МЕ/мл	S	41,1±9,8	149,5±68,2	64,9±8,2	55,4±8,5
	SL	206,6±76,0	257,7±99,0	204,7±60,5	203,4±109,2
	L	316,5±142,4	329,1±159,9	291,7±129,4	304,4±150,9
Специфические IgE-антитела к пыльце кедр, АЕ/мл	S	7,6±1,4	68,7±25,6	24,4±6,0	12,2±2,9
	SL	33,6±12,0	54,0±24,3	35,3±18,8	20,4±9,7
	L	28,0±9,9	19,2±11,5	15,3±8,4* ■	15,6±9,0* ■

Примечание. Не выявлено значимых различий между группами S, SL и L в значениях IgE-RIST и IgE-RAST. При сравнении изменений с течением времени в каждой группе не наблюдалось значимых различий в значениях IgE-RIST. Уровень IgE-RAST в группе L статистически значимо снизился ($p<0,05$) на 2-й и 3-й год после начала лечения по сравнению с уровнем до начала лечения (до рассеивания пыльцы). Данные представлены как среднее значение ± стандартное отклонение; * – $p<0,05$; RIST ■ – радиоиммуносорбентный тест; RAST – радиоаллергосорбентный тест.

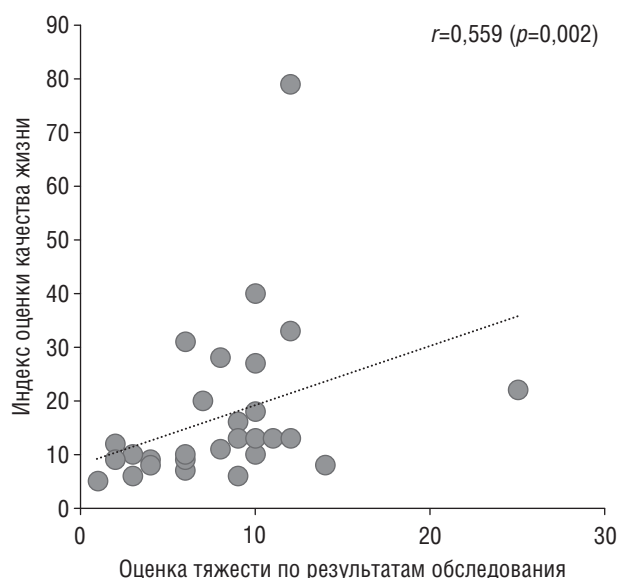


Рис. 4. Корреляция между тяжестью заболевания и индексами оценки качества жизни у пациентов с аллергией на пыльцу кедр

Наблюдается значимая положительная корреляция. На графике приведен коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r). Число в скобках обозначает значение p . Группа S – группа СЛИТ; группа SL – группа комбинированной терапии СЛИТ/LEX; группа L – группа LEX. СЛИТ – сублингвальная иммунотерапия; LEX – экстракт, ферментированный ацидофильными лактобактериями.

Fig. 4. Correlation between severity and quality of life scores in patients with cedar pollen allergies

века выбыли из исследования в ходе его проведения. У 1 участника исследования в группе L были более высокие показатели уровней IgE-RIST и IgE-RAST (IgE-RIST: 1204 МЕ/мл, IgE-RAST: 100 МЕ/мл) до начала лечения (до рассеивания пыльцы), чем у других участников исследования, и он был исключен после анализа на выбросы. В результате в анализ были включены 2 участника из группы S (1 мужчина и 1 женщина, средний возраст 38,0 года), 4 участника из группы L (4 женщины, средний возраст 29,8 года) и 4 участника из группы SL (1 мужчина и 3 женщины, средний возраст 42,3 года).

На рис. 2 показаны изменения тяжести симптомов с течением времени и в периоды распространения пыльцы. Со временем симптомы улучшились во всех группах, причем в группах L и SL наблюдалось почти значимое улучшение к 3-му году ($p<0,1$). Хотя в группе S было слишком мало пациентов для статистических выводов, в обеих группах наблюдалось значительное улучшение к 3-му году после начала лечения. Существенных различий в показателях тяжести между группами в каждом году не наблюдалось.

На рис. 3 представлены изменения индекса QOL по группам в период распространения пыльцы. Индексы QOL в группах S и L улучшились в течение 1–3 лет лечения. Между тем у пациентов групп L и SL была тенденция к более низким индексам QOL в 1-й год. В группе L наблюдалось статистически значимое улучшение ($p<0,05$) между 1-м и 3-м годами лечения. Как следует из рис. 4, демонстрирующего связь между тяжестью заболевания и индексами QOL, обнаружена положительная умеренно сильная корреляция ($r=0,559$, $p=0,002$).

В таблице представлены результаты тестов на антитела. Уровень IgE-RIST до начала лечения (до распространения пыльцы) уменьшался в следующем порядке: в группе L, SL и S, однако значимых различий между группами не выявлено; в группе S наблюдалась тенденция к повышению уровня IgE-RIST в период распространения пыльцы в 1-й год лечения, а существенных изменений в группах SL и L в течение периода исследования не установлено. В группах S и SL уровень IgE-RAST, имевший тенденцию к повышению в 1-й год лечения, вернулся на 2-й год к тому же уровню, что и до начала лечения (до рассеивания пыльцы), и имел тенденцию к снижению на 3-й год. При внутригрупповом сравнении существенных изменений не наблюдалось. В группе L тенденция к снижению отмечена с 1-го года лечения, и показатели демонстрировали тенденцию к снижению на протяжении всего периода лечения. На 2-й и 3-й год лечения наблюдалось достоверное ($p<0,05$) снижение по сравнению с показателем до начала лечения (до рассеивания пыльцы).

Обсуждение

В данном исследовании сравнивали эффективность СЛИТ и LEX по отдельности у небольшого числа пациентов с поллинозом, вызываемым пылью кедров. Мы также сравнили эффект от комбинированного применения СЛИТ и LEX. Несмотря на то что не удалось набрать достаточное количество участников, поскольку некоторые пациенты выбыли в ходе исследования, результаты сравнения показателей 3 групп (группы СЛИТ, группы LEX и группы комбинированной терапии СЛИТ и LEX) продемонстрировали, что индексы оценки QOL и IgE-RAST значительно снизились в группе LEX, а это свидетельствует о том, что LEX эффективен для лечения поллиноза, вызываемого пылью кедров.

Распространение пыли кедров в Японии в 2016 г. (1-й год лечения) и в 2017 г. (2-й год лечения) было близким к норме, а в 2018 г. (3-й год лечения) наблюдалось значительное распространение. Даже на 3-й год лечения, в год интенсивного распространения пыли, в каждой группе наблюдалось улучшение показателей тяжести заболевания и QOL (основных показателей), а также IgE-RIST и IgE-RAST (второстепенных показателей), что свидетельствует об эффективности лечения в каждой группе. Некоторая степень корреляции между оценкой тяжести и QOL и позволяет предположить наличие корреляции между субъективными симптомами и другими результатами обследования. Мы посчитали, что QOL улучшилось наряду с улучшением фактических симптомов.

По имеющимся данным, эффективность СЛИТ постепенно нарастает в течение 3 лет [15], и группа S в данном исследовании также потребовалось 3 года лечения. Однако около 20% пациентов не реагируют на СЛИТ и считаются невосприимчивыми [16]. Различия между эффективными и неэффективными случаями, а также различия в продолжительности эффективности после завершения лечения до сих пор неясны. На этом основании можно предположить, что у пациентов, принимавших LEX (группы SL и L), может наблюдаться раннее наступление терапевтического эффекта.

Одной из проблем, связанных с планированием данного исследования, стало отсутствие возможности оценки тяжести заболевания и QOL, а также тестирования на антитела в период распространения пыли (2015 г.) до начала лечения. Причина в том, что пациенты не обращаются в клинику без появления симптомов аллергии, а обращаются в клинику только после появления симптомов аллергии. Пациенты, которые посещают клинику с профилактической целью до появления симптомов аллергии, встречаются редко, а отобрать пациентов, у которых еще не проявились симптомы аллергии, не представлялось возможным. В результате в данном исследовании были получены данные только после начала лечения. Однако, принимая во внимание тенденцию к улучшению показателей тяжести заболевания и QOL на 2-м и 3-м годах

по сравнению с 1-м годом лечения, можно считать, что состояние участников, страдающих поллинозом, вызываемым пылью кедров, в обеих исследуемых группах улучшилось. Полученные результаты свидетельствуют о том, что назначение LEX (группы SL и L) может улучшить показатели QOL уже в 1-й год лечения и что эти показатели могут улучшиться раньше, чем в группе S. Применение LEX отдельно или в сочетании со СЛИТ эффективно для раннего наступления терапевтического эффекта и улучшения QOL у пациентов, страдающих поллинозом, вызываемым пылью кедров.

Ранний отбор пациентов, для которых СЛИТ эффективна, считается необходимым для снижения нагрузки на пациента и повышения мотивации к лечению. Хотя эффективность СЛИТ часто оценивается на основе оценки тяжести заболевания и показателей QOL, для определения эффективности СЛИТ необходима объективная оценка на основе биомаркеров, а не только на основе субъективных симптомов. Однако считается необходимым проведение объективной оценки с использованием биомаркеров, а не только субъективных симптомов [17]. В данном исследовании также изучали изменения уровней IgE-RIST и IgE-RAST. Результаты показали кратковременное повышение уровня антител к пыли кедров в 1-й год лечения в группах S и SL. На 2-й и 3-й годы этот рост был подавлен. С другой стороны, в группе L не наблюдалось кратковременного повышения уровня антител к пыли кедров в 1-й год, однако наблюдалась тенденция к снижению с каждым годом, и уровни оставались ниже в сезон распространения пыли, чем в период, когда пыль кедров не распространялась. В группе SL в 1-й год наблюдалось более низкое кратковременное повышение уровня IgE-RAST, чем в группе S, что позволяет предположить, что прием LEX подавляет повышение уровня IgE-RAST в период рассеивания пыли; уровень IgE-RAST может быть биомаркером, по которому можно судить о поллинозе, вызываемом пылью кедров.

Сообщалось, что пероральное введение LEX мышам увеличивает количество естественных Т-киллеров (NK-клетки) и индуцирует выработку γ -интерферона в иммунитете слизистой оболочки пищеварительного тракта [11]. Другими словами, считается, что LEX активирует врожденный иммунитет и регулирует иммунный баланс между Т-хелперами 1-го типа (Th1) и 2-го типа (Th2). В данном исследовании также предполагается, что LEX способствует клиническому улучшению состояния при поллинозе, вызываемом пылью кедров, и снижению выработки специфических к пыли кедров антител. Считается, что ацидофильные лактобактерии как пробиотик также облегчают симптомы аллергии I типа, включая поллиноз, вызываемый пылью кедров, регулируя баланс эффекторных клеток, таких как Т-хелперы 1 (Th1), 2 (Th2) или 17 типа (Th17) [6, 18]. При аллерген-специфической иммунотерапии антигены вводятся в более высоких концентра-

циях, чем обычно, и, как полагают, подавляют аллергические реакции путем локальной индукции клеток Th1 [19]. Помимо этого, было отмечено, что колебания патогенных субпопуляций Th2 при аллерген-специфической иммунотерапии также важны для эффективности терапии [20].

Сочетание СЛИТ и LEX может привести к раннему наступлению терапевтического эффекта СЛИТ за счет дополнительных эффектов активации LEX клеток Th1 через врожденную иммунную систему и локальной индукции СЛИТ клеток Th1 и специфических флуктуаций клеток Th2. Однако результаты данного исследования не выявили никаких преимуществ комбинированной терапии СЛИТ и LEX по сравнению с монотерапией СЛИТ, что позволяет предположить, что LEX обладает возможным механизмом действия через иммунную систему кишечника, таким как регуляция проницаемости кишечника, нормализация кишечной микробиоты хозяина, усиление функции иммунного барьера кишечника и регуляция баланса воспалительных и противовоспалительных цитокинов. Возможно, превосходство комбинированной терапии с применением СЛИТ и LEX не было очевидным, поскольку механизм действия СЛИТ отличается от механизма действия LEX, который вызывает иммунный ответ Th1 и смягчает иммунный ответ Th2 через врожденный и приобретенный иммунитет. Однако, учитывая, что в данном исследовании в группе комбинированного лечения СЛИТ/LEX не было неэффективных случаев, возможно, сочетание СЛИТ и LEX могло стать терапией второй линии для снижения количества неэффективных случаев.

В настоящее время СЛИТ является методом лечения лишь ограниченного количества аллергических симптомов, вызываемых пылевыми клещами и пыльцой кедр. Однако СЛИТ, по-видимому, можно применять при различных аллергических заболеваниях, более широко используя пищевые ингредиенты. У пациентов с аллергическим ринитом редко возникают аллергические реакции только на пыльцу кедр или клещей, установлено, что многие пациенты реагируют на различные аллергены. Считается, что применение LEX и других пищевых ингредиентов вносит значительный вклад в облегчение аллергических симптомов и улучшение QOL пациентов [21]. Кроме того, использование пищевых ингредиентов может быть полезным в качестве фундаментального решения проблем побочных эффектов, вызванных длительным приемом противоаллергических и противовоспалительных препаратов, которые часто используются при лечении аллергических заболеваний, а также проблем, связанных с тем, что они являются лишь симптоматическим лечением.

Данное исследование было пилотным и проводилось в небольшом масштабе из-за длительного периода наблюдения и большого количества случаев отсева, что затрудняло поиск подходящих кандидатов. Комбинированный эффект LEX и СЛИТ считается эффективным, однако в будущем необходимо увеличить количе-

ство пациентов, чтобы выявить статистически значимые различия. На основании результатов данного исследования мы хотели бы увеличить количество участников и продолжить исследование, уточнив будущие данные и методы исследования.

Заключение

В данном исследовании изучали эффективность LEX в лечении поллиноза, вызываемого пыльцой кедр. Мы также проанализировали, может ли комбинированное применение СЛИТ и LEX обеспечить скорейшее наступление терапевтического эффекта при лечении поллиноза, вызываемого пыльцой кедр. Мы также проанализировали, может ли LEX быть эффективным в качестве терапии второй линии для пациентов с неадекватным ответом на лечение.

Индекс тяжести заболевания и уровни неспецифических IgE-антител существенно не различались между 3 группами, а индекс оценки QOL значительно снизился между 1-м и 3-м годами лечения в группе L. В группе L уровень специфических IgE-антител к пыльце кедр значительно снизился на 2-й и 3-й годы лечения. На основании индексов тяжести заболевания и оценки QOL ожидалось, что пациентам групп S и SL потребуется 3 года лечения для достижения эффекта, в то время как группа L продемонстрировала тенденцию к улучшению показателей качества жизни и уровней специфических IgE-антител к пыльце кедр с 1-го года лечения, что позволяет предположить возможность раннего наступления терапевтического эффекта от LEX, хотя эффективность LEX неясна.

Поскольку ожидается, что эффект от LEX наступит на ранней стадии, его можно использовать в качестве терапии второй линии для снижения частоты неэффективных случаев за счет приема LEX на ранней стадии лечения. Имеется мало данных об иммуномодулирующем действии постбиотических компонентов у людей, и в распоряжении авторов нет исследований, в которых оценивалась бы комбинированная терапия СЛИТ и LEX. Данное исследование представлено в качестве потенциального источника фактических данных.

Дополнительная информация

Раскрытие информации

Участники исследования: все участники данного исследования дали свое согласие или отказались от него. Комитет по этическим вопросам некоммерческой корпорации «Рекс Лабс» выдал разрешение 002.

Подопытные животные: все авторы подтвердили, что в данном исследовании не использовались в качестве объектов исследования животные или ткани.

Конфликты интересов. В соответствии с единой формой раскрытия информации ICMJE все авторы заявляют следующее. **Информация об оплате/услугах:** все

авторы заявили, что не получали никакой финансовой поддержки от какой-либо организации для представленной работы. **Финансовые отношения:** все авторы заявили, что в настоящее время и в течение предыдущих 3 лет не имели финансовых отношений с какими-либо организациями, которые могли бы быть заинтересованы в представленной работе. **Другие отношения:**

все авторы заявили об отсутствии каких-либо других отношений или видов деятельности, которые могли бы повлиять на представленную работу.

Благодарность

Авторы хотели бы поблагодарить академию Enago (www.enago.jp) за рецензию на английском языке.

Литература/References

- Matubara A., Sakashita M., Goto Y., et al. [National epidemiological survey of nasal allergy 2019 (1998, compared with 2008): preliminary report – otolaryngologists and their families]. *J Otolaryngol Jpn.* 2020; 123: 485–90. DOI: <https://doi.org/10.3950/jibiinkoka.123.485>
- Han D.H., Rhee C.S. Sublingual immunotherapy in allergic rhinitis. *Asia Pac Allergy.* 2011; 1: 123–9. DOI: <https://doi.org/10.5415/apallergy.2011.1.3.123>
- Sakurai D., Ishii H., Shimamura A., Watanabe D., Yonaga T., Matsuoka T. Sublingual immunotherapy for Japanese cedar pollinosis: current clinical and research status. *Pathogens.* 2022; 11: 1313. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens11111313>
- Masuyama K., Matsuoka T., Kamijo A. Current status of sublingual immunotherapy for allergic rhinitis in Japan. *Allergol Int.* 2018; 67: 320–5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.alit.2018.04.011>
- Sasihara N. [Studies on immunomodulatory effects of lactic acid bacteria]. *J Enterobacteriol.* 2013; 27: 197–202. DOI: <https://doi.org/10.11209/jim.27.197>
- Benno Y. [Probiotics and their clinical perspectives]. *J Jpn Soc Intern Med.* 2015; 104: 86–92. DOI: <https://doi.org/10.2169/naika.104.86>
- Maehata H., Murata M. [Immunostimulant activity of Lactobacillus paracasei MCC1849 and its application to foods]. *Milk Sci.* 2019; 68: 180–7. DOI: <https://doi.org/10.11465/milk.68.180>
- Mitsuoka T. [History and evolution of probiotics]. *Jpn J Soc Lactic Acid Bact.* 2011; 22: 26–37. DOI: <https://doi.org/10.4109/jslab.22.26>
- Aguilar-Toalá R.J.E., García-Varela R., García H.S., et al. Postbiotics: an evolving term within the functional foods field. *Trends Food Sci. Technol.* 2018; 75: 105–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.009>
- Fukui M., Fujino T., Tsutsui K., et al. The tumor-preventing effect of a mixture of several lactic acid bacteria on 1,2-dimethylhydrazine-induced colon carcinogenesis in mice. *Oncol Rep.* 2001; 8: 1073–8. DOI: <https://doi.org/10.3892/or.8.5.1073>
- Takahashi S., Kawamura T., Kanda Y., et al. Activation of CD1d-independent NK1.1+ T cells in the large intestine by Lactobacilli. *Immunol Lett.* 2006; 102: 74–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.imlet.2005.07.003>
- Odashiro K., Hukada M., Saito K., et al. [Effects of lactobacillus-generated extract (fermented soybean lactobacillus extract) on patients with colorectal polyps: a pilot double-blind comparative study]. *J Jpn Soc Food Sci Technol.* 2014; 25: 20–5. DOI: <https://doi.org/10.2740/jisdh.25.20>
- Fukuchi M., Yasutake T., Matsumoto M., et al. Effect of lactic acid bacteria-fermented soy milk extract (LEX) on urinary 3-indoxyl sulfate in Japanese healthy adult women: an open-label pilot study. *Nutr Diet Suppl.* 2020; 12: 301–9. DOI: <https://doi.org/10.2147/NDS.S281180>
- Kawashima K., Kikumori K., Tamashiro A., et al. Evaluation of the quality of life of patients with perennial allergic rhinitis (comparison of the JRQLQ and RQLQJ). *J Rhinol.* 2013; 52: 499–505. DOI: <https://doi.org/10.7248/jjrhi.52.499>
- Yuta K. [Allergen immunotherapy sublingual immunotherapy for cedar pollinosis]. *J Rhinol.* 2018; 57: 94–8. DOI: <https://doi.org/10.7248/jjrhi.57.94>
- Okamoto Y. [Future prospects of sublingual immunotherapy for allergic rhinitis]. *J Otolaryngol Jpn.* 2019; 122: 1381–5. DOI: <https://doi.org/10.3950/jibiinkoka.122.1381>
- Sakashita M., Makino T., Fujieda S., et al. [Biomarkers correlating with the efficacy of allergic rhinitis treatment]. *Allergy.* 2014; 63: 767–74.
- Kanri Y. [Effects of food consumption of lactobacillus acidophilus L-92 on symptomatic pollinosis patients]. *Funct Food Res.* 2019; 15: 42–7.
- Matsuoka T., Shamji M.H., Durham S.R. Allergen immunotherapy and tolerance. *Allergol Int.* 2013; 62: 403–13. DOI: <https://doi.org/10.2332/allergolint.13-RAI-0650>
- Ihara F., Sakurai D., Okamoto Y. [The analysis of Th2 cell subsets in house dust mite allergic rhinitis patients after sublingual immunotherapy]. *Nihon Yakurigaku Zasshi.* 2019; 154: 12–6. DOI: <https://doi.org/10.1254/fpj.154.12>
- Yang G., Liu Z.Q., Yang P.C. Treatment of allergic rhinitis with probiotics: an alternative approach. *N Am J Med Sci.* 2013; 5: 465–8. DOI: <https://doi.org/10.4103/1947-2714.117299>

Нужна информация
по лекарственному препарату?
Мы ее вам предоставим!



ЛС ГЭОТАР

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЛЕКАРСТВЕННЫЙ
СПРАВОЧНИК



Научные
публикации



Действующие
вещества



Торговые
названия



МКБ-10 | АТХ | КФУ | Компании ▾

Непатентованные наименования от 'якорцев' до 'янтарная'

А Б В Г Д Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Э Я

1 L R



Якорцев стелющихся травы экстракт

- Другие гиполлипидемические средства
- Другие средства, регулирующие функцию органов мочеполовой

МКБ-10 +

Входит в состав:

Трибестан® таблетки внутрь



Янтарная кислота

- Другие метаболиты

МКБ-10 +

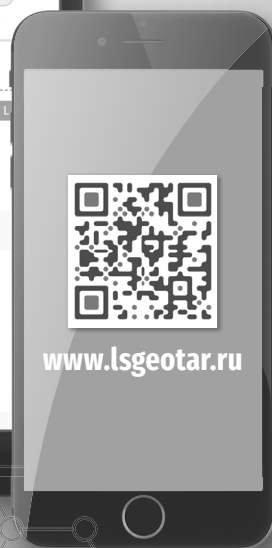
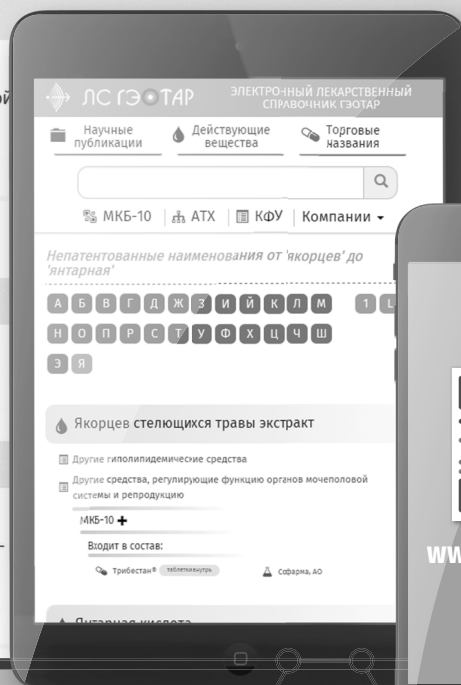


Янтарная кислота + Лимонная кислота

- Антигипоксанта и антиоксиданты
- Средства для коррекции нарушений при алкоголизме, токсико-

МКБ-10 +

Входит в состав:



Самый полный и достоверный
справочник в свободном доступе для врачей:

Официальные инструкции Минздрава РФ

Обновление информации в онлайн-режиме

Интеграция с образовательными модулями
и библиотеками врача, студента

Полные описания всех зарегистрированных
препаратов и действующих веществ

Бесплатный доступ для врачей и студентов

www.lsgeotar.ru