

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 95

№ 2 (564), 2026

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

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



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 антропонутиологии 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 антропонутиологии и спортивного питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

Арчаков Александр Иванович (Москва, Россия)
академик РАН, доктор биологических наук, профессор, научный руководитель ФГБУ «Научно-исследовательский институт биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича»

Багиров Вугар Алиевич (Москва, Россия)
член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, директор Департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Минобрнауки России

Батурин Александр Константинович (Москва, Россия)
доктор медицинских наук, профессор, руководитель направления «Оптимальное питание» ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Бойцов Сергей Анатольевич (Москва, Россия)
академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, генеральный директор ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России

Бреда Жоао (Афины, Греция)
доктор медицинских наук, руководитель офиса ВОЗ по качеству медицинской помощи и безопасности пациентов в Афинах, специальный советник регионального директора ВОЗ

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 кардиохирургическим отделением № 14 отдела неинвазивной аритмологии и хирургического лечения комбинированной патологии (ОНА) Института кардиохирургии им. В.И. Бураковского, директор ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, главный внештатный специалист аритмолог Минздрава России

Ефимочкина Наталья Рамазановна (Москва, Россия)
доктор биологических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

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)
академик РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

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»

Пилат Татьяна Львовна (Москва, Россия)
доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник клинического отдела профессиональных и производственно обусловленных заболеваний ФГБУ «НИИ МТ»

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 ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»

Салагай Олег Олегович (Москва, Россия)
кандидат медицинских наук, статс-секретарь – 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», заведующий кафедрой факультетской терапии Института клинической медицины ФГАУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет)

Тармаева Инна Юрьевна (Москва, Россия)
доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной и образовательной работе ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Тышко Надежда Валерьевна (Москва, Россия)
доктор медицинских наук, заведующий лабораторией оценки безопасности биотехнологий и новых источников пищи ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Цацакис Аристидис Михаил (Крит, Греция)
иностраный член РАН, профессор, руководитель Департамента токсикологии и судебной медицины при Университете Крита, председатель отдела морфологии Медицинской школы Университета Крита

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Акимов М.Ю. (Мичуринск, Россия)
Бакиров А.Б. (Уфа, Россия)
Бессонов В.В. (Москва, Россия)
Богданова О.Г. (Ангарск, Россия)
Боровик Т.Э. (Москва, Россия)
Гильмиярова Ф.Н. (Самара, Россия)
Глухов А.И. (Москва, Россия)
Камбаров А.О. (Москва, Россия)
Касымов О.Т. (Бишкек, Кыргызстан)

Коденцова В.М. (Москва, Россия)
Кузьмин С.В. (Москва, Россия)
Ли Ян (Чанчунь, КНР)
Мазо В.К. (Москва, Россия)
Погожева А.В. (Москва, Россия)
Покровский В.С. (Москва, Россия)
Попов В.И. (Воронеж, Россия)
Римарева Л.В. (Москва, Россия)
Сазонова О.В. (Самара, Россия)

Симоненко С.В. (Москва, Россия)
Сорачева Т.Н. (Москва, Россия)
Сычик С.И. (Минск, Беларусь)
Турчанинов Д.В. (Омск, Россия)
Хенсел А. (Берлин, Германия)
Хотимченко С.А. (Москва, Россия)
Шарафетдинов Х.Х. (Москва, Россия)
Шевелева С.А. (Москва, Россия)

Научно-практический журнал «Вопросы питания» № 2 (564), 2026

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: 20.04.2026
Дата выхода в свет: 27.04.2026

Тираж 3000 экземпляров.
Формат 60×90 1/8.
Печать офсетная. Печ. л. 12,5.
Отпечатано в ООО «Фотоэксперт»
109316, г. Москва,
Волгоградский проспект, д. 42.
Заказ №

Цена свободная.

© ООО Издательская группа
«ГЭОТАР-Медиа», 2026

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 2 (564), 2026

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 «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: 20.04.2026

Publication date: 27.04.2026

Circulation of 3000 copies.

Format 60×90 1/8.

Offset printing. 12,5 sh.

LLC «Photoexpert»
109316, Moscow,
Volgogradsky Prospect, 42.
Order N

Uncontrolled price.

© GEOTAR-Media Publishing Group,
2026

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 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 (Athens, Greece)

PhD MPH MBA, Head of the WHO Athens Office for Quality of Care and Patient Safety and Special Adviser of the WHO Regional Director

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 Cardiac Surgery Department No. 14 of the Department of Non-Invasive Arrhythmology and Surgical Treatment of Combined Pathology of the V.I. Bourakovskiy Institute for Cardiac Surgery, Director of A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery

Natalya R. Efimochkina (Moscow, Russia)

Doctor of Biological Sciences, Deputy Director for Research of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety

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)

Full 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

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, Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Deputy President of the Russian Academy of Education

Tatiana L. Pilat (Moscow, Russia)

Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher, Clinical Department of Occupational and Work-Related Diseases of Izmerov Research Institute of Occupational Health

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 Plekhanov Russian University of Economics

Oleg O. Salagay (Moscow, Russia)

PhD, Candidate of Medical Sciences, State Secretary – 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, Head of the Department of Faculty Therapy at the Institute of Clinical Medicine at the N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation (Pirogov University)

Inna Yu. Tarmaeva (Moscow, Russia)

Doctor of Medical Sciences, Professor, Deputy Director for Research and Education of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety

Nadezhda V. Tyshko (Moscow, Russia)

Doctor of Medical Sciences, Head of the Laboratory of safety assessment of biotechnologies and novel food sources of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety

Aristides M. Tsatsakis (Crete, Greece)

Foreign 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

EDITORIAL COUNCIL

Akimov M.Yu. (Michurinsk, Russia)

Bakirov A.B. (Ufa, Russia)

Bessonov V.V. (Moscow, Russia)

Bogdanova O.G. (Angarsk, 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)

Kasymov O.T. (Bishkek, Kyrgyzstan)

Kodentsova V.M. (Moscow, Russia)

Kuzmin S.V. (Moscow, Russia)

Li Y. (Changchun, China)

Mazo V.K. (Moscow, Russia)

Pogozheva A.V. (Moscow, Russia)

Pokrovsky V.S. (Moscow, Russia)

Popov V.I. (Voronezh, Russia)

Rimareva L.V. (Moscow, Russia)

Sazonova O.V. (Samara, Russia)

Simonenko S.V. (Moscow, Russia)

Sorvacheva T.N. (Moscow, Russia)

Sychik S.I. (Minsk, Belarus)

Turchaninov D.V. (Omsk, Russia)

Khotimchenko S.A. (Moscow, Russia)

Sharafetdinov Kh.Kh. (Moscow, Russia)

Sheveleva S.A. (Moscow, Russia)

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ПИТАНИЯ

Выборная К.В., Никитюк Д.Б.

Оценка пищевого статуса и частота встречаемости избыточной жировой массы тела при нормальных показателях индекса массы тела у спортсменок, специализирующихся в художественной гимнастике

Храмова Д.С., Витязев Ф.В., Зуева Н.В., Чистякова Е.А., Попов С.В.

Восприятие текстуры и жевательная функция у людей с высоким и нормальным индексом массы тела

ГИГИЕНА ПИТАНИЯ

Мартинчик А.Н., Батурин А.К., Кудрявцева К.В., Мартинчик Э.А., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А.

Индекс здорового питания в оценке региональных особенностей питания населения Российской Федерации

Кешабянц Э.Э., Смирнова Е.А., Хомич Л.М., Эллер К.И.

Традиционные источники кофеина в питании российского населения: количественная оценка и социально-демографические детерминанты

Борисенков М.Ф., Попов С.В., Смирнов В.В., Цэрнэ Т.А., Бакутова Л.А., Дорогина О.И., Печеркина А.А., Сыманюк Э.Э.

Асинхронные ассоциированные с возрастом и полом изменения связи между пищевым поведением и индексом массы тела

СПОРТИВНОЕ ПИТАНИЕ

Мезенцева Ю.А., Шурова З.М., Баландин М.Ю., Солнцева Т.Н., Вржесинская О.А., Андропова М.С., Компаинцева Д.М., Никитюк Д.Б.

Оценка частоты сниженной минеральной плотности костной ткани и ее взаимосвязи с рационом юных теннисистов

ЛЕЧЕБНОЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ПИТАНИЕ

Фоменко В.В., Детинкин И.А., Чернуха И.М., Машенцева Н.Г., Болшев Н.А.

Изучение протеолиза соевого белка пищеварительными ферментами и описание пептидного профиля полученных гидролизатов

Пилат Т.Л., Кузьмина Л.П., Хотулева А.Г., Коляскина М.М.

Новые возможности диетической коррекции массы тела и липидного обмена у пациентов с ожирением

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF NUTRITION

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

Assessment of nutritional status and the incidence of excess body fat mass under normal body mass index in female rhythmic gymnasts

16 **Khramova D.S., Vityazev F.V., Zueva N.V., Chistiakova E.A., Popov S.V.**

Texture perception and masticatory function in individuals with high and normal body mass index

HYGIENE OF NUTRITION

26 **Martinchik A.N., Baturin A.K., Kudryavtseva K.V., Martinchik E.A., Nikityuk D.B., Tutelyan V.A.**

Index of healthy diet for assessing regional dietary patterns of the population of the Russian Federation

38 **Keshabyants E.E., Smirnova E.A., Khomich L.M., Eller K.I.**

Traditional dietary sources of caffeine in Russia: quantitative assessment and socio-demographic determinants

49 **Borisenkov M.F., Popov S.V., Smirnov V.V., Tserne T.A., Bakutova L.A., Dorogina O.I., Pecherkina A.A., Symanyuk E.E.**

Asynchronous age- and sex-associated changes in relationship between eating behavior and body mass index

NUTRITION OF SPORTSMEN

60 **Mezentseva Yu.A., Shurova Z.M., Balandin M.Yu., Solntseva T.N., Vrzhesinskaya O.A., Andronova M.S., Kompaintseva D.M., Nikityuk D.B.**

Assessment of the frequency of a decrease in bone mineral density and its relationship with the diet of young tennis players

THERAPEUTIC AND PREVENTIVE NUTRITION

70 **Fomenko V.V., Detinkin I.A., Chernukha I.M., Mashentseva N.G., Bolshev N.A.**

A study of soy protein proteolysis by digestive enzymes and description of the peptide profile of the obtained hydrolysates

92 **Pilat T.L., Kuzmina L.P., Khotuleva A.G., Kolyaskina M.M.**

New possibilities for dietary correction of body weight and lipid metabolism in patients with obesity

Для корреспонденции

Выборная Ксения Валерьевна (Kseniya V. Vybornaya) – научный сотрудник лаборатории антропонутициологии и спортивного питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
 Адрес: 109240, Российская Федерация, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14
 Телефон: (495) 698-53-26
 E-mail: dombim@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4010-6315>

Выборная К.В.¹, Никитюк Д.Б.^{1–3}

Оценка пищевого статуса и частота встречаемости избыточной жировой массы тела при нормальных показателях индекса массы тела у спортсменок, специализирующихся в художественной гимнастике

Assessment of nutritional status and the incidence of excess body fat mass under normal body mass index in female rhythmic gymnasts

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 имени 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, Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), 119991, Moscow, Russian Federation

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

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Никитюк Д.Б., Выборная К.В.; организация исследования – Никитюк Д.Б.; 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. Оценка пищевого статуса и частота встречаемости избыточной жировой массы тела при нормальных показателях индекса массы тела у спортсменок, специализирующихся в художественной гимнастике // Вопросы питания. 2026. Т. 95, № 2. С. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-5-15>

Статья поступила в редакцию 15.12.2025. **Принята в печать** 12.03.2026.

Funding. The research was carried out using subsidies for the implementation of a state task (FGMP-2025-0002).

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

Contribution. Concept and design of the study – Nikityuk D.B., Vybornaya K.V.; organization of the study – Nikityuk D.B.; data collection, data processing and writing the text – 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. Assessment of nutritional status and the incidence of excess body fat mass under normal body mass index in female rhythmic gymnasts. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2026; 95 (2): 5–15. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-5-15> (in Russian)

Received 15.12.2025. **Accepted** 12.03.2026

Одна из приоритетных задач спортивной медицины – это сохранение здоровья спортсменов как на протяжении всей спортивной карьеры, так и после ее окончания. Выявление спортсменов с избыточной жировой массой при нормальных показателях индекса массы тела (ИМТ) важно для спортивной медицины, так как избыточная жировая масса является предиктором развития метаболических нарушений, а также возникновения избыточной массы тела и ожирения после окончания спортивной карьеры.

Цель работы – провести оценку пищевого статуса методом, сочетающим критерии ИМТ и доли жировой массы тела, выявить частоту встречаемости и определить сроки манифестации избыточной жировой массы тела при нормальных показателях ИМТ у спортсменок, специализирующихся в художественной гимнастике.

Материал и методы. Обследованы 239 спортсменок 6–20 лет, занимающиеся художественной гимнастикой. Антропометрические измерения проводили по стандартной методике. Компонентный состав тела определяли методом биоимпедансометрии с помощью анализатора ABC-02 «МЕДАСС». Пищевой статус оценивали с помощью программы Всемирной организации здравоохранения AnthroPlus, а также метода, сочетающего в себе оценку значений ИМТ и доли жировой массы тела и позволяющего выявить скрытые состояния, такие как избыточная жировая масса при нормальном ИМТ.

Результаты. Применение сочетанного метода оценки пищевого статуса по критериям ИМТ и доли жировой массы тела показало, что 14 (5,9%) гимнасток имели повышенное содержание жировой массы тела при нормальном ИМТ. У этих спортсменок выявлено меньшее, чем у гимнасток с нормальной жировой массой, количество тощей и скелетно-мышечной массы. Были выявлены 30 спортсменок, имеющих тип сложения, характеризующийся нормальными значениями тощей массы тела и ИМТ при недостаточном количестве жировой массы. 8 спортсменок (3,3% обследованных) имели дефицит массы тела; у 1 из них была диагностирована недостаточная длина тела.

Заключение. Спортсменки, занимающиеся эстетическими дисциплинами сложно-координационных видов спорта, такими как художественная гимнастика, имеют риск развития избыточной жировой массы при нормальных показателях ИМТ, истинной избыточной массы тела и ожирения как после завершения спортивной карьеры, так и в период пубертата.

Ключевые слова: художественная гимнастика; пищевой статус; биоимпедансометрия; состав тела; жировая масса тела; девочки; девушки

One of the priority goals of sports medicine is maintaining athletes' health, both throughout their athletic careers and afterward. Identifying athletes with excess body fat under normal body mass index (BMI) is important for sports medicine, as excess body fat predicts the development of metabolic disorders, as well as the development of overweight and obesity after retirement.

The aim of this study was to assess nutritional status using a method combining BMI and body fat percentage criteria, to identify the incidence and timing of the manifestation of excess body fat under normal BMI values in female rhythmic gymnasts.

Material and methods. A total of 239 female rhythmic gymnasts aged 6–20 years were examined. Anthropometric measurements were performed using standard methods. Body composition was determined using bioelectrical impedance analysis using an ABC-02 MEDASS analyzer. Nutritional status was assessed using the WHO AnthroPlus program and a method combining BMI and body fat percentage evaluation, which allows for the detection of hidden conditions such as excess body fat with a normal BMI.

Results. Using the combined method of assessing BMI and body fat percentage, 14 (5.9%) gymnasts had elevated body fat with a normal BMI. These athletes had lower lean body mass and skeletal muscle mass than gymnasts with normal body fat. Thirty athletes were identified as having a body type characterized by normal lean body mass and BMI values with insufficient fat mass. Eight athletes (3.3% of those examined) were underweight; one of them was diagnosed with insufficient body height.

Conclusion. Athletes involved in complex athletic disciplines, such as rhythmic gymnastics, are at risk of developing excess body fat despite normal BMI levels, true overweight, and true obesity, both after retirement and during puberty.

Keywords: rhythmic gymnastics; nutritional status; bioimpedance analysis; body composition; body fat mass; girls

Сохранение здоровья спортсменов, как на протяжении всей спортивной карьеры, так и после ее окончания, – одна из приоритетных задач спортивной медицины. Умеренные и средние по интенсивности физические нагрузки благоприятно влияют на здоровье человека, снижая риск развития ряда заболеваний, в том числе алиментарно-зависимых. Исследования показали, что кардиореспираторная, а также мышечная подготовка связаны с лучшим сердечным и метаболическим здоровьем в детско-юношеском возрасте, однако у высококвалифицированных спортсменов, чьи физические нагрузки принято считать запредельными, возрастает риск повышенной общей заболеваемости [1–3].

Одной из наиболее значимых причин заболеваемости и смертности во всем мире является ожирение. Ожирение традиционно определяют по индексу массы тела (ИМТ), поэтому были стандартизированы этноспецифические пороговые значения для избыточной массы тела (МТ) и ожирения [4]. В Российской Федерации действуют клинические рекомендации «Ожирение у детей» [5], согласно которым для диагностики ожирения следует рассчитывать коэффициент стандартного отклонения [standard deviation (SD) score] от нормальной МТ для возраста детей. Оценка пищевого статуса детей основана на сопоставлении полученных значений ИМТ с интервалами SD, которым соответствует интерпретация, предложенная Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) и внедренная в программу AnthroPlus [6], а также в программное обеспечение биоимпедансного анализатора состава тела ABC-02 «МЕДАСС».

Дополнительно существует классификация доли жировой массы тела (ЖМТ), подразделяющая обследуемый контингент по проценту (%ЖМТ) для определенного возраста и пола на недостаточное, нормальное, избыточное содержание и ожирение. Такая классификация внедрена в программное обеспечение анализатора ABC-02 «МЕДАСС».

Оценка пищевого статуса только по значению ИМТ не учитывает возможное присутствие избыточной ЖМТ при нормальных показателях ИМТ, а также высокое содержание тощей массы тела (ТМТ) у спортивного контингента при повышенных показателях ИМТ. Нормальная МТ может маскировать как мышечный тип сложения при недостаточной ЖМТ и нормальном ИМТ, так и присутствие избыточной ЖМТ при нормальном ИМТ, при котором %ЖМТ классифицируется как избыточная МТ, и наличие избыточной ЖМТ при нормальном ИМТ, при котором %ЖМТ классифицируется как ожирение. Избыточная МТ может маскировать мышечный тип сложения при нормальной ЖМТ и повышенных ТМТ и ИМТ. Ожирение может маскировать избыточную МТ и мышечный тип сложения при нормальной ЖМТ и повышенной ТМТ. Недостаточная МТ может быть связана как с недостатком всех компонентов состава тела, так и с недостаточной ТМТ при нормальных показателях ЖМТ.

Для оценки пищевого статуса обследуемого контингента, а в особенности спортивного, следует применять метод, сочетающий критерии ИМТ и %ЖМТ. Полученные при обследовании индивидуальные значения ЖМТ у детей, занимающихся спортом, следует сравнивать с возрастными нормативами для юных спортсменов различных специализаций обоего пола [7], так как нормы содержания в организме жирового и мышечного компонентов, а также их соотношения для спортивного контингента отличаются от популяционных. Нормативными значениями доли ЖМТ для мальчиков и юношей 5–17 лет служат значения 9–17% (до 22,5% у ватерполистов), для девочек и девушек 5–17 лет – 12–19% в зависимости от спортивной специализации. Избыток ЖМТ отрицательно влияет на результативность и спортивную успешность спортсменов, независимо от возраста, пола и вида спорта [7].

Выявление спортсменов с избыточной ЖМТ при нормальных показателях ИМТ является важным для спортивной медицины, так как избыточная ЖМТ служит предиктором возникновения метаболических нарушений [4, 8], а после окончания спортивной карьеры у этих спортсменов могут развиваться истинная избыточная МТ и ожирение.

Цель исследования – провести оценку пищевого статуса методом, сочетающим критерии ИМТ и доли ЖМТ, выявить частоту встречаемости и определить сроки манифестации избыточной ЖМТ при нормальных показателях ИМТ у спортсменов, специализирующихся в художественной гимнастике.

Материал и методы

В исследовании приняли участие спортсменки 6–20 лет, занимающиеся художественной гимнастикой ($n=239$). При формировании групп в нашем исследовании использовали принципы, принятые в гигиене детей и подростков, и всех обследованных спортсменок разделили на 4 группы: в 1-ю группу вошли девочки 6,0–10,5 года, во 2-ю – девушки 10,6–14,5 года, в 3-ю – девушки 14,6–17,5 года, в 4-ю – девушки 18,4–19,8 года (количество обследованных и возраст по группам представлены в табл. 1).

Антропометрические измерения проводили по стандартной методике [9]. Компонентный состав тела определяли методом биоимпедансометрии с помощью анализатора ABC-02 «МЕДАСС» (НТЦ «Медасс», РФ). Анализировали как абсолютные показатели компонентов тела, так и их относительные значения, а также значения простых и двойных индексов. Одинарные (простые) индексы рассчитываются как отношение абсолютного количества одного из компонентов тела к квадрату длины тела (ДТ) (в $\text{кг}/\text{м}^2$); двойные – как отношение значения одинарного индекса к МТ или, что то же самое, отношение абсолютного количества одного из компонентов тела или водного сектора к квадрату ДТ, умноженному на МТ ($1/\text{м}^2$) [10].

С помощью программы ВОЗ AnthroPlus (вкладка «Обследование состояния питания») была проведена оценка соответствия ДТ и ИМТ обследованных гимнасток в возрасте до 18 лет нормативам ВОЗ (2007 г.) [6] методом вычисления Z-score ДТ и ИМТ. Нормативов по показателю МТ при возрасте для детей старше 10 лет не существует, поскольку у быстро растущих детей в пубертатном периоде метод оценки по МТ дает ошибку: высокое значение показателя МТ с привязкой к определенному возрасту может создать впечатление о наличии избыточной МТ у высокорослого ребенка. Для спортсменок 18–20 лет использовали оценку ИМТ согласно общепринятой классификации для взрослых.

В качестве диагностического критерия избыточной МТ и ожирения у детей ВОЗ рекомендован способ расчета Z-скора ИМТ для возраста или BAZ (Z-score body mass index for age). Z-скор означает число стандартных отклонений, или сигм (σ), на которое исследуемый показатель отличается от медианы стандартной популяции. Z-скор вычисляется по уравнению:

$$\text{Z-скор} = (\text{показатель ребенка} - \text{медиана стандартной популяции}) / \text{стандартное отклонение в стандартной популяции}.$$

Согласно федеральным клиническим рекомендациям, с учетом рекомендаций ВОЗ ожирение у детей и под-

ростков от 0 до 19 лет следует определять как $\text{BAZ} \geq +2,0$, а избыточную массу тела – BAZ от $+1,0$ до $+2,0$. Нормальная масса тела диагностируется при BAZ в пределах от -1 до $+1$ BAZ . Для определения дефицита МТ и выраженного дефицита МТ пороговые значения BAZ составляют <-2 и <-3 соответственно [6]. К возрастной норме ДТ по возрасту (HAZ, height for age Z-score) относят значения Z-score от -2 до $+2$.

Для оценки пищевого статуса спортсменок, занимающихся художественной гимнастикой, применяли метод, сочетающий в себе оценку ИМТ и %ЖМТ (программное обеспечение анализатора АВС-02 «МЕДАСС»). Критериями избыточной ЖМТ при нормальных показателях МТ и ИМТ для возрастов в пределах от 6 лет до 21 года в нашем исследовании служили показатели, используемые в биоимпедансном анализаторе состава тела АВС-02 «МЕДАСС». Для девочек в возрасте 6 лет значением, с которого количество ЖМТ можно считать избыточным, является показатель 20,9%, в возрасте 20 лет – 25,9%; значением, с которого количество ЖМТ указывает на ожирение, в 6 лет является показатель 27,2%, в 20 лет – 31,6%.

Статистические расчеты проводили с помощью пакета Statistica 12 (StatSoft, США) и программы Microsoft Excel. Нормальность распределения оценивали с помощью критерия Шапиро–Уилка. Достоверность различий определяли с помощью непараметрических критериев Манна–Уитни (U-тест) и рангового критерия Краскела–Уоллиса (H-критерий). Статистически значимыми считали различия при $p \leq 0,05$. Данные представлены в виде медианы (Me) и межквартильных интервалов [нижний квартиль (Q25); верхний квартиль (Q75)].

Результаты

Оценка пищевого статуса по критерию ИМТ показала, что 2 из 95 спортсменок 1-й группы, 5 из 95 спортсменок 2-й группы и 1 из 32 спортсменок 3-й возрастной группы имели дефицит МТ [всего 8 (3,3%) из 239 обследованных] (рис. 1); у 1 из них была диагностирована низкая ДТ. Все остальные спортсменки (214 человек до 18 лет, обследованные по программе AnthroPlus, и 17 человек в возрасте старше 18 лет, прошедшие оценку пищевого статуса по критериям ИМТ для взрослой популяции) принадлежали к группе с нормальной массой тела (231 человек, 96,7%). 225 спортсменок имели нормальное или пониженное содержание ЖМТ в организме; 3 спортсменки с дефицитом МТ имели пониженное содержание ЖМТ.

Применение сочетанного метода оценки ИМТ и %ЖМТ показало, что 14 (5,9%) спортсменок имели повышенное содержание ЖМТ при нормальном ИМТ (рис. 2). Это были 10 спортсменок из 3-й возрастной группы и 4 спортсменки из 4-й возрастной группы; причем 2 спортсменки из 3-й возрастной группы имели долю ЖМТ, классифицируемую как ожирение. У них выявлено меньшее, чем у спортсменок с нормальной

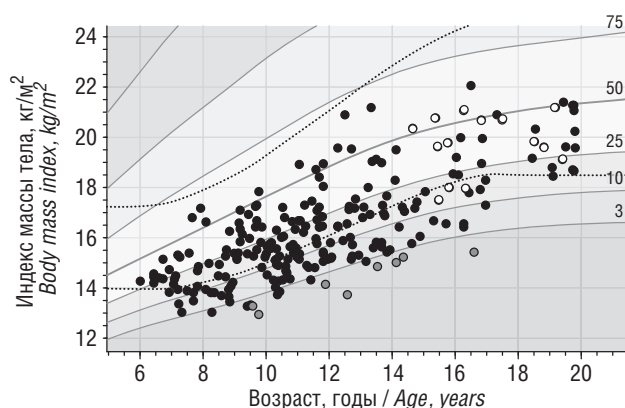


Рис. 1. Индивидуальные показатели индекса массы тела спортсменок, специализирующихся в художественной гимнастике

Здесь и на рис. 2, 3: черные маркеры – спортсменки с нормальной массой тела и мышечным типом сложения; серые маркеры – спортсменки с дефицитом массы тела; белые маркеры – спортсменки с избыточной жировой массой тела при нормальных показателях индекса массы тела; пунктирными линиями обозначены границы нормы.

Fig. 1. Individual body mass index indicators of female rhythmic gymnasts

Here and in fig. 2 and 3: black markers – athletes with normal body mass index and muscular build; gray markers – athletes with a body mass deficit; white markers – athletes with excess fat mass but normal body mass index; the dotted lines indicate the normal limits.

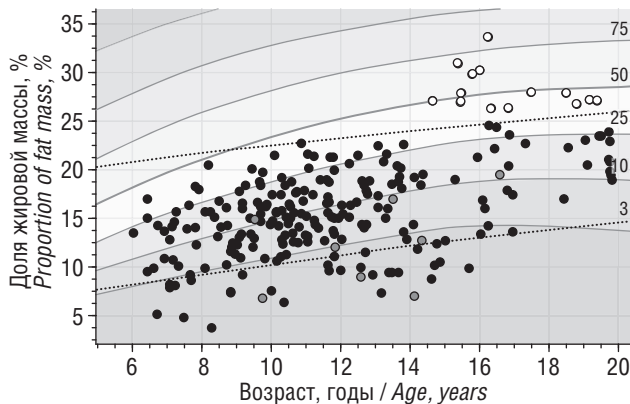


Рис. 2. Индивидуальные показатели доли жировой массы спортсменок, специализирующихся в художественной гимнастике

Fig. 2. Individual indicators of the percentage of fat mass in female rhythmic gymnasts

ЖМТ, количество ТМТ и скелетно-мышечной массы (СММ) (рис. 3). Помимо этого, было выявлено 30 спортсменок, имеющих тип сложения, характеризующийся нормальными значениями ТМТ и ИМТ при недостаточном количестве ЖМТ. Фактически при оценке сочетанным методом было показано, что 78,2% спортсменок имеют нормальные значения МТ при нормальных показателях ИМТ, ЖМТ и ТМТ.

В возрастном интервале от 6 до 20 лет наблюдается закономерное возрастание показателей МТ, ДТ, обхвата талии (ОТ) и бедер (ОБ), индекса отношения ОТ к ОБ (ИТБ) и ИМТ. Все показатели девочек 1-й и 2-й групп статистически значимо различались между собой и отличались от параметров представительниц 3-й и 4-й групп. У спортсменок 3-й и 4-й групп ОТ и ИМТ статистически значимо различались между собой и отличались от показателей представительниц 1-й и 2-й групп, тогда как по ДТ, МТ, ОБ и ИТБ достоверных различий между показателями обследованных 3-й и 4-й групп обнаружено не было (показатели ДТ и ИТБ были одинаковыми, а МТ, ОБ и ИМТ были незначительно выше у художественных гимнасток из 4-й группы) (см. табл. 1).

С увеличением возраста обследованных спортсменок наблюдается повышение содержания ЖМТ, %ЖМТ, ТМТ, активной клеточной массы (АКМ), доли АКМ, СММ и доли СММ. Девочки 1-й и 2-й групп статистически значимо различались между собой и от представительниц 3-й и 4-й групп спортсменок по всем показателям. Спортсменки 3-й и 4-й групп статистически значимо различались между собой и от представительниц 1-й и 2-й групп по АКМ и доле АКМ, тогда как по ЖМТ, доле ЖМТ, ТМТ, СММ и доле СММ достоверных различий между 3-й и 4-й группами не обнаружено (содержание СММ было практически одинаковым, показатели ЖМТ, доли ЖМТ и ТМТ были незначительно выше у художественных гимнасток 4-й группы, а показатель доли СММ выше у гимнасток 3-й группы) (см. табл. 1).

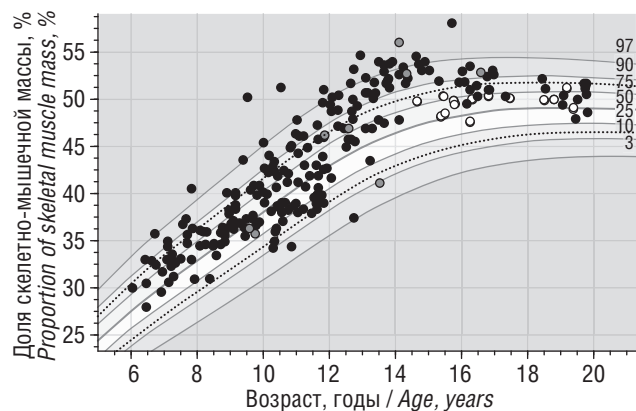


Рис. 3. Индивидуальные показатели доли скелетно-мышечной массы спортсменок, специализирующихся в художественной гимнастике

Fig. 3. Individual indicators of the proportion of skeletal muscle mass of female rhythmic gymnasts

При анализе индексов (простых и двойных) компонентов состава тела было показано, что в возрастном интервале от 6 до 20 лет наблюдается закономерное возрастание индекса ЖМТ (иЖМТ), индекса ТМТ (иТМТ), индекса АКМ (иАКМ), индекса СММ (иСММ), закономерное уменьшение двойных индексов ТМТ, АКМ и СММ (диТМТ, диАКМ, диСММ) при практически неизменных значениях двойного индекса ЖМТ (диЖМТ). У девочек 1-й и 2-й групп все индексы, кроме диЖМТ, статистически значимо различались между собой и отличались от показателей представительниц 3-й и 4-й групп. Спортсменки 3-й и 4-й групп статистически значимо различались между собой и отличались от представительниц 1-й и 2-й групп по иТМТ и иАКМ, тогда как по иЖМТ, иСММ, диТМТ, диАКМ и диСММ достоверных различий между показателями девушек 3-й и 4-й групп не обнаружено (значения иЖМТ, иСММ, диТМТ и диСММ незначительно выше у художественных гимнасток 4-й группы, а значения диАКМ были одинаковыми). По диЖМТ выявлены статистически значимые различия только между показателями спортсменок 2-й и 4-й групп (табл. 2).

Поскольку избыточная ЖМТ при нормальной МТ выявлялась только у спортсменок старше 14 лет, для дальнейшего анализа спортсменки 3-й (14,6–17,5 года) и 4-й (18,4–19,8 года) групп были объединены в единую группу (14,6–19,8 года) и разделены на 2 подгруппы в зависимости от отсутствия (1-я подгруппа) или наличия (2-я подгруппа) у них избыточной ЖМТ при нормальном ИМТ.

При одинаковых показателях возраста и ДТ у спортсменок 2-й подгруппы ИМТ был выше, а ИТБ был ниже соответствующих показателей гимнасток 1-й подгруппы на уровне тенденции ($p < 0,10$), девушки 2-й подгруппы имели более высокие МТ, ОТ, ОБ, однако различия не достигали уровня статистической значимости (табл. 3).

Спортсменки 2-й подгруппы характеризовались статистически значимо более высокими показателями

Таблица 1. Возрастная динамика показателей соматометрии и компонентного состава тела спортсменок, занимающихся художественной гимнастикой, в возрасте 6–20 лет

Table 1. Age dynamics of somatometric indicators and body composition of rhythmic gymnasts aged 6–20 years

Показатель Parameter		Группа обследованных / Group of subjects examined			
		1 (n=95)	2 (n=95)	3 (n=32)	4 (n=17)
Возраст, годы Age, years	Me	9*	12*	16*	19*
	[Q25; Q75]	[7; 9]	[11; 13]	[15; 16]	[19; 19]
	(Min–Max)	(6–10)	(10–14)	(14–17)	(18–19)
Длина тела, см Body height, cm	Me	132*	149*	165 ^{1, 2}	165 ^{1, 2}
	[Q25; Q75]	[126; 141]	[142; 156]	[162; 172]	[162; 168]
	(Min–Max)	(114–165)	(132–170)	(153–177)	(156–182)
Масса тела, кг Body weight, kg	Me	26,8*	35,9*	50,9 ^{1, 2}	53,9 ^{1, 2}
	[Q25; Q75]	[21,8; 30,5]	[32,0; 40,9]	[46,3; 54,1]	[52,1; 57,2]
	(Min–Max)	(18,6–46,8)	(27,0–57,0)	(42,0–64,0)	(49,2–64,9)
Обхват талии (ОТ), см Waist circumference, cm	Me	53*	58*	62*	65*
	[Q25; Q75]	[51; 56]	[55; 61]	[60; 65]	[63; 67]
	(Min–Max)	(45–63)	(49–69)	(56–80)	(61–84)
Обхват бедер (ОБ), см Hip circumference, cm	Me	66*	74*	87 ^{1, 2}	90 ^{1, 2}
	[Q25; Q75]	[62; 69]	[70; 79]	[84; 90]	[87; 93]
	(Min–Max)	(56–80)	(66–87)	(79–97)	(84–100)
Индекс отношения ОТ к ОБ Waist-to-hip ratio	Me	0,82*	0,77*	0,72 ^{1, 2}	0,72 ^{1, 2}
	[Q25; Q75]	[0,79; 0,84]	[0,75; 0,81]	[0,70; 0,75]	[0,69; 0,76]
	(Min–Max)	(0,72–0,91)	(0,67–0,93)	(0,65–0,95)	(0,65–0,90)
Индекс массы тела, кг/м ² Body mass index, kg/m ²	Me	14,9*	16,3*	18,2*	19,6*
	[Q25; Q75]	[14,0; 15,6]	[15,3; 17,2]	[17,2; 20,0]	[19,1; 21,1]
	(Min–Max)	(12,9–17,8)	(13,7–21,2)	(15,4–22,1)	(18,4–21,4)
Жировая масса тела (ЖМТ), кг Body fat mass, kg	Me	3,6*	5,6*	11,1 ^{1, 2}	12,2 ^{1, 2}
	[Q25; Q75]	[2,7; 4,8]	[4,5; 7,6]	[7; 14,3]	[10,7; 14,6]
	(Min–Max)	(0,8–7,7)	(2,4–12,3)	(3,9–21)	(8,8–17,7)
%ЖМТ (% в МТ) Proportion of fat mass, %	Me	14,1*	16,1*	20,9 ^{1, 2}	23,0 ^{1, 2}
	[Q25; Q75]	[10,9; 16,1]	[13,3; 18,9]	[13,9; 26,7]	[20,6; 24]
	(Min–Max)	(3,7–21,5)	(7,0–24,1)	(8,7–33,8)	(17,0–27,8)
Тошная масса тела (ТМТ), кг Lean body mass (LBM), kg	Me	23,1*	30,8*	40,5 ^{1, 2}	42,2 ^{1, 2}
	[Q25; Q75]	[19,6; 25,7]	[27,0; 34,6]	[38,5; 42,0]	[39,9; 43,9]
	(Min–Max)	(15,7–39,1)	(21,2–44,7)	(30,3–49,4)	(37,9–47,2)
Активная клеточная масса тела (АКМ), кг Active cell mass, kg	Me	12,0*	16,4*	22,4*	24,2*
	[Q25; Q75]	[10,4; 13,8]	[14,5; 18,2]	[20,1; 23,8]	[23,3; 24,9]
	(Min–Max)	(7,9–21,2)	(11,5–25,7)	(15,9–27,0)	(20,4–28,4)
Доля АКМ в ТМТ, % Proportion of active cell mass in LBM, %	Me	53,2*	53,4*	54,8*	57,2*
	[Q25; Q75]	[51,8; 54,4]	[51,8; 55,3]	[53,3; 57,4]	[55,5; 58,5]
	(Min–Max)	(44,8–59,5)	(46,5–60,9)	(49,2–58,7)	(53,7–60,7)
Скелетно-мышечная масса (СММ), кг Skeletal muscle mass, kg	Me	8,4*	14,1*	21,0 ^{1, 2}	21,1 ^{1, 2}
	[Q25; Q75]	[6,8; 10,2]	[11,1; 17,4]	[19,6; 22,2]	[20,1; 22,6]
	(Min–Max)	(4,4–20,0)	(7,3–22,4)	(14,6–24,9)	(18,7–24,3)
Доля СММ в ТМТ, % Proportion of skeletal muscle mass in LBM, %	Me	36,3*	46,1*	51,3 ^{1, 2}	50,5 ^{1, 2}
	[Q25; Q75]	[34,5; 39,8]	[41,2; 50,6]	[50,0; 53,0]	[49,8; 51,1]
	(Min–Max)	(27,9–51,2)	(34,3–56,0)	(47,6–58,0)	(47,8–52,1)

Примечание. Здесь и в табл. 2: статистически значимые различия ($p \leq 0,05$) при определении попарно между группами с помощью непараметрического критерия Краскела–Уоллиса: * – между показателем группы и показателями остальных 3 групп; ¹ – от показателя 1-й группы; ² – от показателя 2-й группы.

Note. Here and in table 2: statistically significant differences ($p \leq 0.05$) determined pairwise between all groups using the nonparametric Kruskal–Wallis test: * – of the group's indicator from the indicators of the other three groups; ¹ – from group 1; ² – from group 2.

ЖМТ, %ЖМТ при достоверно меньших уровнях ТМТ, СММ и ее доли, содержание АКМ у них имело тенденцию к снижению ($p < 0,10$), а доля АКМ достоверно не отличалась (см. табл. 3).

При анализе значений индексов (простых и двойных) компонентов состава тела 2 подгрупп спортсменок было

показано, что спортсменки 2-й подгруппы имели статистически значимо более высокие показатели иЖМТ, диЖМТ, статистически значимо меньшие показатели иТМТ, иСММ, диТМТ, диАКМ, диСММ, а также меньшие показатели иАКМ, но различия не достигали уровня статистической значимости (табл. 4).

Таблица 2. Показатели индексов (простых и двойных) компонентов состава тела спортсменок, занимающихся художественной гимнастикой в возрасте 6–20 лет**Table 2.** Indicators of indices (simple and double) of body composition components of rhythmic gymnasts aged 6–20 years

Показатель Parameter		Группа обследованных / Group of subjects examined			
		1 (n=95)	2 (n=95)	3 (n=32)	4 (n=17)
Индекс жировой массы тела (иЖМТ), кг/м ² Body fat mass index (FMI), kg/m ²	Me	2,03*	2,60*	3,90 ^{1, 2}	4,48 ^{1, 2}
	[Q25; Q75]	[1,65; 2,48]	[2,02; 3,31]	[2,50; 5,30]	[3,84; 5,02]
	(Min–Max)	(0,49–3,52)	(1,05–4,58)	(1,38–7,11)	(3,24–5,78)
Индекс тощей массы тела (иТМТ), кг/м ² Lean body mass index (LBMI), kg/m ²	Me	12,93*	13,71*	14,64*	15,41*
	[Q25; Q75]	[12,3; 13,59]	[13,2; 14,29]	[13,9; 15,3]	[14,45; 16,37]
	(Min–Max)	(11,28–14,73)	(11,60–16,61)	(12,41–16,78)	(13,93–16,79)
Индекс активной клеточной массы (иАКМ), кг/м ² Active cell mass index (ACI), kg/m ²	Me	6,88*	7,22*	7,92*	9,01*
	[Q25; Q75]	[6,47; 7,18]	[6,82; 7,91]	[7,54; 8,63]	[8,04; 9,26]
	(Min–Max)	(5,73–8,00)	(6,17–9,55)	(6,32–9,85)	(7,70–9,81)
Индекс скелетно-мышечной массы (иСММ), кг/м ² Skeletal muscle mass index (SMMI), kg/m ²	Me	4,72*	6,40*	7,60 ^{1, 2}	7,84 ^{1, 2}
	[Q25; Q75]	[4,30; 5,23]	[5,52; 7,16]	[6,96; 8,11]	[7,33; 8,14]
	(Min–Max)	(3,37–7,35)	(4,17–8,32)	(6,09–8,80)	(6,82–8,63)
Двойной индекс ЖМТ (диЖМТ), 1/м ² Double FMI, 1/m ²	Me	0,08	0,07 ⁴	0,07	0,08 ²
	[Q25; Q75]	[0,06; 0,09]	[0,06; 0,09]	[0,05; 0,10]	[0,08; 0,09]
	(Min–Max)	(0,02–0,14)	(0,03–0,13)	(0,03–0,12)	(0,06–0,10)
диТМТ, 1/м ² Double LBMI, 1/m ²	Me	0,49*	0,39*	0,28 ^{1, 2}	0,29 ^{1, 2}
	[Q25; Q75]	[0,43; 0,59]	[0,34; 0,42]	[0,27; 0,31]	[0,26; 0,30]
	(Min–Max)	(0,31–0,70)	(0,28–0,50)	(0,22–0,36)	(0,23–0,33)
диАКМ, 1/м ² Double ACI, 1/m ²	Me	0,26*	0,20*	0,16 ^{1, 2}	0,16 ^{1, 2}
	[Q25; Q75]	[0,23; 0,31]	[0,18; 0,23]	[0,15; 0,17]	[0,16; 0,18]
	(Min–Max)	(0,17–0,38)	(0,14–0,28)	(0,12–0,21)	(0,13–0,19)
диСММ, 1/м ² Double SMMI, 1/m ²	Me	0,18*	0,17*	0,14 ^{1, 2}	0,15 ^{1, 2}
	[Q25; Q75]	[0,17; 0,19]	[0,16; 0,18]	[0,14; 0,17]	[0,13; 0,15]
	(Min–Max)	(0,15–0,24)	(0,15–0,22)	(0,11–0,20)	(0,12–0,16)

Обсуждение

В нашем исследовании было показано соответствующее физиологическим законам роста и развития возрастание таких параметров, как МТ, ДТ, компоненты состава тела (ЖМТ, ТМТ, АКМ и СММ). Динамические изменения согласуются как с данными российских гигиенистов, оценивающих динамические изменения физического развития детей и подростков [11], так и с данными спортивных морфологов, оценивающих изменения физического статуса спортсменов детско-юношеского возраста [7].

В Российской Федерации для оценки пищевого статуса и наличия ожирения для взрослых применяют клинические рекомендации «Ожирение» [12], для детей – клинические рекомендации «Ожирение у детей» [5], согласно которым основным критерием избыточной массы тела и ожирения является показатель ИМТ, в каждом возрасте соответствующий своим пороговым значениям. При этом за рубежом используют термин «Normal weight obesity» (NWO), или «ожирение при нормальной массе тела» (ОНМТ), которое также называют «скрытое ожирение», для определения состояния избыточной ЖМТ, процент которой соответствует ожирению, при нормальном значении ИМТ [13, 14]. Такое состояние имеет тенденцию к увеличению случаев выявления в популяции. В исследовании,

проведенном в Южной Индии, было обнаружено, что около 30% исследуемой популяции имели NWO с ассоциированными сердечно-сосудистыми нарушениями [4]. В связи с тем, что высокий процент жира, определяемый как при ожирении, так и при NWO, увеличивает кардиометаболические факторы риска [4, 8, 15], у спортсменов рекомендуется проводить оценку компонентного состава тела с целью выявления состояний избыточной ЖМТ при нормальном показателе ИМТ.

Зарубежные исследователи и врачи не пришли к общему заключению, какой процент считать критерием избыточной ЖМТ или критерием ожирения (NWO) при нормальных значениях ИМТ в детской и взрослой популяциях. Единых критериев для определения избыточного накопления жира в организме как при ожирении, так и при NWO нет, так как существует тенденция разработки обновленных центильных нормативов для показателей уровня физического развития в различных популяциях, в том числе критерия для значения недостаточной, нормальной и избыточной ЖМТ. По данным Е. Oliveros и соавт. [16], NWO имеет разные критерии в зависимости от исследований, популяции и пола, однако обычно оно определяется как %ЖМТ в организме выше 30%. По данным обзора литературы [17], границы NWO для взрослой популяции слишком широкие: для мужчин они составляют 20–27%, для женщин – 30–40,5% ЖМТ. Еще

Таблица 3. Показатели соматометрии и компонентного состава тела спортсменок 14,6–19,8 года, занимающихся художественной гимнастикой, в зависимости от содержания в их организме жировой массы тела

Table 3. Somatometry and body composition indicators of female rhythmic gymnasts (14.6–19.8 year old) depending on the content of body fat mass

Показатель Parameter		1-я подгруппа 1 subgroup (n=35)	2-я подгруппа 2 subgroup (n=14)	p
Возраст, годы Age, years	Me	16	16	0,347
	[Q25; Q75]	[16; 19]	[15; 18]	
	(Min–Max)	(14–19)	(14–19)	
Длина тела, см Body height, cm	Me	165	165	0,573
	[Q25; Q75]	[163; 171]	[160; 172]	
	(Min–Max)	(153–182)	(155–175)	
Масса тела, кг Body weight, kg	Me	51,3	53,6	0,119
	[Q25; Q75]	[48,0; 55,0]	[50,8; 57,3]	
	(Min–Max)	(43,7–64,0)	(42,0–64,9)	
Обхват талии (ОТ), см Waist circumference, cm	Me	63	64,5	0,938
	[Q25; Q75]	[61; 65]	[60; 66]	
	(Min–Max)	(56–84)	(58–68)	
Обхват бедер (ОБ), см Hip circumference, cm	Me	87	90,0	0,106
	[Q25; Q75]	[84; 91]	[86; 93]	
	(Min–Max)	(80–96)	(79–100)	
Индекс отношения ОТ к ОБ Waist-to-hip ratio	Me	0,74	0,70	0,063
	[Q25; Q75]	[0,70; 0,76]	[0,68; 0,73]	
	(Min–Max)	(0,65–0,95)	(0,67–0,76)	
Индекс массы тела, кг/м ² Body mass index, kg/m ²	Me	18,7	19,8	0,053
	[Q25; Q75]	[17,3; 20,0]	[19,1; 20,7]	
	(Min–Max)	(15,4–22,1)	(17,5–21,2)	
Жировая масса тела (ЖМТ), кг Body fat mass, kg	Me	10,0	15,3	<0,001
	[Q25; Q75]	[7,1; 12,2]	[14,3; 16,1]	
	(Min–Max)	(3,9–14,8)	(11,7–21,0)	
Доля ЖМТ, % Proportion of fat mass, %	Me	19,6	27,6	<0,001
	[Q25; Q75]	[14,3; 22,7]	[27,0; 29,9]	
	(Min–Max)	(8,7–24,6)	(26,3–33,8)	
Тощая масса тела (ТМТ), кг Lean body mass (LBM), kg	Me	40,9	38,9	0,016
	[Q25; Q75]	[39,7; 44,1]	[35,8; 41,3]	
	(Min–Max)	(37,2–49,4)	(30,3–47,2)	
Активная клеточная масса тела (АКМ), кг Active cell mass, kg	Me	23,3	22,3	0,080
	[Q25; Q75]	[21,3; 24,7]	[19,4; 23,7]	
	(Min–Max)	(18,9–27)	(15,9–28,4)	
Доля АКМ в ТМТ, % Proportion of active cell mass in LBM, %	Me	55,4	56,4	0,254
	[Q25; Q75]	[53,4; 57,5]	[54,7; 58,6]	
	(Min–Max)	(49,2–60,7)	(52,7–60,3)	
Скелетно-мышечная масса (СММ), кг Skeletal muscle mass, kg	Me	21,7	19,2	<0,001
	[Q25; Q75]	[20,3; 22,7]	[17,7; 20,6]	
	(Min–Max)	(18,7–24,9)	(14,6–24,1)	
Доля СММ в ТМТ, % Proportion of skeletal muscle mass-in LBM, %	Me	51,6	49,8	<0,001
	[Q25; Q75]	[50,5; 52,9]	[49,0; 50,0]	
	(Min–Max)	(47,8–58,0)	(47,6–51,1)	

Примечание. Здесь и в табл. 4: полужирным шрифтом выделены статистически значимые различия ($p \leq 0,05$) между показателями 2 групп согласно непараметрическому критерию Манна–Уитни.

Note. Here and in table 4: statistically significant differences ($p \leq 0.05$) between two groups determined using the nonparametric Mann–Whitney test are highlighted in bold.

меньше данных для детской популяции: 23,4–28,3% для мальчиков и юношей и 31–34,1% для девочек и девушек из Колумбии [18]; 17,6% и выше для юношей и 31,6% и выше для девушек из Исландии [19].

В нашем исследовании для классификации доли ЖМТ как избыточной при нормальном ИМТ и прирав-

ниваемой к истинной избыточной ЖМТ (скрытая избыточная масса тела) в популяции женского пола были использованы границы зоны отсечения избыточного жираотложения, составляющие интервал от 20,9 до 27,1% для детей 6 лет и увеличивающиеся с возрастом до диапазона 25,9–31,5% для девушек 20 лет. Для

Таблица 4. Показатели индексов (простых и двойных) компонентов состава тела спортсменок 14,6–19,8 года в зависимости от содержания в их организме жировой массы тела

Table 4. Indicators of indices (simple and double) of body composition indicators of female athletes (14.6–19.8 year old) depending on the content of body fat mass

Показатель Parameter		1-я подгруппа 1 subgroup (n=35)	2-я подгруппа 2 subgroup (n=14)	p
Индекс жировой массы тела (иЖМТ), кг/м ² Body fat mass index (FMI), kg/m ²	Me	3,79	5,48	<0,001
	[Q25; Q75]	[2,57; 4,48]	[5,26; 5,80]	
	(Min–Max)	(1,38–5,39)	(4,74–7,11)	
Индекс тощей массы тела (иТМТ), кг/м ² Lean body mass index (LBMi), kg/m ²	Me	15,24	14,30	0,003
	[Q25; Q75]	[14,39; 16,14]	[13,86; 14,84]	
	(Min–Max)	(12,41–16,79)	(12,6–15,41)	
Индекс активной клеточной массы (иАКМ), кг/м ² Active cell mass index (ACI), kg/m ²	Me	8,59	7,92	0,104
	[Q25; Q75]	[7,82; 9,08]	[7,64; 8,54]	
	(Min–Max)	(6,32–9,85)	(6,63–9,26)	
Индекс скелетно-мышечной массы (иСММ), кг/м ² Skeletal muscle mass index (SMMI), kg/m ²	Me	7,85	7,02	<0,001
	[Q25; Q75]	[7,51; 8,28]	[6,64; 7,39]	
	(Min–Max)	(6,37–8,80)	(6,09–7,87)	
Двойной индекс (ди) ЖМТ (диЖМТ), 1/м ² Double FMI, 1/m ²	Me	0,07	0,10	<0,001
	[Q25; Q75]	[0,05; 0,08]	[0,1; 0,11]	
	(Min–Max)	(0,03–0,10)	(0,09–0,12)	
диТМТ, 1/м ² Double LBMI, 1/m ²	Me	0,29	0,27	0,001
	[Q25; Q75]	[0,28; 0,32]	[0,24; 0,28]	
	(Min–Max)	(0,23–0,36)	(0,22–0,30)	
диАКМ, 1/м ² Double ACI, 1/m ²	Me	0,16	0,15	0,012
	[Q25; Q75]	[0,15; 0,18]	[0,14; 0,16]	
	(Min–Max)	(0,12–0,21)	(0,13–0,18)	
диСММ, 1/м ² Double SMMI, 1/m ²	Me	0,15	0,13	<0,001
	[Q25; Q75]	[0,14; 0,16]	[0,12; 0,14]	
	(Min–Max)	(0,12–0,20)	(0,11–0,15)	

классификации доли ЖМТ как избыточной при нормальном ИМТ и приравняваемой к ожирению (NWO, скрытое ожирение) в популяции женского пола нами был использован показатель, соответствующий нижней границе зоны отсечения ожирения, в зависимости от возраста увеличивающийся и имеющий значение от 27,2% в возрасте 6 лет до 31,6% в возрасте 20 лет. Данная классификация соответствует значениям, заложенным в программное обеспечение биоимпедансного анализатора ABC-02 «МЕДАСС» [10].

При сочетанном методе оценки ИМТ и доли ЖМТ в нашем исследовании было показано, что частота встречаемости избыточной ЖМТ при нормальных показателях ИМТ в спортивной группе девочек и девушек 6–20 лет, занимающихся художественной гимнастикой, составила 5,9% (n=14); это были 10 спортсменок из 3-й возрастной группы и 4 спортсменки из 4-й возрастной группы; причем 2 спортсменки из 3-й возрастной группы имели долю ЖМТ, классифицируемую как ожирение, которая может быть оценена как NWO.

Как правило, в популяции для групп с обычной физической активностью оценивают только те состояния пищевого статуса, при которых избыточная ЖМТ приравнивается к ожирению (NWO, скрытое ожирение). Однако для спортивных групп выявление состояний

с повышенной ЖМТ при нормальном ИМТ, но приравняемой к избыточной МТ, имеет большое значение с точки зрения прогнозирования спортивной результативности, основанной на морфологических показателях спортсменов [7].

В литературе данных о частоте встречаемости избыточной ЖМТ при нормальном ИМТ среди спортивных групп нами не найдено. Малочисленные публикации о частоте встречаемости NWO в популяции детей, подростков и юношей некоторых стран не позволили в полной мере оценить и сопоставить наши данные, так как в некоторых статьях [18, 19] представлена не вся выборка обследованного контингента, а лишь та часть выборки, представители которой имели нормальную МТ по критерию ИМТ. При обследовании детей обоего пола с нормальной МТ в возрасте 9–17,9 года, проживающих и обучающихся в школах Колумбии, было показано, что 46,3% из них имеют NWO [18]. Обследование группы студентов обоего пола с нормальной МТ (ИМТ 18,5–24,9 кг/м²) в возрасте 17,7–18,9 года, проживающих и обучающихся в столичном регионе Исландии, показало, что 42% из них имеют NWO [19], среди аналогичной выборки китайских учащихся университета (средний возраст 21,7±2,1 года) женского пола частота выявления NWO составила 40,1% [20]. В исследова-

ниях Т. Yasuda [21], Н. Inoue и соавт. [22] и Y. Yamaguchi-Tanaka и соавт. [23] на выборках молодых японских женщин, у которых при использовании в качестве диагностического критерия NWO использовали содержание $\geq 30\%$ жира в организме (при ИМТ 18,5–24,9 кг/м²), была показана распространенность NWO, равная 16,9, 12,3 и 17,5% соответственно. В группе российских девушек и молодых женщин в возрасте 18–23 лет ($n=28$), обследованных в 2021–2023 гг., у которых диагностическим критерием NWO также служило содержание жира в организме $\geq 30\%$ при ИМТ 18,5–24,9 кг/м², частота встречаемости NWO составила 7% [24].

При анализе полученных нами данных было показано, что при одинаковом возрасте и ДТ спортсменки подгруппы с избыточной ЖМТ при нормальных показателях ИМТ имели более высокие показатели ЖМТ и %ЖМТ и статистически значимо меньшие показатели ТМТ, СММ и доли СММ. В литературе не найдено данных о распространенности и частоте выявления избыточной ЖМТ при нормальных показателях ИМТ среди спортсменок, занимающихся художественной гимнастикой. Однако при сравнении с неспортивными женскими популяциями было показано, что представительницы NWO также имеют большие показатели ЖМТ и меньшие – активных клеточных тканей по сравнению с представительницами с нормальным компонентным составом тела [20–24].

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, директор ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», профессор кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), профессор кафедры экологии и безопасности пищи Института экологии ФГАОУ ВО РУДН им. П. Лумумбы (Москва, Российская Федерация)

E-mail: dimitrynik@mail.ru

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

Литература

1. Brown A.F., Aguiar Bonfim Cruz A.J., Schwartz M.G., Brooks S.J., Chandler A.J. Adolescents with normal weight obesity have less dry lean mass compared to obese counterparts // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2025. Vol. 22, N 2. P. 171. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph22020171>
2. García-Hermoso A., Ramírez-Campillo R., Izquierdo M. Is muscular fitness associated with future health benefits in children and adolescents? A systematic review and meta-analysis of longitudinal studies // *Sports Med*. 2019. Vol. 49, N 7. P. 1079–1094. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01098-6>
3. Żegleń M., Kryst Ł., Kowal M., Słowik J., Woronkiewicz A. The normal weight obesity (NWO) problem-prevalence and time changes in children and adolescents from Kraków (Poland) // *Am. J. Hum. Biol*. 2024. Vol. 36, N 11. Article ID e24145. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajhb.24145>
4. Kapoor N., Furler J., Paul T.V., Thomas N., Oldenburg B. Normal weight obesity: an underrecognized problem in individuals of South Asian descent // *Clin. Ther*. 2019. Vol. 41, N 8. P. 1638–1642. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2019.05.016>
5. Клинические рекомендации «Ожирение у детей» (КР 2024). URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/229_3 (дата обращения: 03.02.2026).
6. Приложение для ПО «WHO AnthroPlus» для оценки статуса питания детей 5–19 лет на основе стандартов роста детей ВОЗ, опубликованных в 2007 году. URL: <https://who-anthroplus.informer.com/download/> (дата обращения: 03.02.2026).
7. Абрамова Т.Ф., Никитина Т.М., Кочеткова Н.И. Морфологические критерии – показатели пригодности, общей физической подготовленности и контроля текущей и долговременной адаптации к тренировочным нагрузкам : учебно-методическое пособие. Москва : ТВТ Дивизион, 2010. 104 с. ISBN: 978-5-98724-082-3.
8. Mohammadian Khonsari N., Khashayar P., Shahrestanaki E., Keshadi R., Mohammadpoor Nami S., Heidari-Beni M. et al. Normal weight obesity and cardiometabolic risk factors: a systematic review and meta-analysis // *Front. Endocrinol*. 2022. Vol. 13. Article ID 857930. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.857930>
9. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Клочкова С.В., Алексеева Н.Т., Погонченкова И.В., Рассулова М.А. и др. Использование метода комплексной антропометрии в спортивной и клинической практике: методические рекомендации. Москва : Спорт, 2018. 64 с. ISBN: 978-5-9500179-9-5.
10. Руднев С.Г., Соболева Н.П., Стерликов С.А., Николаев Д.В., Старинова О.А., Черных С.П. и др. Биоимпедансное исследование

Заключение

Изменения в составе тела во время многолетнего тренировочного периода могут быть как благоприятными, сопровождающимися постепенным набором СММ и снижением или удержанием на должном уровне ЖМТ, или же, напротив, неблагоприятными, сопровождающимися неконтролируемым набором ЖМТ с одновременным снижением или удержанием на одном (невысоком) уровне СММ. Спортивная успешность в морфологическом аспекте в основном зависит от содержания СММ, отвечающей за выносливость и силу. Избыток ЖМТ, в противовес СММ, снижает выносливость и скоростно-силовые показатели.

Результаты проведенных исследований показывают, что некоторые спортсменки, занимающиеся художественной гимнастикой, начиная с возраста 14,5 года имеют избыточную ЖМТ, хотя оценка по ИМТ указывает на нормальную МТ. У них выявлено меньшее, чем у спортсменок с нормальной ЖМТ, количество ТМТ и СММ. Спортсменки, занимающиеся эстетическими дисциплинами сложно-координационных видов спорта, такими как художественная гимнастика, имеют риск развития избыточной жировой массы при нормальных показателях ИМТ, истинной избыточной массы тела и истинного ожирения как после завершения спортивной карьеры, так и в период пубертата.

- состава тела населения России. Москва : РИО ЦНИИОИЗ, 2014. 493 с. ISBN: 5-9416-018-6.
11. Баранов А.А., Кучма В.Р., Скоблина Н.А. Физическое развитие детей и подростков на рубеже тысячелетий. Москва : Научный центр здоровья детей РАМН, 2008. 216 с. ISBN: 5-7695-0581-8.
12. Клинические рекомендации «Ожирение» (КР 2024). URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/28_3 (дата обращения: 03.02.2026).
13. Shirasawa T., Ochiai H., Yoshimoto T., Nagahama S., Kobayashi M., Ohtsu I. et al. Associations between normal weight central obesity and cardiovascular disease risk factors in Japanese middle-aged adults: a cross-sectional study // *J. Health Popul. Nutr.* 2019. Vol. 38, N 1. P. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41043-019-0201-5>
14. Suliga E., Koziel D., Głuszek S. Prevalence of metabolic syndrome in normal weight individuals // *Ann. Agric. Environ. Med.* 2016. Vol. 23, N 4. P. 631–635. DOI: <https://doi.org/10.5604/12321966.1226858>
15. de Freitas Rocha A.R., de Souza de Moraes N., Azevedo F.M., de Castro Moraes D., Pereira P.F., do Carmo Gouveia Peluzio M. et al. High body fat in normal weight girls was related to inflammatory markers and cardiometabolic risk // *Acta Paediatr.* 2025. Vol. 114. P. 2582–2588. DOI: <https://doi.org/10.1111/apa.70144>
16. Oliveros E., Somers V.K., Sochor O., Goel K., Lopez-Jimenez F. The concept of normal weight obesity // *Prog. Cardiovasc. Dis.* 2014. Vol. 56, N 4. P. 426–433. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2013.10.003>
17. Khonsari N.M., Khashayar P., Shahrestanaki E., Kelishadi R., Nami S.M., Heidari-Beni M. et al. Normal weight obesity and cardiometabolic risk factors: a systematic review and meta-analysis // *Front. Endocrinol.* 2022. Vol. 13. Article ID 857930. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.857930>
18. García-Hermoso A., Agostinis-Sobrinho C., Camargo-Villalba G.E., González-Jiménez N.M., Izquierdo M., Correa-Bautista J.E. et al. Normal-weight obesity is associated with poorer cardiometabolic profile and lower physical fitness levels in children and adolescents // *Nutrients.* 2020. Vol. 12, N 4. P. 1171. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12041171>
19. Olafsdottir A.S., Torfadottir J.E., Arngrimsson S.A. Health behavior and metabolic risk factors associated with normal weight obesity in adolescents // *PLoS One.* 2016. Vol. 11, N 8. Article ID e0161451. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161451>
20. Maitiniyazi G., Chen Y., Qiu Y.Y., Xie Z.X., He J.Y., Xia S.F. Characteristics of body composition and lifestyle in Chinese university students with normal-weight obesity: a cross-sectional study // *Diabetes Metab. Syndr. Obes.* 2021. Vol. 14. P. 3427–3436. DOI: <https://doi.org/10.2147/DMSO.S325115>
21. Yasuda T. Anthropometric, body composition, and somatotype characteristics of Japanese young women: Implications for normal-weight obesity syndrome and sarcopenia diagnosis criteria // *Interv. Med. Appl. Sci.* 2019. Vol. 11, N 2. P. 117–121. DOI: <https://doi.org/10.1556/1646.11.2019.14>
22. Inoue H., Kuwano T. Effects of blood parameters and dietary intake on Japanese female college students showing normal BMI with high body fat // *J. Home Economics Jpn.* 2012. Vol. 63, N 7. P. 421–430. URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhej/63/7/63_421/_pdf/-char/en
23. Yaguchi-Tanaka Y., Kawagoshi Y., Sasaki S., Fukao A. Cross-sectional study of possible association between rapid eating and high body fat rates among female Japanese college students // *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo).* 2013. Vol. 59, N 3. P. 243–249. DOI: <https://doi.org/10.3177/jnsv.59.243>
24. Parfenteva O.I., Kulemin N.A., Bondareva E.A., Ahmetov I.I. Prevalence and predictors of normal-weight obesity among women // *Nutrients.* 2024. Vol. 16, N 16. P. 2579. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16162579>

References

1. Brown A.F., Aguiar Bonfim Cruz A.J., Schwartz M.G., Brooks S.J., Chandler A.J. Adolescents with normal weight obesity have less dry lean mass compared to obese counterparts. *Int J Environ Res Public Health.* 2025; 22 (2): 171. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph22020171>
2. García-Hermoso A., Ramírez-Campillo R., Izquierdo M. Is muscular fitness associated with future health benefits in children and adolescents? A systematic review and meta-analysis of longitudinal studies. *Sports Med.* 2019; 49 (7): 1079–94. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01098-6>
3. Zegleń M., Kryst L., Kowal M., Słowik J., Woronkowicz A. The normal weight obesity (NWO) problem-prevalence and time changes in children and adolescents from Kraków (Poland). *Am J Hum Biol.* 2024; 36 (11): e24145. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajhb.24145>
4. Kapoor N., Furler J., Paul T.V., Thomas N., Oldenburg B. Normal weight obesity: an underrecognized problem in individuals of South Asian descent. *Clin Ther.* 2019; 41 (8): 1638–42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2019.05.016>
5. Clinical Guidelines “Obesity in Children” (CR 2024). URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/229_3 (date of access February 03, 2026). (in Russian)
6. WHO AnthroPlus software application for assessing the nutritional status of children aged 5–19 years based on the WHO Child Growth Standards published in 2007. URL: <https://who-anthropplus.informer.com/download/> (date of access February 03, 2026).
7. Abramova T.F., Nikitina T.M., Kochetkova N.I. Morphological criteria – indicators of fitness, general physical fitness and control of current and long-term adaptation to training loads: educational and methodical manual. Moscow: TVT Division. 2010: 104 p. ISBN: 978-5-98724-082-3. (in Russian)
8. Mohammadian Khonsari N., Khashayar P., Shahrestanaki E., Kelishadi R., Mohammadpoor Nami S., Heidari-Beni M., et al. Normal weight obesity and cardiometabolic risk factors: a systematic review and meta-analysis. *Front Endocrinol.* 2022; 13: 857930. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.857930>
9. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B., Burlyayeva E.A., et al. The method of complex anthropometry in sports and clinical practice: methodological recommendations. Moscow: Sport, 2018: 64 p. ISBN: 978-5-9500179-9-5. (in Russian)
10. Rudnev S.G., Soboleva N.P., Sterlikov S.A., Nikolaev D.V., Starunova O.A., Chernykh S.P., et al. Bioimpedance study of body composition in the Russian population. Moscow: RIO TsNIIIOIZ, 2014: 493 p. ISBN: 5-9416-018-6. (in Russian)
11. Baranov A.A., Kuchma V.R., Skobolina N.A. Physical development of children and adolescents at the turn of the millennium. Moscow: Scientific Center for Children’s Health of the Russian Academy of Medical Sciences, 2008: 216 p. ISBN: 5-7695-0581-8. (in Russian)
12. Clinical guidelines “Obesity” (KR 2024). URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/28_3 (date of access February 03, 2026). (in Russian)
13. Shirasawa T., Ochiai H., Yoshimoto T., Nagahama S., Kobayashi M., Ohtsu I., et al. Associations between normal weight central obesity and cardiovascular disease risk factors in Japanese middle-aged adults: a cross-sectional study. *J Health Popul Nutr.* 2019; 38 (1): 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41043-019-0201-5>
14. Suliga E., Koziel D., Głuszek S. Prevalence of metabolic syndrome in normal weight individuals. *Ann Agric Environ Med.* 2016; 23 (4): 631–5. DOI: <https://doi.org/10.5604/12321966.1226858>
15. de Freitas Rocha A.R., de Souza de Moraes N., Azevedo F.M., de Castro Moraes D., Pereira P.F., do Carmo Gouveia Peluzio M., et al. High body fat in normal weight girls was related to inflammatory markers and cardiometabolic risk. *Acta Paediatr.* 2025; 114: 2582–8. DOI: <https://doi.org/10.1111/apa.70144>
16. Oliveros E., Somers V.K., Sochor O., Goel K., Lopez-Jimenez F. The concept of normal weight obesity. *Prog Cardiovasc Dis.* 2014; 56 (4): 426–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2013.10.003>
17. Khonsari N.M., Khashayar P., Shahrestanaki E., Kelishadi R., Nami S.M., Heidari-Beni M., et al. Normal weight obesity and cardiometabolic risk factors: a systematic review and meta-analysis. *Front Endocrinol.* 2022; 13: 857930. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.857930>
18. García-Hermoso A., Agostinis-Sobrinho C., Camargo-Villalba G.E., González-Jiménez N.M., Izquierdo M., Correa-Bautista J.E., et al. Normal-weight obesity is associated with poorer cardiometabolic profile and lower physical fitness levels in children and adolescents. *Nutrients.* 2020; 12 (4): 1171. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12041171>
19. Olafsdottir A.S., Torfadottir J.E., Arngrimsson S.A. Health behavior and metabolic risk factors associated with normal weight obesity in adolescents. *PLoS One.* 2016; 11 (8): e0161451. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161451>
20. Maitiniyazi G., Chen Y., Qiu Y.Y., Xie Z.X., He J.Y., Xia S.F. Characteristics of body composition and lifestyle in Chinese university students with normal-weight obesity: a cross-sectional study. *Diabetes Metab Syndr Obes.* 2021; 14: 3427–36. DOI: <https://doi.org/10.2147/DMSO.S325115>
21. Yasuda T. Anthropometric, body composition, and somatotype characteristics of Japanese young women: Implications for normal-weight obesity syndrome and sarcopenia diagnosis criteria. *Interv Med Appl Sci.* 2019; 11 (2): 117–21. DOI: <https://doi.org/10.1556/1646.11.2019.14>
22. Inoue H., Kuwano T. Effects of blood parameters and dietary intake on Japanese female college students showing normal BMI with high body fat. *J. Home Economics Jpn.* 2012; 63 (7): 421–30. URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhej/63/7/63_421/_pdf/-char/en
23. Yaguchi-Tanaka Y., Kawagoshi Y., Sasaki S., Fukao A. Cross-sectional study of possible association between rapid eating and high body fat rates among female Japanese college students. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo).* 2013; 59 (3): 243–9. DOI: <https://doi.org/10.3177/jnsv.59.243>
24. Parfenteva O.I., Kulemin N.A., Bondareva E.A., Ahmetov I.I. Prevalence and predictors of normal-weight obesity among women. *Nutrients.* 2024; 16 (16): 2579. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16162579>

Для корреспонденции

Храмова Дарья Сергеевна (Daria S. Khramova) – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела молекулярной иммунологии и биотехнологии ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
Адрес: 167982, Российская Федерация, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, д. 50
Телефон: (8212) 24-00-85
E-mail: dkhranova@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0970-9203>

Храмова Д.С., Витязев Ф.В., Зуева Н.В., Чистякова Е.А., Попов С.В.

Восприятие текстуры и жевательная функция у людей с высоким и нормальным индексом массы тела

Texture perception and masticatory function in individuals with high and normal body mass index

Khramova D.S., Vityazev F.V., Zueva N.V., Chistiakova E.A., Popov S.V.

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

Institute of Physiology of Federal Research Centre «Komi Science Centre of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences», 167982, Syktyvkar, Russian Federation

Выбор пищевых продуктов является одним из ключевых факторов развития ожирения. Сенсорное восприятие в сочетании с внешними факторами окружающей среды оказывает существенное влияние на формирование пищевых предпочтений. При выборе пищи зачастую приоритет отдается продукции, обеспечивающей удовольствие, а не полезность. У лиц с избыточной массой тела наблюдаются изменения в сенсорном восприятии, включая снижение чувствительности вкусовых рецепторов и замедление активации вкусовой коры, что способствует предпочтению высококалорийной пищи и дальнейшему увеличению массы тела. Текстура пищи, воспринимаемая посредством различных сенсорных каналов, регулирует жевание, слюновыделение и активность жевательных мышц. В свою очередь это влияет на характеристики пищевого комка и сенсорное восприятие продукта. Результаты ранее проведенных исследований выявили корреляционную связь между жевательной функцией

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания [проект FUUU-2022-0066 (1021051201895-9)].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Попов С.В., Храмова Д.С.; сбор и обработка данных – Храмова Д.С., Витязев Ф.В., Зуева Н.В., Чистякова Е.А.; написание текста – Храмова Д.С.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Храмова Д.С., Витязев Ф.В., Зуева Н.В., Чистякова Е.А., Попов С.В. Восприятие текстуры и жевательная функция у людей с высоким и нормальным индексом массы тела // Вопросы питания. 2026. Т. 95, № 2. С. 16–25. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-16-25>

Статья поступила в редакцию 21.10.2025. **Принята в печать** 12.03.2026.

Funding. This work was supported by a state grant [project FUUU-2022-0066 (1021051201895-9)].

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

Contribution. Study concept and design – Popov S.V., Khramova D.S.; data collection and processing – Khramova D.S., Vityazev F.V., Zueva N.V., Chistiakova E.A.; writing – Khramova D.S.; approval of the final version of the article and responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Khramova D.S., Vityazev F.V., Zueva N.V., Chistiakova E.A., Popov S.V. Texture perception and masticatory function in individuals with high and normal body mass index. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2026; 95 (2): 16–25. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-16-25> (in Russian)

Received 21.10.2025. **Accepted** 12.03.2026

и индексом массы тела. Поэтому особый интерес представляет изучение восприятия текстуры и жевательной функции у лиц с избыточной массой тела.

Цель работы – выявить особенности восприятия текстуры пищи и специфики жевательной функции у людей с разным индексом массы тела.

Материалы и методы. Проспективное исследование включало 35 здоровых взрослых участников 18–50 лет с нормальной и избыточной массой тела, разделенных на 2 группы с нормальным (18,5–25 кг/м², n=20) и высоким (25–30 кг/м², n=15) индексом массы тела. В работе использован экспериментальный пищевой продукт, полученный на основе картофельного пюре и κ-каррагинана (0,6%). В день эксперимента участников приглашали в специально оборудованную сенсорную комнату, где проводили 3 дегустационные сессии (4 г продукта в каждую сессию), включающие сенсорную оценку текстурных (твердость, однородность, влажность, клейкость и сцепленность) и гедонических свойств (привлекательность в отношении аромата, вкуса, текстуры и образца в целом), анализ параметров жевания и слюновыделения, а также характеристику свойств пищевого комка, формирующегося при жевании. Сенсорный анализ проводили с помощью визуально-аналоговой и 9-балльной гедонической шкал. Регистрацию поверхностной электромиографии жевательных мышц (*musculus Masseter*, *musculus Temporalis*, *musculi Suprahyoid*) проводили для оценки длительности жевания, количества и длительности жевательных циклов, активности мышц. Интенсивность слюновыделения определяли гравиметрическим методом, методом рассева анализировали степень измельчения пищевого комка. Текстурные свойства пищевого комка оценивали с помощью анализатора текстуры TA-XT2.

Результаты. Участники с избыточной массой тела оценивали продукт как более твердый (на 58%, $p=0,010$) и клейкий (на 71%, $p=0,021$), однако гедонические оценки не различались между группами. Отмечено снижение количества жевательных циклов (на 33%, $p=0,02$) и активности височных и надподъязычных мышц у лиц с избыточной массой тела. Длительность жевания и слюновыделение не имели значимых различий. Механические свойства пищевого комка перед глотанием были сопоставимы у обеих групп.

Заключение. Изменения в восприятии текстуры и жевательных параметрах у лиц с избыточной массой тела не влияют на привлекательность продукта, однако отражают сложность взаимодействия сенсорного восприятия, жевательной функции и пищевого поведения. Полученные данные подчеркивают необходимость дальнейших исследований, направленных на корректировку сенсорных предпочтений и жевательной функции для разработки эффективных стратегий борьбы с ожирением.

Ключевые слова: индекс массы тела; избыточная масса тела; восприятие текстуры; жевательная функция; пищевой комок; сенсорное восприятие

Food choice is a critical factor contributing to the rise of obesity. Sensory perception, combined with environmental influences, plays a pivotal role in shaping dietary preferences, often favoring foods that provide pleasure rather than health benefits. Individuals with overweight or obesity experience alterations in sensory perception, including decreased sensitivity of taste receptors and delayed gustatory cortex activation, which affect food selection and predisposition to weight gain. Food texture, perceived via multiple sensory modalities, regulates chewing behavior, salivation, and masticatory muscle activity, thereby influencing bolus characteristics and sensory experience. Prior studies have identified correlations between masticatory function and body mass index (BMI), underscoring the necessity to investigate texture perception and chewing function in individuals with elevated BMI.

The aim of this prospective study was to assess texture perception and masticatory function in healthy adults with normal and overweight BMI.

Material and methods. Thirty-five healthy participants (18–50 years old) were divided into two groups based on BMI ranges: 18.5–25 kg/m², n=20 (normal weight) and 25–30 kg/m², n=15 (overweight). A potato puree product modified with κ-carrageenan (0.6%) was used for sensory and masticatory assessments. During each experimental visit, participants underwent three test sessions (4 g of product per session), which were performed in a sensory room. These sessions included sensory evaluation of textural (hardness, homogeneity, moisture, stickiness, and cohesion) and hedonic properties (aroma, taste, texture, and overall liking), analysis of chewing parameters and salivation, and characterization of the bolus formed during chewing. Sensory analysis was conducted using a visual analog and 9-point hedonic scales. Surface electromyography of the masticatory muscles (*musculus Masseter*, *musculus Temporalis*, *musculi Suprahyoid*) was recorded to assess chewing duration, the number and duration of chewing cycles, and muscle activity. Salivation intensity was determined gravimetrically, and the degree of food bolus grinding was analyzed using the sieving method. Textural properties of the bolus were assessed using a TA-XT2 texture analyzer.

Results. Participants with overweight rated the product as firmer (by 58%, $p=0.010$) and stickier (by 71%, $p=0.021$) compared to normal-weight counterparts; however hedonic ratings did not differ significantly between groups. Notably, overweight participants exhibited fewer chewing cycles (by 33%, $p=0.02$) and reduced activity in temporal and suprahyoid muscles. No significant differences were observed in chewing duration or salivation rates. Textural properties of the bolus prior to swallowing were comparable across groups.

Conclusion. Alterations in texture perception and chewing behavior among individuals with overweight do not affect overall product acceptability but reflect the complex interplay between sensory perception, mastication, and eating behavior. These findings highlight the need for further research targeting sensory preferences and chewing functionality as potential interventions for obesity management.

Keywords: body mass index; overweight; texture perception; masticatory function; food bolus; sensory perception

Чрезмерное потребление высококалорийных продуктов с большим содержанием жиров и быстроусвояемых углеводов является одним из основных факторов развития ожирения [1]. Примечательно, что подобные пищевые продукты, как правило, получают более высокую оценку с точки зрения органолептических качеств и воспринимаются потребителями как более вкусные [2]. Сенсорная оценка наряду с комплексом факторов окружающей среды, влияющих на процесс принятия решений, определяет пищевые предпочтения [3, 4]. В связи с этим зачастую люди включают в свой рацион блюда, обеспечивающие вкусовое удовольствие, и гораздо реже делают выбор в пользу менее аппетитных, но более полезных для здоровья вариантов. Понимание причин предпочтения нездорового рациона питания требует изучения особенностей сенсорного восприятия у лиц с ожирением и избыточной массой тела. Ранее было показано, что у людей с высокой степенью ожирения снижена чувствительность вкусовых рецепторов [5, 6] и замедлена активация вкусовой коры [7]. Эти данные позволяют предположить наличие значимых различий в сенсорной оценке у людей с избыточной массой тела или ожирением по сравнению с людьми, имеющими нормальные показатели массы тела. Выявленные различия могут оказывать существенное влияние на формирование пищевых предпочтений и способствовать развитию предрасположенности к избыточной массе тела. Ключевую роль в формировании предпочтений при выборе пищевых продуктов играет не только вкус, но и текстура пищи, воспринимаемая посредством тактильных, визуальных и слуховых рецепторов [8]. Обработка пищи во рту формирует физиологическую основу восприятия текстуры, поскольку люди демонстрируют различные стратегии пережевывания продуктов с разными текстурными свойствами. Так, текстурные характеристики пищи регулируют длительность жевания, интенсивность измельчения пищи, слюновыделение и активность жевательных мышц [9, 10]. В свою очередь, вариативность жевания у разных людей определяет свойства пищевого комка и тем самым влияет на восприятие текстуры [11, 12]. В литературе приводятся данные, подтверждающие наличие корреляционной связи между жевательной эффективностью, параметрами жевания, активностью жевательных мышц и индексом массы тела (ИМТ) [13–16]. Это позволяет выдвинуть гипотезу о том, что изменение жевания у лиц с избыточной массой тела могут искажать восприятие текстуры пищевых продуктов. Дополнительно следует отметить результаты недавних исследований, демонстрирующих изменение восприятия текстуры при сознательном контроле частоты жевания [17], а также снижение когнитивного контроля в отношении пищевых стимулов у людей с избыточной массой тела [18, 19].

Совокупность приведенных данных позволяет заключить, что люди с высоким и нормальным ИМТ могут по-разному воспринимать и реагировать на текстуру пищи, что потенциально влияет на их выбор продуктов питания. Несмотря на это, особенности восприятия текстуры

пищи у лиц с избыточной массой тела остаются недостаточно исследованными. В связи с этим **целью** данного исследования было изучение восприятия текстуры и выявление специфики жевательной функции у людей с высоким ИМТ.

Материал и методы

Для проведения исследования были отобраны 35 участников в соответствии с *критериями включения* (возраст не менее 18 и не более 50 лет, избыточная или нормальная масса тела, пол как мужской, так и женский, подписанное информированное добровольное согласие) и *невключения* (дисфункция жевания или глотания, наличие зубных протезов или неполного зубного ряда, острые или хронические воспалительные заболевания, беременность и/или кормление грудью, обострение хронического заболевания, прием лекарств, пищевая аллергия). Исследование было одобрено локальным этическим комитетом Института физиологии ФИЦ Коми научного центра Уральского отделения РАН (протокол № 31 от 27.02.2024).

Участники, давшие согласие на участие в эксперименте и соответствующие критериям, прошли антропометрическое измерение массы тела и роста и согласно вычислению ИМТ были разделены на 2 группы с избыточной ($25,0 \leq \text{ИМТ} < 30,0$) и нормальной ($18,5 \leq \text{ИМТ} < 25,0$) массой тела. В 1-ю группу были включены 15 человек с избыточной массой тела (66,7% женщин, возраст 36 [28; 41] лет, ИМТ 26,7 [25,6; 27,5] кг/м²), во 2-ю группу вошли 20 человек с нормальной массой тела (75,0% женщин, возраст 38 [28; 41] лет, ИМТ 21,2 [20,0; 22,8] кг/м²).

Для оценки текстурных атрибутов и гедонических качеств проводили дегустацию картофельного пищевого продукта, полученного на основе картофельного пюре, в который для удобства дегустации был добавлен 0,6% κ-каррагинан (Zhejiang Tianyi Food Additives Co., Ltd, Китай). Получение и характеристика картофельного продукта описаны ранее [20]. Дегустацию проводили в специально оборудованной комнате с соблюдением требований ГОСТ ISO 8589-2014 «Органолептический анализ. Общее руководство по проектированию лабораторных помещений» и ГОСТ ISO 6658-2016 «Органолептический анализ. Методология. Общее руководство» в первой половине дня с 08:30 до 12:00. До тестирования участников просили воздержаться от интенсивных физических нагрузок и от приема пищи в течение как минимум 1,5–2 ч перед сеансом тестирования. Дегустация длилась в среднем 30 мин и включала 3 сессии, в каждую из которых добровольцев просили прожевать заранее взвешенный образец картофельного продукта (~4 г, 28×14×10 мм; длина × ширина × высота), предварительно проведенные эксперименты показали, что такой размер образца участники могли комфортно прожевать за один укус. Образцы были приготовлены за 24 ч до дегустации и подавались участникам в индиви-

дуальных контейнерах. Между сессиями участники тщательно полоскали рот водой и отдыхали не менее 5 мин. В первую сессию участники оценивали текстурные атрибуты образца: твердость, однородность, влажность, клейкость и сцепленность согласно ГОСТ 11036-2017 «Органолептический анализ. Методология. Характеристики структуры»; после проглатывания образца участники оценивали легкость глотания. Оценку текстурных атрибутов проводили с помощью визуально-аналоговой шкалы длиной 100 мм. Во вторую сессию анализировали параметры жевания, интенсивность слюновыделения и измельчения продукта при жевании, а сразу после жевания участники оценивали гедонические характеристики (привлекательность в отношении аромата, вкуса, текстуры и образца в целом). Гедонические качества оценивали по 9-балльной гедонической шкале с выбором вариантов от «крайне не нравится» (1 балл) до «крайне нравится» (9 баллов) [21]. Длительность жевания, количество и длительность жевательных циклов, а также активность жевательных мышц (*musculus masseter*, *musculus temporalis*, *musculi suprahyoidei*) оценивали с помощью поверхностной электромиографии. Регистрацию электромиографии во время жевания проводили, как описано ранее [22]. Для измерения интенсивности слюновыделения при жевании тестируемого образца добровольцев просили прожевать заранее взвешенный образец в привычном режиме до состояния удобного для глотания, а затем выплюнуть содержимое рта в заранее взвешенный контейнер, ополоснуть рот 10 мл воды для удаления остатков геля с поверхности слизистой рта и выплюнуть в тот же контейнер. После этого контейнеры с болюсом взвешивали на лабораторных весах (с точностью 0,01 г) и гравиметрическим методом определяли интенсивность слюновыделения, выражая в граммах слюны, секретировавшейся за 1 мин при жевании 1 г геля [23]. Степень измельчения картофельного продукта при жевании оценивали, используя метод рассева, позволяющего разделить частицы измельченного образца на фракции, различающиеся по размеру. Для этого использовали пищевой комок, полученный после жевания во второй сессии, в котором измеряли pH сразу после взвешивания при комнатной температуре pH-электродом InLab Science Pro (Mettler Toledo, Швейцария), далее нейтрализовали в нем активность α -амилазы слюны, добавляя 1 н HCl до pH 3,0, после чего жидкий компонент болюса отделяли от частиц измельченного продукта фильтрованием через капроновую сетку с размером ячеек 1 мм и измеряли массу фракции болюса с размером частиц более 1 мм на аналитических весах (Mettler Toledo, Швейцария). Степень измельчения образца выражали в процентах от его массы до жевания [20].

В третью сессию собирали пищевой комок, формирующийся при жевании, для последующего анализа его текстурных свойств. Для этого обследуемых просили прожевать заранее взвешенный образец в привычном режиме до состояния, удобного для глотания, после чего выплюнуть содержимое рта в контейнер. Текстуальные свойства

пищевого комка оценивали с помощью анализатора текстуры TA-XT2 (Texture Technologies Corp., Stable Micro Systems, Великобритания), как описано ранее [20].

Статистическую обработку результатов проводили, используя программы Statistica 13.5 StatSoft Inc. for Windows, а также Microsoft Office Excel. Проверку нормальности распределения данных выполняли с помощью критериев Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка. Учитывая, что большинство данных имело тип распределения, отличающийся от нормального, результаты представлены в виде медианы (*Me*) и интерквартильного размаха (25-й и 75-й перцентили). Сравнение данных двух независимых групп выполняли с использованием *U*-критерия Манна–Уитни. Уровень значимости считали достоверным при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Жевание и глотание образцов на основе картофельного пюре не сопровождалось дискомфортом, что подтверждается высокими значениями на 100-миллиметровой визуально-аналоговой шкале, используемой для оценки легкости глотания, которые составили 86,0 [76,5; 92,5] против 85,5 [81,0; 94,3] мм у участников с избыточной и нормальной массой тела соответственно ($p = 0,919$). Изучение особенностей восприятия текстурных атрибутов показало, что люди с избыточной массой тела оценивали продукт на основе картофельного пюре как более твердый (на 58%, $p = 0,010$) и клейкий (на 71%, $p = 0,021$), тогда как восприятие таких текстурных атрибутов, как однородность ($p = 0,074$), влажность ($p = 0,151$) и сцепленность ($p = 0,593$), у людей с разным ИМТ не различалось (рис. 1А). Анализ гедонической оценки картофельного продукта при жевании людьми с разным ИМТ не выявил различий в оценке аромата, вкуса, консистенции или образца в целом ($p > 0,05$ для всех измерений) (рис. 1Б).

Недавнее исследование показало, что соответствие текстуры пищи индивидуальным предпочтениям усиливает ее привлекательность и общее принятие, тогда как несоответствие снижает вкусовые качества и влияет на выбор пищи [24]. Текстуальные характеристики используемого картофельного продукта, по-видимому, удовлетворяли предпочтения участников из обеих групп, вызывая устойчивые гедонические реакции, несмотря на усиление ощущений твердости и клейкости у лиц с избыточной массой тела. Ранее было показано, что картофельные чипсы имеют сопоставимую гедоническую оценку, несмотря на существенные различия в текстурных характеристиках [25]. Тем не менее, поскольку более твердая текстура пищи считается способствующей ускорению насыщения и пролонгации чувства сытости, а следовательно, снижению потребления энергии [10, 26–28], измененное восприятие текстуры пищи у людей с избыточной массой тела может создавать иллюзию, что они употребляют более твердую пищу, которая лучше прилипает к поверхностям

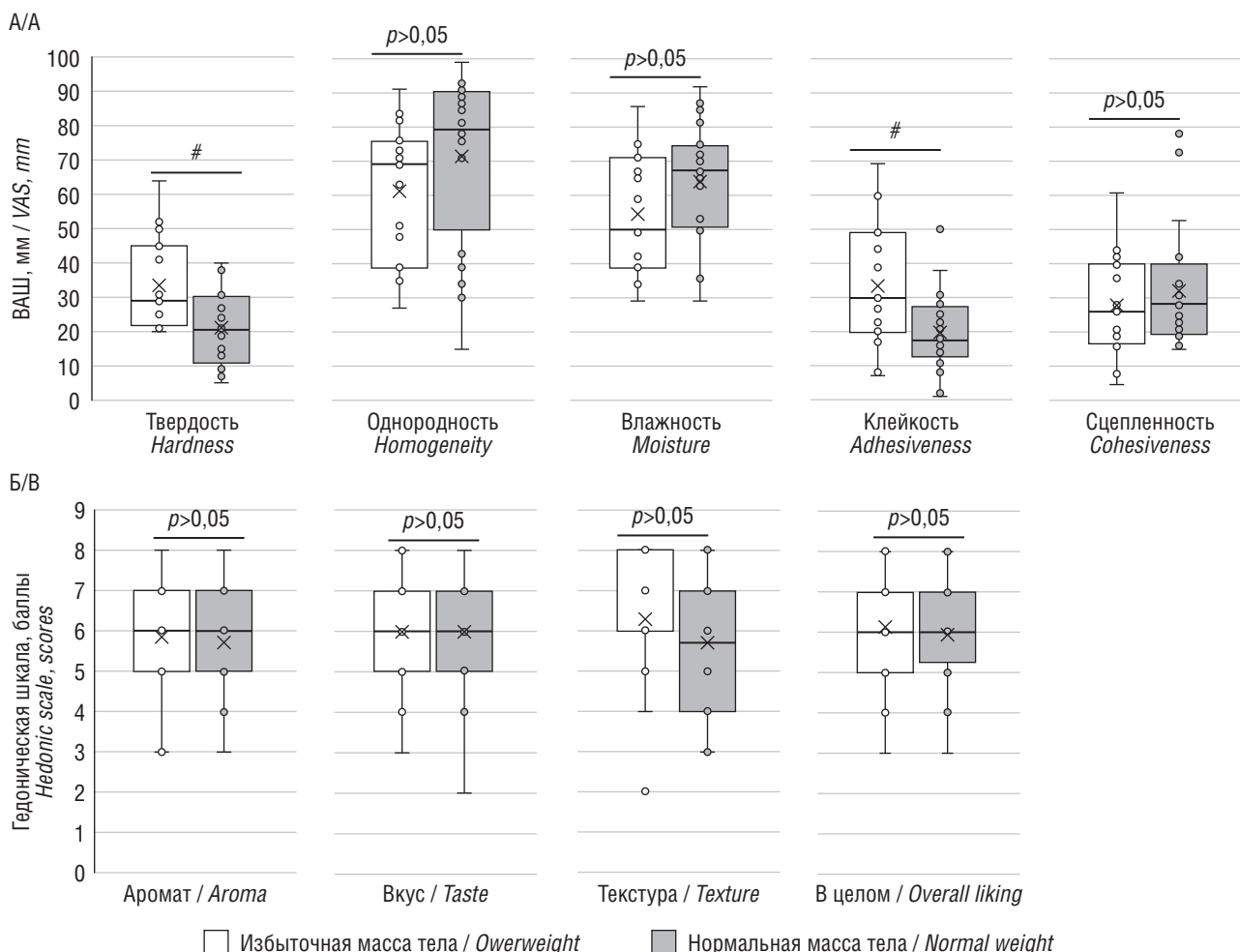


Рис. 1. Сенсорная оценка текстуры (А) и гедоническая оценка (Б), полученная при жевании картофельного продукта людьми с избыточной ($n=15$) и нормальной ($n=20$) массой тела

Здесь и на рис. 2: данные представлены в виде медианы и 25-го (Q1) и 75-го (Q3) перцентилей. # – статистически значимые различия ($p < 0,05$) между показателями у людей с избыточной и нормальной массой тела согласно U-критерию Манна–Уитни; ВАС – визуально-аналоговая шкала.

Fig. 1. Sensory evaluation of texture (A) and hedonic evaluation (B) obtained during chewing of the potato-based product by individuals with overweight ($n=15$) and normal weight ($n=20$)

Here and in Fig. 2: data are presented as median and interquartile ranges (Q1: 25th percentile; Q3: 75th percentile). # – Indicates statistically significant differences ($p < 0.05$) between overweight and normal weight groups according to the Mann–Whitney U test; VAS – visual analog scale.

полости рта, вследствие чего дольше обрабатывается в ротовой полости и, как результат, более эффективно снижает аппетит. Ранее полученные результаты, показывающие, что люди с низкой текстурной чувствительностью испытывают более выраженное ощущение наполненности желудка [29], частично подтверждают это предположение.

Измененное восприятие текстуры может влиять на параметры обработки пищевых продуктов в ротовой полости. Обычно, оценивая продукт как более твердый или сухой, люди изменяют параметры жевания, чтобы сформировать пищевой комок, пригодный для безопасного глотания [9]. Поэтому ожидалось, что добровольцы с избыточной массой тела, ощущая кар-

тофельный продукт более твердым и клейким, будут жевать его дольше, совершая большее количество жеваний, сопровождая это повышенным слюновыделением для смягчения и снижения адгезии продукта к поверхностям ротовой полости. Тем не менее полученные нами данные показали отсутствие значимых различий в длительности жевания и слюновыделении между людьми с разным ИМТ ($p > 0,05$) (табл. 1). При этом количество жевательных циклов у лиц с избыточной массой тела было статистически значимо меньше ($p = 0,02$) (см. табл. 1).

На первый взгляд, эти данные отчасти противоречат общепринятому утверждению о том, что быстрое потребление пищи ассоциировано с перепада-

Таблица 1. Характеристики жевания картофельного продукта (4 г) людьми с избыточной и нормальной массой тела (Me [Q1; Q3])**Table 1.** Chewing parameters of a potato-based product (4 g) in individuals with overweight and normal weight (Me [Q1; Q3])

Параметр Indicator	Избыточная масса тела Overweight (n=15)	Нормальная масса тела Normal weight (n=20)	p
Длительность жевания, с / Chewing time, s	14,6 [10,1; 18,3]	15,5 [10,6; 19,7]	0,267
Количество жевательных циклов / Number of chewing cycles	16,0 [13,5; 22,5]	24,0 [15,8; 35,5]	0,020
Длительность жевательного цикла, с / Chewing cycle time, s	0,7 [0,6; 0,9]	0,7 [0,6; 0,7]	0,099
Слюновыделение, г/мин / Salivation, g/min	1,6 [1,1; 2,1]	1,7 [1,1; 2,2]	0,490

нием и повышенным ИМТ [30–33]. Известно, что люди с избыточной массой тела сообщают о значительно более короткой продолжительности приема пищи по сравнению с лицами с нормальной массой тела [34, 35]. Однако многие исследования оценивают скорость приема пищи по субъективным опросам, что может снижать точность данных из-за ошибок в запоминании размера порции, качества пищи и длительности ее жевания. Более того, повышенная скорость приема пищи у лиц с избыточной массой тела может объясняться большим объемом принимаемой пищи за один укус, что сокращает общее время еды [36, 37]. Результаты немногочисленных работ, в которых длительность приема пищи и иные параметры жевания оценивали объективными методами непосредственно в процессе потребления пищи, также неоднозначны. Например, при жевании риса показатели длительности и частоты жевания, а также активации жевательных мышц не различались между группами лиц с избыточной и нормальной массой тела [38–40]. В то же время при жевании сырных шариков у участников с нормальной массой тела наблюдались более длительная продолжительность жевания и большее количество жеваний по сравнению с участниками с избыточной массой тела [41]. Для детей и подростков с избыточной массой тела выявлена меньшая продолжительность пережевывания крекеров при отсутствии различий в количестве жевательных циклов [15]. Эти различия могут быть связаны с широким спектром текстурных свойств исследованных продуктов. Изменение сенсорного восприятия текстуры, выявленное в нашем исследовании, свидетельствует о сложности адаптации параметров жевания во время оросенсорной обработки пищи у лиц с избыточной массой тела. Более того, заболевания височно-нижнечелюстного сустава, обуславливающие нарушение окклюзии [42],

тельных мышц не различались между группами лиц с избыточной и нормальной массой тела [38–40]. В то же время при жевании сырных шариков у участников с нормальной массой тела наблюдались более длительная продолжительность жевания и большее количество жеваний по сравнению с участниками с избыточной массой тела [41]. Для детей и подростков с избыточной массой тела выявлена меньшая продолжительность пережевывания крекеров при отсутствии различий в количестве жевательных циклов [15]. Эти различия могут быть связаны с широким спектром текстурных свойств исследованных продуктов. Изменение сенсорного восприятия текстуры, выявленное в нашем исследовании, свидетельствует о сложности адаптации параметров жевания во время оросенсорной обработки пищи у лиц с избыточной массой тела. Более того, заболевания височно-нижнечелюстного сустава, обуславливающие нарушение окклюзии [42],

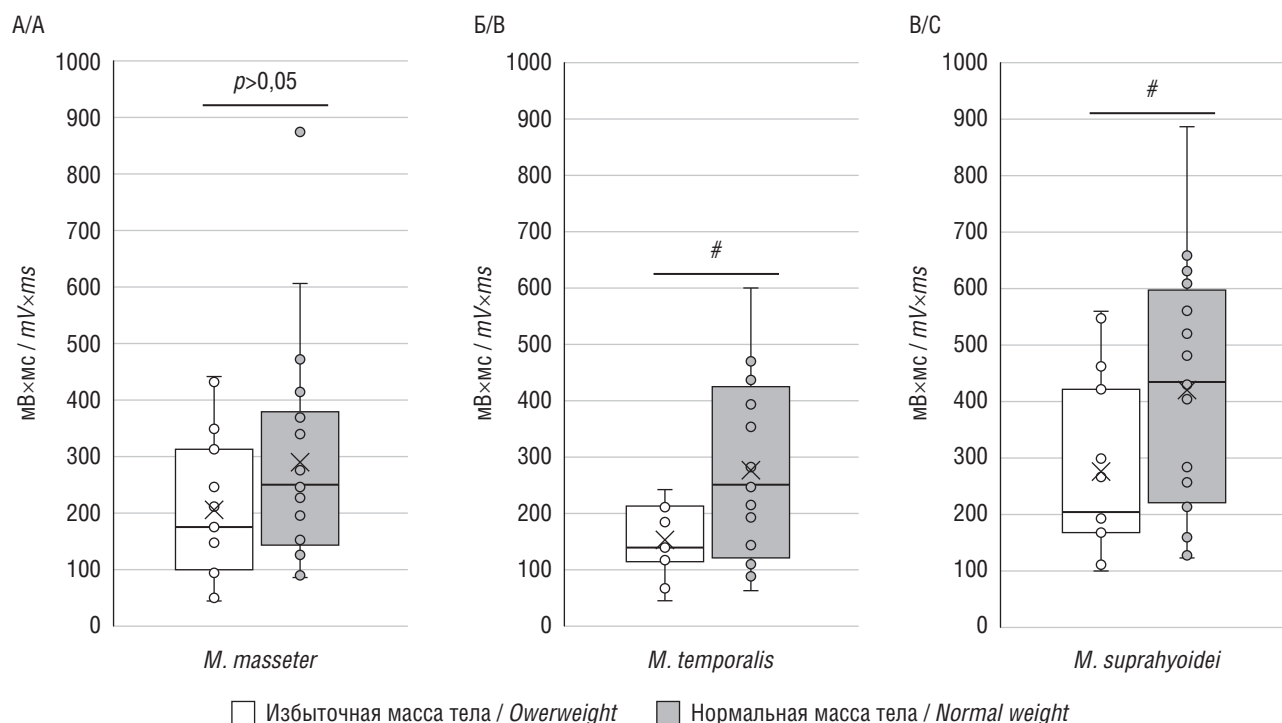
**Рис. 2.** Активность жевательной (*M. masseter*) (А), височной (*M. temporalis*) (Б) и надподъязычных (*M. suprahyoidei*) (В) мышц при жевании картофельного продукта людьми с избыточной ($n=15$) и нормальной ($n=20$) массой тела**Fig. 2.** Activity of the masseter (*M. masseter*) (A), temporal (*M. temporalis*) (B), and suprahyoid (*M. suprahyoidei*) (C) muscles during chewing of the potato-based product by individuals with overweight ($n=15$) and normal weight ($n=20$)

Таблица 2. Текстурные свойства пищевых комков, формирующихся при жевании картофельного образца (4 г) людьми с избыточной и нормальной массой тела (*Me* [Q1; Q3])

Table 2. Texture properties of food boluses formed during chewing of the potato-based sample (4 g) by individuals with overweight and normal weight (*Me* [Q1; Q3])

Параметр <i>Indicator</i>	Избыточная масса тела <i>Overweight</i> (<i>n</i> =15)	Нормальная масса тела <i>Normal weight</i> (<i>n</i> =20)	<i>p</i>
Твердость, Н / <i>Hardness, N</i>	0,38 [0,22; 0,67]	0,38 [0,23; 0,55]	0,556
Адгезивность, мДж / <i>Adhesiveness, mJ</i>	0,09 [0,07; 0,17]	0,11 [0,07; 0,16]	0,523
Сцепленность / <i>Cohesiveness</i>	0,60 [0,46; 0,63]	0,58 [0,48; 0,64]	0,877

а также изменения морфометрических характеристик жевательных мышц [43], коррелирующие с повышенным ИМТ, могут быть причиной наблюдаемых особенностей жевательной функции.

При жевании картофельного продукта у людей с избыточной массой тела не выявлено изменений активности жевательной мышцы (рис. 2А), тогда как височные (рис. 2Б) и надподъязычные (рис. 2В) мышцы активировались в меньшей степени в сравнении с активностью мышц у людей с нормальной массой тела (см. рис. 2).

Эти результаты согласуются с ранее опубликованными данными, свидетельствующими о том, что ожирение и избыточная масса тела связаны с изменением активности жевательных мышц [44–46]. Ранее было показано, что повышение ИМТ отрицательно коррелирует с величиной площади поперечного сечения жевательной мышцы [44], поэтому уменьшение активности мышц при жевании картофельного продукта может быть обусловлено изменениями морфологических характеристик мышц у людей с высоким ИМТ. Наблюдаемое снижение активности надподъязычных мышц также может быть результатом уменьшения проводимости электрического потенциала, вызванного увеличением толщины подкожно-жирового слоя у людей с высоким ИМТ. Более того, у людей с избыточной массой тела при жевании картофельного продукта длительность периода, когда височная мышца неактивна, составила 470,5 [345,8; 558,0] мс, что значительно больше в сравнении с таким же периодом у людей с нормальной массой тела, длительность которого составляла 333,0 [293,0; 416,3] мс ($p=0,014$). Эти результаты согласуются с данными, иллюстрирующими паттерны ритмичных движений челюсти и активности жевательных мышц при электростимуляции областей коры у крыс с разной массой тела [47].

Несмотря на различия в текстурной оценке и параметрах жевания картофельного образца, свойства пищевых комков, формирующихся у людей с разным ИМТ, измеренных непосредственно перед глотанием, не различались (табл. 2). Количество частиц размером более 1,0 мм в болюсе было также сходным ($p=0,215$), что указывает на сопоставимую степень измельчения картофельного продукта у лиц с избыточной (40,4% [36,1; 47,9]) и нормальной (47,1% [39,8; 52,3]) массой тела.

Данное исследование имеет несколько существенных ограничений. Во-первых, относительно небольшой

размер выборки и узкий возрастной диапазон ограничивают возможность обобщения результатов, касающихся пищевого поведения и связанных переменных. Объемы выборок в ранее опубликованных исследованиях, оценивающих параметры жевательной функции у лиц с разным ИМТ, варьируются от 21 [48] до 160 [39] и свидетельствуют о значительной вариабельности параметров жевания. Учитывая эту вариабельность в более разнообразных популяциях, выводы настоящего исследования требуют дополнительной верификации. Во-вторых, вопросы гендерных различий в жевательной функции, детально освещенные в литературе [49], не были предметом данного исследования. Кроме того, в рамках настоящего исследования выборка была ограничена здоровыми взрослыми лицами, что согласуется с его целями. Вместе с тем для повышения репрезентативности данных рекомендуется дополнить анализ изучением групп пожилых людей, подростков и лиц с нарушениями жевательной функции. Наконец, низкая твердость и высокая структурная однородность используемого картофельного продукта существенно отличаются от множества других пищевых продуктов. Поэтому целесообразно провести углубленное изучение жевательных характеристик и особенностей восприятия текстуры различных типов пищевых продуктов, включая твердые (к примеру, орехи) и мягкие (к примеру, йогурт) формы. Несмотря на эти ограничения, тщательное сопоставление групп, объединяющее в одном исследовании сенсорный анализ, оценку параметров жевания, активности жевательных мышц, интенсивности слюновыделения и физических характеристик пищевого комка, сформированного при жевании, является существенным преимуществом данного исследования. Полученные данные подчеркивают необходимость проведения исследований, направленных на выяснение возможности коррекции сенсорных предпочтений и жевательной функции, у лиц с избыточной массой тела с целью разработки эффективных методов борьбы с ожирением.

Закключение

Результаты нашего исследования свидетельствуют о том, что жевание и глотание картофельных продуктов у участников с разным ИМТ не вызывали диском-

форта и сопровождалась высокой степенью легкости проглатывания без существенных различий между группами. Несмотря на то что лица с избыточной массой тела воспринимали продукт как более твердый и клейкий, отличий в их гедонистической оценке аромата, вкуса и консистенции не обнаружено, что указывает на соответствие текстурных характеристик продукта индивидуальным предпочтениям обеих групп. Хотя измененное восприятие текстуры у людей с избыточной массой тела не сопровождалось изменениями в длительности жевания и слюновыделении, наблюдалось статистически значимое снижение количества жевательных циклов, а также снижение активности височных и надподъязычных мышц, вероятно, связанное с морфологическими изменениями мышц и увеличением подкожно-жирового

слоя. Более длительный период неактивности височной мышцы у лиц с избыточной массой тела отражает изменения моторики, подтвержденные экспериментальными моделями. Несмотря на различия в текстурных оценках и жевательных параметрах, механическая обработка пищи, отраженная в степени измельчения пищевых комков перед глотанием, а также их механическими свойствами, сохранялась на сопоставимом уровне между группами. Полученные данные подчеркивают сложность взаимодействия между сенсорным восприятием, жевательной функцией и пищевым поведением при избыточной массе тела и служат основанием для дальнейших исследований механизмов, влияющих на пищевое поведение и метаболизм у данной категории лиц.

Сведения об авторах

ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, Российская Федерация):

Храмова Дарья Сергеевна (*Daria S. Khramova*) – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела молекулярной иммунологии и биотехнологии

E-mail: dkhranova@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0970-9203>

Витязев Федор Васильевич (*Fedor V. Vityazev*) – кандидат химических наук, научный сотрудник отдела молекулярной иммунологии и биотехнологии

E-mail: rodefex@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4248-1995>

Зуева Наталья Владимировна (*Natalya V. Zueva*) – старший лаборант отдела молекулярной иммунологии и биотехнологии

E-mail: nata.zueva.2000@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0005-1607-5415>

Чистякова Елизавета Александровна (*Elizaveta A. Chistiakova*) – старший лаборант отдела молекулярной иммунологии и биотехнологии

E-mail: kvashninova.e@yandex.ru

Попов Сергей Владимирович (*Sergey V. Popov*) – доктор биологических наук, доцент, заведующий отделом молекулярной иммунологии и биотехнологии

E-mail: s.v.popov@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1763-8898>

Литература

- Spinelli S., Monteleone E. Food preferences and obesity // *Endocrinol. Metab.* (Seoul). 2021. Vol. 36, N 2. P. 209–219. DOI: <https://doi.org/10.3803/EnM.2021.105>
- Fazzino T.L., Dorling J.L., Apolzan J.W., Martin C.K. Meal composition during an ad libitum buffet meal and longitudinal predictions of weight and percent body fat change: The role of hyper-palatable, energy dense, and ultra-processed foods // *Appetite*. 2021. Vol. 167. Article ID 105592. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105592>
- Forde C.G., de Graaf K. Influence of sensory properties in moderating eating behaviors and food intake // *Front. Nutr.* 2022. Vol. 9. Article ID 841444. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.841444>
- Rai S., Wai P.P., Koirala P., Bromage S., Nirmal N.P., Pandiselvam R. et al. Food product quality, environmental and personal characteristics affecting consumer perception toward food // *Front. Sustain. Food Syst.* 2023. Vol. 7. Article ID 1222760. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1222760>
- Fathi M., Javid A.Z., Mansoori A. Effects of weight change on taste function; a systematic review // *Nutr. J.* 2023. Vol. 22, N 1. P. 22. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12937-023-00850-z>
- Peinado B.R.R., Frazão D.R., Bittencourt L.O., de Souza-Rodrigues R.D., Vidigal M.T.C., da Silva D.T. et al. Is obesity associated with taste alterations? A systematic review // *Front. Endocrinol.* (Lausanne). 2023. Vol. 14. Article ID 1167119. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1167119>
- Mouillot T., Brindisi M.C., Gauthier C., Barthet S., Quere C., Litime D. et al. Prolonged latency of the gustatory evoked potentials for sucrose solution in subjects living with obesity compared with normal-weight subjects // *Int. J. Obes.* (Lond.). 2024. Vol. 48, N 12. P. 1720–1727. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41366-024-01607-2>
- Liu J., Cattaneo C., Papavasileiou M., Methven L., Bredie W.L.P. A review on oral tactile sensitivity: measurement techniques, influencing factors and its relation to food perception and preference // *Food Qual. Prefer.* 2022. Vol. 100. Article ID 104624. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104624>
- Devezeaux de Laverne M., van de Velde F., Stieger M. Bolus matters: the influence of food oral breakdown on dynamic texture perception // *Food Funct.* 2017. Vol. 8, N 2. P. 464–480. DOI: <https://doi.org/10.1039/C6FO01005A>
- Bolhuis D.P., Forde C.G. Application of food texture to moderate oral processing behaviors and energy intake // *Trends Food Sci. Technol.* 2020. Vol. 106. P. 445–456. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.021>
- Devezeaux de Laverne M., Derks J.A.M., Ketel E.C., de Wijk R.A., Stieger M. Eating behaviour explains differences between individuals in dynamic texture perception of sausages // *Food Qual. Prefer.* 2015. Vol. 41. P. 189–200. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.12.006>
- Aguayo-Mendoza M.G., Martínez-Almaguer E.F., Piqueras-Fiszman B., Stieger M. Differences in oral processing behavior of consumers varying in age, gender and ethnicity lead to changes in bolus properties but only to small differences in dynamic texture perception of sausages // *Food Funct.* 2020. Vol. 11, N 11. P. 10 022–10 032. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0FO01835J>
- Yoshimura S., Hori K., Uehara F., Hori S., Yamaga Y., Hasegawa Y. et al. Relationship between body mass index and masticatory factors evaluated with a wearable device // *Sci. Rep.* 2022. Vol. 12, N 1. P. 4117. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08084-5>
- Iwasaki T., Fukuda H., Kitamura M., Kawashita Y., Hayashida H., Furugen R. et al. Association between number of pairs of opposing posterior teeth, metabolic syndrome, and obesity // *Odontology*. 2019. Vol. 107, N 1. P. 111–117. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10266-018-0386-x>
- Calcaterra V., Pizzorni N., Giovanazzi S., Nannini M., Scarponi L., Zanelli S. et al. Mastication and oral myofunctional status in excess weight

- children and adolescents: a cross-sectional observational study // *J. Oral Rehabil.* 2024. Vol. 51, N 11. P. 2345–2353. DOI: <https://doi.org/10.1111/joor.13838>
16. Flores-Orozco E.I., Tiznado-Orozco G.E., Osuna-González O.D., Amaro-Navarrete C.L., Rovira-Lastra B., Martínez-Gomis J. Lack of relationship between masticatory performance and nutritional status in adults with natural dentition // *Arch. Oral Biol.* 2016. Vol. 71. P. 117–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2016.07.008>
17. Khranova D., Vityazev F.V., Zueva N.V., Chistiakova E.A., Popov S. Volitional control of chewing frequency affects food oral processing and texture perception // *J. Oral Rehabil.* 2025. Vol. 52, N 6. P. 871–882. DOI: <https://doi.org/10.1111/joor.13944>
18. Batterink L., Yokum S., Stice E. Body mass correlates inversely with inhibitory control in response to food among adolescent girls: an fMRI study // *Neuroimage.* 2010. Vol. 52, N 4. P. 1696–1703. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.059>
19. Saruco E., Plegier B. A systematic review of obesity and binge eating associated impairment of the cognitive inhibition system // *Front. Nutr.* 2021. Vol. 8. Article ID 609012. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.609012>
20. Khranova D.S., Vityazev F.V., Zueva N.V., Chistiakova E.A. Impact of pectin or xanthan addition to mashed potatoes gelled with α -carrageenan on texture and rheology, oral processing behavior, bolus properties and in mouth starch digestibility // *Int. J. Biol. Macromol.* 2025. Vol. 308, pt 1. Article ID 142349. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomac.2025.142349>
21. Lawless H.T., Heymann H. Introduction // *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices* / eds H.T. Lawless, H. Heymann. New York : Springer, 2010. P. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5> Online ISBN: 978-1-4419-6488-5
22. Kohyama K., Gao Z., Ishihara S., Funami T., Nishinari K. Electromyography analysis of natural mastication behavior using varying mouthful quantities of two types of gels // *Physiol. Behav.* 2016. Vol. 161. P. 174–182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.04.030>
23. Choy J.Y.M., Goh A.T., Chatonidi G., Ponnalagu S., Wee S.M.M., Steiger M. et al. Impact of food texture modifications on oral processing behaviour, bolus properties and postprandial glucose responses // *Curr. Res. Food Sci.* 2021. Vol. 4. P. 891–899. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crf.2021.11.018>
24. Kamei M., Nishibe M., Araki R., Kohyama K., Kusakabe Y. Effect of texture preference on food texture perception: exploring the role of matching food texture and preference // *Appetite.* 2024. Vol. 192. Article ID 107078. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2023.107078>
25. Cahayadi J., Leong S.Y., Oey I., Peng M. Textural effects on perceived satiation and ad libitum intake of potato chips in males and females // *Foods.* 2020. Vol. 9, N 1. P. 85. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9010085>
26. Stribića E., Evans C.E.L., Gibbons C., Blundell J., Sarkar A. Food texture influences on satiety: Systematic review and meta-analysis // *Sci. Rep.* 2020. Vol. 10, N 1. Article ID 12929. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69504-y>
27. Harper M.M., Cunningham P.M., Forde C.G., Hayes J.E. Unit size influences ad libitum intake in a snacking context via eating rate // *Appetite.* 2024. Vol. 197. Article ID 107300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107300>
28. James B. Oral processing and texture perception influences satiation // *Physiol. Behav.* 2018. Vol. 193, pt B. P. 238–241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.03.015>
29. Смирнов В.В., Попов С.В. Выявление факторов, влияющих на текстурную чувствительность молодых здоровых добровольцев, на основе модели различения твердости агар-желатинового геля // *Вопросы питания.* 2021. Т 90, № 4. С. 84–93. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-84-93>
30. Nanri A., Miyaji N., Kochi T., Eguchi M., Kabe I., Mizoue T. Eating speed and risk of metabolic syndrome among Japanese workers: the furukawa nutrition and health study // *Nutrition.* 2020. Vol. 78. Article ID 110962. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2020.110962>
31. Hurst Y., Fukuda H. Effects of changes in eating speed on obesity in patients with diabetes: a secondary analysis of longitudinal health check-up data // *BMJ Open.* 2018. Vol. 8, N 1. Article ID e019589. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-019589>
32. Lim H., Lee H. Eating habits and lifestyle factors related to childhood obesity among children aged 5–6 years: cluster analysis of panel survey data in Korea // *JMIR Public Health Surveill.* 2024. Vol. 10. Article ID e51581. DOI: <https://doi.org/10.2196/51581>
33. Yaguchi Y., Kenta T., Imaeda N., Goto C., Ueno Y., Kayama T. Sex differences in waist circumference obesity and eating speed: a cross-sectional study of Japanese people with normal body mass index // *Front. Nutr.* 2024. Vol. 11. Article ID 1341240. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1341240>
34. Fogel A., Fries L.R., McCrickerd K., Goh A.T., Quah P.L., Chan M.J. et al. Oral processing behaviours that promote children's energy intake are associated with parent-reported appetitive traits: results from the gusto cohort // *Appetite.* 2018. Vol. 126. P. 8–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.03.011>
35. Okubo H., Murakami K., Masayasu S., Sasaki S. The relationship of eating rate and degree of chewing to body weight status among preschool children in Japan: a nationwide cross-sectional study // *Nutrients.* 2018. Vol. 11, N 1. P. 64. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11010064>
36. Santos R.E.A., Leandro C.G., de França K.E.X., Barbosa D.A.M., Aragão R.D.S., Pinheiro I.L. et al. Mastication in overweight and obese children: a comparative cross-sectional study // *J. Pediatr. (Rio J.)* 2023. Vol. 99, N 2. P. 154–160. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jped.2022.07.008>
37. Mattfeld R.S., Muth E.R., Hoover A. A comparison of bite size and BMI in a cafeteria setting // *Physiol. Behav.* 2017. Vol. 181. P. 38–42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.09.002>
38. Park S., Shin W.S. Differences in eating behaviors and masticatory performances by gender and obesity status // *Physiol. Behav.* 2015. Vol. 138. P. 69–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.10.001>
39. Isabel C.A., Moyses M.R., van der Bilt A., Gameiro G.H., Ribeiro J.C., Pereira L.J. The relationship between masticatory and swallowing behaviors and body weight // *Physiol. Behav.* 2015. Vol. 151. P. 314–319. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.08.006>
40. White A.K., Venn B., Lu L.W., Rush E., Gallo L.M., Yong J.L. et al. A comparison of chewing rate between overweight and normal BMI individuals // *Physiol. Behav.* 2015. Vol. 145. P. 8–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.03.028>
41. Zhu Y., Hollis J.H. Relationship between chewing behavior and body weight status in fully dentate healthy adults // *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2015. Vol. 66, N 2. P. 135–139. DOI: <https://doi.org/10.3109/09637486.2014.979317>
42. Kim S.Y., Yoo D.M., Byun S.H., Min C., Kim J.H., Kwon M.J. et al. Association between temporomandibular joint disorder and weight changes: a longitudinal follow-up study using a national health screening cohort // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021. Vol. 18, N 22. Article ID 11793. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph182211793>
43. Meisel P., Daboul A., Bülow R., Eremenko M., Völzke H., Biffar R. et al. Masticatory muscles characteristics in relation to adiposity and general muscular fitness: a population-based study // *Odontology.* 2023. Vol. 111, N 3. P. 742–749. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10266-023-00785-1>
44. Regalo I.H., Palinkas M., Gonçalves L.M.N., de Vasconcelos P.B., Cappella A., Solazzo R. et al. Impact of obesity on the structures and functions of the stomatognathic system: a morphofunctional approach // *Arch. Oral Biol.* 2024. Vol. 159. Article ID 105877. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2023.105877>
45. Favero T.C., Silva A.M.T., Haeflner L.B., Busanello-Stella A.R., Correa E. Masticatory muscle electrical activity pattern in obese and eutrophic children // *Rev. CEFAC.* 2015. Vol. 17, N 5. P. 1509–1519. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0216201517522314>
46. Смирнов В.В., Попов С.В., Храмова Д.С., Зуева Н.В., Вельская И.М. Низкая жевательная активность у взрослых с избыточной массой тела и ожирением: поперечное исследование // *Вестник восстановительной медицины.* 2025. Т. 24, № 6. С. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-6-35-41>
47. Li R., Kato C., Fujita A., Abe Y., Ogawa T., Ishidori H. et al. Effect of obesity on masticatory muscle activity and rhythmic jaw movements evoked by electrical stimulation of different cortical masticatory areas // *J. Clin. Med.* 2023. Vol. 12, N 11. P. 3856. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm12113856>
48. Farfan C., Venegas C., Lezcano M., Fuentes R. Masticatory function according to body mass index. Part II: electromyographic analysis // *J. Oral Res.* 2022. Vol. 11, N 3. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.17126/joralres.2022.029>
49. Ketel E.C., Aguayo-Mendoza M.G., de Wijk R.A., de Graaf C., Piqueras-Fiszman B., Stieger M. Age, gender, ethnicity and eating capability influence oral processing behaviour of liquid, semi-solid and solid foods differently // *Food Res. Int.* 2019. Vol. 119. P. 143–151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.048>

References

1. Spinelli S., Monteleone E. Food preferences and obesity. *Endocrinol Metab* (Seoul). 2021; 36 (2): 209–19. DOI: <https://doi.org/10.3803/EnM.2021.105>
2. Fazzino T.L., Dorling J.L., Apolzan J.W., Martin C.K. Meal composition during an ad libitum buffet meal and longitudinal predictions of weight and percent body fat change: The role of hyper-palatable, energy dense, and ultra-processed foods. *Appetite.* 2021; 167: 105592. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105592>
3. Forde C.G., de Graaf K. Influence of sensory properties in moderating eating behaviors and food intake. *Front Nutr.* 2022; 9: 841444. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.841444>
4. Rai S., Wai P.P., Koirala P., Bromage S., Nirmal N.P., Pandiselvam R. et al. Food product quality, environmental and personal characteristics affecting consumer perception toward food. *Front Sustain Food Syst.* 2023; 7: 1222760. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1222760>
5. Fathi M., Javid A.Z., Mansoori A. Effects of weight change on taste function; a systematic review. *Nutr J.* 2023; 22 (1): 22. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12937-023-00850-z>
6. Peinado B.R.R., Frazão D.R., Bittencourt L.O., de Souza-Rodrigues R.D., Vidigal M.T.C., da Silva D.T., et al. Is obesity associated with taste alterations? A systematic review. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2023; 14: 1167119. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1167119>
7. Mouillot T., Brindisi M.C., Gauthier C., Barthet S., Quere C., Litime D., et al. Prolonged latency of the gustatory evoked potentials for sucrose solution in subjects living with obesity compared with normal-weight subjects. *Int J*

- Obes (Lond). 2024; 48 (12): 1720–7. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41366-024-01607-2>
8. Liu J., Cattaneo C., Papavasileiou M., Methven L., Bredie W.L.P. A review on oral tactile sensitivity: measurement techniques, influencing factors and its relation to food perception and preference. *Food Qual Prefer.* 2022; 100: 104624. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104624>
 9. Devezeaux de Lavergne M., van de Velde F., Stieger M. Bolus matters: the influence of food oral breakdown on dynamic texture perception. *Food Funct.* 2017; 8 (2): 464–80. DOI: <https://doi.org/10.1039/C6FO01005A>
 10. Bolhuis D.P., Forde C.G. Application of food texture to moderate oral processing behaviors and energy intake. *Trends Food Sci Technol.* 2020; 106: 445–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.021>
 11. Devezeaux de Lavergne M., Derks J.A.M., Ketel E.C., de Wijk R.A., Stieger M. Eating behaviour explains differences between individuals in dynamic texture perception of sausages. *Food Qual Prefer.* 2015; 41: 189–200. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.12.006>
 12. Aguayo-Mendoza M.G., Martinez-Almaguer E.F., Piqueras-Fiszman B., Stieger M. Differences in oral processing behavior of consumers varying in age, gender and ethnicity lead to changes in bolus properties but only to small differences in dynamic texture perception of sausages. *Food Funct.* 2020; 11 (11): 10 022–32. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0FO01835J>
 13. Yoshimura S., Hori K., Uehara F., Hori S., Yamaga Y., Hasegawa Y., et al. Relationship between body mass index and masticatory factors evaluated with a wearable device. *Sci Rep.* 2022; 12 (1): 4117. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08084-5>
 14. Iwasaki T., Fukuda H., Kitamura M., Kawashita Y., Hayashida H., Furugen R., et al. Association between number of pairs of opposing posterior teeth, metabolic syndrome, and obesity. *Odontology.* 2019; 107 (1): 111–7. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10266-018-0386-x>
 15. Calcatera V., Pizzorni N., Giovanazzi S., Nannini M., Scarponi L., Zanelli S., et al. Mastication and oral myofunctional status in excess weight children and adolescents: a cross-sectional observational study. *J Oral Rehabil.* 2024; 51 (11): 2345–53. DOI: <https://doi.org/10.1111/joor.13838>
 16. Flores-Orozco E.L., Tiznado-Orozco G.E., Osuna-González O.D., Amaro-Navarrete C.L., Rovira-Lastra B., Martinez-Gomis J. Lack of relationship between masticatory performance and nutritional status in adults with natural dentition. *Arch Oral Biol.* 2016; 71: 117–21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2016.07.008>
 17. Khranova D., Vityazev F.V., Zueva N.V., Chistiakova E.A., Popov S. Volitional control of chewing frequency affects food oral processing and texture perception. *J Oral Rehabil.* 2025; 52 (6): 871–82. DOI: <https://doi.org/10.1111/joor.13944>
 18. Batterink L., Yokum S., Stice E. Body mass correlates inversely with inhibitory control in response to food among adolescent girls: an fMRI study. *Neuroimage.* 2010; 52 (4): 1696–703. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.059>
 19. Saruco E., Pleger B. A systematic review of obesity and binge eating associated impairment of the cognitive inhibition system. *Front Nutr.* 2021; 8: 609012. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.609012>
 20. Khranova D.S., Vityazev F.V., Zueva N.V., Chistiakova E.A. Impact of pectin or xanthan addition to mashed potatoes gelled with κ -carrageenan on texture and rheology, oral processing behavior, bolus properties and in mouth starch digestibility. *Int J Biol Macromol.* 2025; 308 (pt 1): 142349. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.142349>
 21. Lawless H.T., Heymann H. Introduction. In: H.T. Lawless, H. Heymann (eds). *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. New York: Springer, 2010: 1–18. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5> Online ISBN: 978-1-4419-6488-5
 22. Kohyama K., Gao Z., Ishihara S., Funami T., Nishinari K. Electromyography analysis of natural mastication behavior using varying mouthful quantities of two types of gels. *Physiol Behav.* 2016; 161: 174–82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.04.030>
 23. Choy J.Y.M., Goh A.T., Chatonidi G., Ponnalagu S., Wee S.M.M., Stieger M., et al. Impact of food texture modifications on oral processing behaviour, bolus properties and postprandial glucose responses. *Curr Res Food Sci.* 2021; 4: 891–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crf.2021.11.018>
 24. Kamei M., Nishibe M., Araki R., Kohyama K., Kusakabe Y. Effect of texture preference on food texture perception: exploring the role of matching food texture and preference. *Appetite.* 2024; 192: 107078. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2023.107078>
 25. Cahyadi J., Leong S.Y., Oey I., Peng M. Textural effects on perceived satiation and ad libitum intake of potato chips in males and females. *Foods.* 2020; 9 (1): 85. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9010085>
 26. Stribitcaia E., Evans C.E.L., Gibbons C., Blundell J., Sarkar A. Food texture influences on satiety: Systematic review and meta-analysis. *Sci Rep.* 2020; 10 (1): 12929. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69504-y>
 27. Harper M.M., Cunningham P.M., Forde C.G., Hayes J.E. Unit size influences ad libitum intake in a snacking context via eating rate. *Appetite.* 2024; 197: 107300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107300>
 28. James B. Oral processing and texture perception influences satiation. *Physiol Behav.* 2018; 193 (pt B): 238–41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.03.015>
 29. Smirnov V.V., Popov S.V. Identification of factors influencing the texture sensitivity of young healthy volunteers based on a model for distinguishing the hardness of an agar-gelatin gel. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2021; 90 (4): 84–93. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-84-93> (in Russian)
 30. Nanri A., Miyaji N., Kochi T., Eguchi M., Kabe I., Mizoue T. Eating speed and risk of metabolic syndrome among Japanese workers: the furukawa nutrition and health study. *Nutrition.* 2020; 78: 110962. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2020.110962>
 31. Hurst Y., Fukuda H. Effects of changes in eating speed on obesity in patients with diabetes: a secondary analysis of longitudinal health check-up data. *BMJ Open.* 2018; 8 (1): e019589. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-019589>
 32. Lim H., Lee H. Eating habits and lifestyle factors related to childhood obesity among children aged 5–6 years: cluster analysis of panel survey data in Korea. *JMIR Public Health Surveill.* 2024; 10: e51581. DOI: <https://doi.org/10.2196/51581>
 33. Yaguchi Y., Konta T., Imaeda N., Goto C., Ueno Y., Kayama T. Sex differences in waist circumference obesity and eating speed: a cross-sectional study of Japanese people with normal body mass index. *Front Nutr.* 2024; 11: 1341240. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1341240>
 34. Fogel A., Fries L.R., McCrickerd K., Goh A.T., Quah P.L., Chan M.J., et al. Oral processing behaviours that promote children's energy intake are associated with parent-reported appetitive traits: results from the gusto cohort. *Appetite.* 2018; 126: 8–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.03.011>
 35. Okubo H., Murakami K., Masayasu S., Sasaki S. The relationship of eating rate and degree of chewing to body weight status among preschool children in Japan: a nationwide cross-sectional study. *Nutrients.* 2018; 11 (1): 64. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11010064>
 36. Santos R.E.A., Leandro C.G., de França K.E.X., Barbosa D.A.M., Aragão R.D.S., Pinheiro I.L., et al. Mastication in overweight and obese children: a comparative cross-sectional study. *J Pediatr (Rio J).* 2023; 99 (2): 154–60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jped.2022.07.008>
 37. Mattfeld R.S., Muth E.R., Hoover A. A comparison of bite size and bmi in a cafeteria setting. *Physiol Behav.* 2017; 181: 38–42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.09.002>
 38. Park S., Shin W.S. Differences in eating behaviors and masticatory performances by gender and obesity status. *Physiol Behav.* 2015; 138: 69–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.10.001>
 39. Isabel C.A., Moysés M.R., van der Bilt A., Gameiro G.H., Ribeiro J.C., Pereira L.J. The relationship between masticatory and swallowing behaviors and body weight. *Physiol Behav.* 2015; 151: 314–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.08.006>
 40. White A.K., Venn B., Lu L.W., Rush E., Gallo L.M., Yong J.L., et al. A comparison of chewing rate between overweight and normal bmi individuals. *Physiol Behav.* 2015; 145: 8–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.03.028>
 41. Zhu Y., Hollis J.H. Relationship between chewing behavior and body weight status in fully dentate healthy adults. *Int J Food Sci Nutr.* 2015; 66 (2): 135–9. DOI: <https://doi.org/10.3109/09637486.2014.979317>
 42. Kim S.Y., Yoo D.M., Byun S.H., Min C., Kim J.H., Kwon M.J., et al. Association between temporomandibular joint disorder and weight changes: a longitudinal follow-up study using a national health screening cohort. *Int J Environ Res Public Health.* 2021; 18 (22): 11793. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph182211793>
 43. Meisel P., Daboul A., Bülow R., Eremenko M., Völzke H., Biffar R., et al. Masticatory muscles characteristics in relation to adiposity and general muscular fitness: a population-based study. *Odontology.* 2023; 111 (3): 742–9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10266-023-00785-1>
 44. Regalo I.H., Palinkas M., Gonçalves L.M.N., de Vasconcelos P.B., Cappella A., Solazzo R., et al. Impact of obesity on the structures and functions of the stomatognathic system: a morphofunctional approach. *Arch Oral Biol.* 2024; 159: 105877. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2023.105877>
 45. Favero T.C., Silva A.M.T., Haeflner L.B., Busanello-Stella A.R., Correa E. Masticatory muscle electrical activity pattern in obese and eutrophic children. *Rev CEFAC.* 2015; 17 (5): 1509–19. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0216201517522314>
 46. Smirnov V.V., Popov S.V., Khranova D.S., Zueva N.V., Vel'skaya I.M. Decreased masticatory activity in adults with overweight and obesity: a cross-sectional study. *Vestnik vosstanovitel'noy meditsiny [Bulletin of Restorative Medicine]*. 2025; 24 (6): 35–41. DOI: <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-6-35-41> (in Russian)
 47. Li R., Kato C., Fujita A., Abe Y., Ogawa T., Ishidori H., et al. Effect of obesity on masticatory muscle activity and rhythmic jaw movements evoked by electrical stimulation of different cortical masticatory areas. *J Clin Med.* 2023; 12 (11): 3856. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm12113856>
 48. Farfan C., Venegas C., Lezcano M., Fuentes R. Masticatory function according to body mass index. Part ii: electromyographic analysis. *J Oral Res.* 2022; 11 (3): 1–10. DOI: <https://doi.org/10.17126/joralres.2022.029>
 49. Ketel E.C., Aguayo-Mendoza M.G., de Wijk R.A., de Graaf C., Piqueras-Fiszman B., Stieger M. Age, gender, ethnicity and eating capability influence oral processing behaviour of liquid, semi-solid and solid foods differently. *Food Res Int.* 2019; 119: 143–51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.048>

Для корреспонденции

Мартинчик Арсений Николаевич (Arseniy N. Martinchik) – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории демографии и эпидемиологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
Адрес: 109240, Российская Федерация, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14
Телефон: (495) 698-53-87
E-mail: arsmartin@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5200-7907>

Мартинчик А.Н., Батурин А.К., Кудрявцева К.В., Мартинчик Э.А., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А.

Индекс здорового питания в оценке региональных особенностей питания населения Российской Федерации

Index of healthy diet
for assessing regional dietary
patterns of the population
of the Russian Federation

Martinchik A.N., Baturin A.K.,
Kudryavtseva K.V., Martinchik E.A.,
Nikityuk D.B., Tutelyan V.A.

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

Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 109240, Moscow, Russian Federation

Оценка фактического питания связана с необходимостью оперировать десятками параметров только по потреблению нутриентов и энергетической ценности. Число параметров возрастает многократно при необходимости оценки потребления пищевых продуктов, их комбинации, способов приготовления сложных рецептурных блюд, других пищевых факторов. Для интегральной оценки многообразия факторов питания были предложены инструменты, называемые индексами качества питания, и как отдельная группа – индексы здорового питания (ИЗП), которые представляют собой количественную меру оценки фактического питания в соответствии с принятыми правилами и принципами здорового питания.

Финансирование. Исследование проведено в рамках выполнения темы госзадания № FGMF-2025-0010.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Мартинчик А.Н., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А.; сбор и статистическая обработка данных – Мартинчик А.Н., Кудрявцева К.И., Мартинчик Э.А.; анализ данных – Батурин А.К.; написание текста – Мартинчик А.Н.; редактирование текста – Тутельян В.А., Никитюк Д.Б.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Мартинчик А.Н., Батурин А.К., Кудрявцева К.В., Мартинчик Э.А., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А. Индекс здорового питания в оценке региональных особенностей питания населения Российской Федерации // Вопросы питания. 2026. Т. 95, № 2. С. 26–37. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-26-37>

Статья поступила в редакцию 03.02.2026. **Принята в печать** 12.03.2026.

Funding. The study was conducted within the framework of state assignment No. FGMF-2025-0010.

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

Contribution. Concept and design of the study – Martinchik A.N., Nikityuk D.B., Tutelyan V.A.; data collection and statistical processing – Martinchik A.N., Kudryavtseva K.I., Martinchik E.A.; data analysis – Baturin A.K.; text writing – Martinchik A.N.; text editing – Tutelyan V.A., Nikityuk D.B.; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Martinchik A.N., Baturin A.K., Kudryavtseva K.V., Martinchik E.A., Nikityuk D.B., Tutelyan V.A. Index of healthy diet for assessing regional dietary patterns of the population of the Russian Federation. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2026; 95 (2): 26–37. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-26-37> (in Russian)

Received 03.02.2026. **Accepted** 12.03.2026

Цель настоящего исследования – валидизация применения интегрального ИЗП для оценки региональных особенностей фактического питания населения Российской Федерации.

Материал и методы. Использованы микроданные фактического потребления взрослым населением пищевых веществ, энергии и основных групп пищевых продуктов, полученные при кросс-секционном обследовании питания членов 45 тыс. домохозяйств, проведенного Росстатом во всех субъектах РФ в 2023 г. методом 24-часового воспроизведения питания. Обработку первичного материала и статистический анализ проводили с помощью программы IBM SPSS Statistics v.20.0 (США), в которой был специально разработан алгоритм (синтаксис) цифровых трансформаций множества микроданных фактического потребления пищи для многоуровневого анализа индивидуальных и групповых величин потребления пищевых веществ и основных групп пищевых продуктов с целью актуализации конструкции ИЗП.

Результаты. Квинтильное распределение индивидуальных значений ИЗП респондентов по федеральным округам показало, что наибольший процент величин ИЗП включается в 4–5-й квинтили в Уральском, Южном и Северо-Кавказском федеральных округах. В то же время в Северо-Западном, Сибирском и Дальневосточном округах наибольшие доли ИЗП сосредоточены в низших 1–2-м квинтилях величин ИЗП. Статистический анализ характера питания в квинтильных группах ИЗП всей выборки взрослых показал, что суточное потребление энергии значительно ниже в 5-м квинтиле по сравнению с 1-м. Изменения потребления отдельных видов пищевых продуктов и пищевых веществ по квинтилям характеризуются различной направленностью. Потребление взрослыми зерновых, молочных продуктов, рыбы и морепродуктов, овощей и фруктов значительно выше в 5-м квинтиле ИЗП при расчете на 1000 ккал, тогда как в абсолютных количествах (г/сут) потребление зерновых продуктов, рыбы и морепродуктов не изменяется. В то же время потребление мяса животных и птицы, колбасных изделий, общего жира, насыщенных жирных кислот, холестерина и добавленного сахара и соли значительно ниже в 5-м квинтиле ИЗП при всех способах расчета. Для анализа региональных особенностей взаимосвязи характера питания и ИЗП были выбраны 1-й и 10-й децили распределения средних региональных величин ИЗП, в которых оказались по 8 субъектов с минимальными или максимальными средними величинами ИЗП. Результаты анализа в этих группах по большинству пищевых позиций согласуются с анализом распределения индивидуальных величин ИЗП по квинтилям, но выявлены и различия. В регионах с высокими значениями средних величин ИЗП содержание в рационе зерновых продуктов, мяса животных и птицы, овощей и фруктов в расчете на 1000 ккал значительно выше, а содержание всех критически значимых нутриентов (% энергии) значительно ниже, чем при низких средних ИЗП. Однако в регионах с высокими средними величинами ИЗП содержание в рационах молочных продуктов в пересчете на молоко ниже, чем в регионах с низкими величинами ИЗП. Высокие величины ИЗП как в 5-м квинтиле индивидуального распределения ИЗП, так и при региональном распределении связаны с более высокой долей (%) энергии рациона, поступающей за счет зерновых продуктов, овощей, блюд из бобовых, фруктов, первых обеденных блюд, но с более низким процентом энергии за счет жировых продуктов, сахара и кондитерских изделий, блюд из картофеля, алкогольных напитков.

Заключение. Получены убедительные доказательства валидности ИЗП в оценке качества рационов питания населения, как по индивидуальным параметрам ИЗП, так и при оценке среднестатистических величин ИЗП по субъектам РФ. Это предполагает возможность использования валидизированного цифрового показателя ИЗП и компонентов его конструкции для исследования взаимосвязи характера питания и состояния здоровья населения по статистическим региональным показателям заболеваемости и смертности от хронических инфекционных заболеваний.

Ключевые слова: индекс здорового питания; региональная оценка; взрослое население; фактическое питание; потребление критически значимых нутриентов; потребление пищевых продуктов

Dietary intake assessment involves management of dozen parameters related to energy and nutrient intake. The number of parameters increase significantly when it is necessary to assess dietary intake of foods, food groups and its combinations, cooking methods of complex recipe dishes, other dietary factors. Tools known as Diet Quality Indices (DQI) and a specific subgroup – Indices of healthy diet (IHD) have been proposed for the aggregated assessment of dietary factors diversities. These indices provide a quantitative measure of dietary intake in accordance with established principles and guidelines for

healthy eating (the R-IHD developed by us in the original publications was incorrectly translated into English as HEI).

The aim of this study was to validate the application of the integrated Russian Index of healthy diet (R-IHD) in the assessment of regional features of diet of the population in the Russian Federation.

Material and methods. Microdata on the actual consumption of nutrients and major food groups by the adult population have been used. These data were obtained from a cross-sectional dietary survey of 45,000 households conducted by Rosstat in all constituent entities of the Russian Federation in 2023 using the 24-hour recall method. The data processing and statistical analysis were performed using IBM SPSS Statistics v.20.0 (USA), which utilized a specially developed algorithm for digital transformations of a set of dietary intake microdata for multi-level analysis of nutrient and food group consumption and to update the design of the R-IHD.

Results. A quintile distribution of individual R-IHD scores among respondents in Federal Districts (FDs) of the Russian Federation showed that the highest percentage of R-IHD scores are valid for quintiles 4–5 in the Ural, Southern, and North Caucasus FDs. The same time, in the Northwestern, Siberian, and Far Eastern FDs, the highest shares of R-IHD are accumulated in the lowest 1–2 quintiles of R-IHD scores. Statistical analysis of dietary patterns across R-IHD quintiles of the entire adult sample showed that daily energy intake is significantly lower in the 5th quintile compared to the 1st one. Distribution of the individual food and nutrient intake by quintile have different attributes. The intake of cereals, dairy products, fish and seafood, vegetables, and fruits by adults is significantly higher in the 5th R-IHD quintile when calculated per 1000 kcal, while in absolute values the intake (g/day) of cereals, fish and seafood doesn't change. At the same time, consumption of meat and poultry, sausages, total fat, saturated fatty acids, cholesterol, added sugar and salt is significantly lower in the 5th quintile of the R-IHD regardless the calculation method. The 1st and 10th distribution deciles of the average regional R-IHD values were selected to analyze the regional patterns in the relationship between diet and R-IHD. Each deciles contains eight regions with the lowest or highest average R-IHD scores. The analysis results in these groups for most food items are consistent with the analysis of the distribution of individual R-IHD scores by quintile, though differences were also identified. The dietary content of cereals, meat and poultry, vegetables and fruits is significantly higher in the regions with high R-IHD scores, while the content of all critical nutrients (% of energy) is significantly lower than in regions with low average R-IHD scores. However, in the regions with high average R-IHD scores, dairy products' content in milk equivalents is lower than in the regions with low R-IHD scores. R-IHD high scores both in the 5th quintile of the individual R-IHD distribution and in the regional distribution are associated with a higher proportion (%) of energy coming from cereals, vegetables, legumes, fruits, first courses, the same time with lower percentage of energy coming from fats, sugar and confectionery, potato dishes, alcoholic beverages.

Conclusion. Convincing evidence has been identified for the validity of R-IHD in the assessment of the diet quality working both with the individual R-IHD parameters and the average regions R-IHD values. This suggests the potential for using a validated digital R-IHD score and its components to investigate the relationship between dietary patterns and population health, using statistical regional indicators of morbidity and mortality from chronic non-communicable diseases.

Keywords: index of healthy diet; regional assessment; adult population; dietary intake; critically important nutrients; food item intake

Фактическое питание населения планеты связано с природно-климатическими, эколого-гигиеническими, социально-экономическими и другими особенностями региона проживания и страны [1–4]. Факторы разнообразия окружающей природной и социальной среды в большой степени присущи и популяции Российской Федерации. Разнородность природно-климатических зон – от Арктической зоны до субтропических районов, национальное многообразие населения России с присущими культурно-этническими и религиозными особенностями кухни народов – порождает серьезные трудности в исследовании взаимосвязи характера питания и состояния здоровья.

Оценка фактического питания связана с необходимостью оперировать десятками параметров только по

химическому составу пищи, т.е. по потреблению нутриентов и энергетической ценности. Число параметров возрастает многократно при анализе потребления отдельных пищевых продуктов и их комбинаций. Спектр потребления пищевых продуктов и блюд характеризуется гораздо большей гетерогенностью, чем потребление пищевых веществ.

Для преодоления трудностей оценки качества рациона питания были предложены инструменты, называемые индексами качества питания, и как отдельная группа – индексы здорового питания (ИЗП). ИЗП впервые разработаны в США [5, 6], затем в Австралии [7–9], Франции, Китае и других странах [10–13]. На момент подготовки статьи в литературе имеются сведения о существовании 25 модификаций ИЗП [14].

ИЗП представляют собой количественную меру «здорового» питания и известны под различными названиями: индексы качества (рациона) питания (DQI, Diet quality index), ИЗП (HEI, Healthy eating index) и др. Все индексы качества питания отражают оценку не только адекватных положительных и поощряемых сторон питания, но и неблагоприятных алиментарных факторов риска хронических неинфекционных заболеваний (ХНИЗ).

Большинство индексов качества питания оценивают рационы питания в сравнении с существующими национальными или международными рекомендациями по здоровому питанию для населения, т.е. являются ИЗП.

На основании данных о фактическом питании населения России нами разработан и апробирован универсальный ИЗП, отражающий условно положительные и отрицательные грани рациона питания населения [15]. В конструкцию ИЗП включены 5 индикаторов, характеризующих адекватность потребления основных групп пищевых продуктов, определяющих качество рациона питания, потребление которых поощряется. С другой стороны, в состав ИЗП включены также 5 индикаторов, являющихся факторами риска НИЗ, потребление которых следует ограничивать. Были проведены исследования по валидации ИЗП, характеризующие его достоверность и надежность в отображении гендерных и возрастных различий питания, а также модификаций рациона питания [16]. Чувствительность разработанного ИЗП к изменениям характера питания предполагает возможность его применения в качестве маркера особенностей характера питания социально-демографических групп населения.

Цель настоящего исследования – валидизация применения интегрального ИЗП для оценки региональных особенностей фактического питания взрослого населения Российской Федерации.

Материал и методы

Использованы данные о фактическом потреблении пищевых веществ, энергии и основных групп пищевых продуктов, полученных при кросс-секционном (поперечном) обследовании питания членов 45 тыс. домохозяйств, проведенного Росстатом во всех субъектах РФ в 2023 г. Основные методологические и организационные аспекты выборочного обследования рациона питания изложены в статистическом сборнике и на сайте Росстата^{1, 2}. Фактическое потребление пищи у всех членов обследованных домохозяйств изучали методом 24-часового воспроизведения питания [17, 18]. Описание методологии разработки и оценки надежности и достоверности ИЗП представлены ранее [15], но кри-

терии балльной оценки компонентов – индикаторов ИЗП были актуализированы (пересчитаны) на основе данных исследования фактического питания в 2023 г. В основе нашей разработки ИЗП лежат рекомендации по рациональным нормам потребления основных групп пищевых продуктов для населения России³. Для анализа отобраны данные обследования взрослых обоего пола в возрасте 19 лет и старше.

Обработку первичного материала и статистический анализ выполняли с помощью программы IBM SPSS Statistics v.20.0 (IBM, США), в которой был специально разработан алгоритм (синтаксис) цифровых трансформаций и переформатирования набора микроданных фактического потребления пищи, что позволило провести многоуровневый анализ индивидуальных величин потребления респондентами энергии, пищевых веществ, основных групп пищевых продуктов. Распределение величин ИЗП визуально на гистограмме идеально соответствует нормальному. Статистические параметры обработки данных включали среднее и стандартное отклонение для количественных переменных с расчетом *t*-критерия Стьюдента. Различия принимали статистически значимыми при $p < 0,05$. Для всех парных сравнений критерии скорректированы при помощи поправки Бонферрони.

Результаты и обсуждение

Анализ обоснованности и пригодности применения ИЗП в определении характера питания населения регионов оценивали двумя способами. Первый заключался в статистической оценке потребления пищевых продуктов и критически значимых пищевых веществ, составляющих компоненты конструкции ИЗП, в квинтилях индивидуальных величин ИЗП всей выборки взрослого населения. Другой прием был направлен на выявление групп регионов, характеризующихся наибольшими или наименьшими средними величинами ИЗП, и оценке в этих группах фактического потребления пищевых веществ и пищевых продуктов – компонентов ИЗП.

В табл. 1 представлено распределение (%) респондентов в федеральных округах (ФО) по квинтилям индивидуальных величин ИЗП. Распределение характеризуется гетерогенностью, выявлены заметные различия распределения величин ИЗП по округам. Отмечается, что в Уральском, Южном и Северо-Кавказском ФО наибольший процент величин ИЗП включается в 4–5-й квинтили общего распределения. В то же время в Северо-Западном, Сибирском и Дальневосточном округах наибольшие доли сосредоточены в низших 1–2-м квинтилях величин ИЗП.

¹ Рацион питания населения 2013 : статистический сборник. Москва : Росстат-М ; ИИЦ «Статистика России», 2016. 220 с.

² Выборочное наблюдение рациона питания населения 2023 г. https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/food23/index.html

³ Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания: приказ Минздрава России от 19.08.2016 № 614 в ред. приказов Минздрава России от 25.10.2019 № 887, от 01.12.2020 № 1276, от 30.12.2022 № 821.

Таблица 1. Распределение респондентов в федеральных округах по квинтилям индекса здорового питания (ИЗП) общей выборки респондентов**Table 1.** Distribution of respondents in federal districts of the Russian Federation by quintiles of Russian Index of Healthy Diet (R-IHD) from the total sample of respondents

Федеральный округ Federal District	Квинтиль ИЗП / R-IHD Quintile				
	1	2	3	4	5
Центральный / Central	21,4 _a	20,9 _a	18,2 _{a, b}	20,9 _a	18,6 _{a, b}
Северо-Западный / Northwestern	23,8 _b	20,8 _a	17,2 _{a, b}	20,8 _{a, b}	17,3 _{a, c}
Приволжский / Volga	21,0 _a	20,6 _a	18,7 _a	21,9 _a	17,8 _{a, c}
Уральский / Ural	19,6 _a	19,6 _a	18,9 _{a, b}	21,9 _a	20,0 _b
Сибирский / Siberian	25,0 _{b, c}	20,6 _a	17,4 _{a, b}	20,4 _{a, b}	16,5 _{c, d}
Дальневосточный / Far Eastern	27,3 _c	21,6 _a	17,5 _{a, b}	18,8 _b	14,8 _d
Южный / Southern	20,5 _a	20,1 _a	17,3 _{a, b}	22,0 _a	20,0 _{b, e}
Северо-Кавказский / North Caucasian	11,2 _d	14,6 _b	16,6 _b	25,5 _c	32,1 _f

Примечание. Значения в одной строке, не использующие совместно один подстрочный знак, существенно отличаются при $p < 0,05$ при использовании двустороннего критерия эквивалентности для пропорции по столбцу. Критерии скорректированы для всех парных сравнений в строке каждой внутренней подтаблицы при помощи поправки Бонферрони.

Note. Mean values in the same row that do not share a subscript differ significantly at $p < 0.05$. Criteria are adjusted for all pairwise comparisons using the Bonferroni correction.

Статистические параметры ИЗП по ФО представлены в табл. 2. Во всех ФО средние величины ИЗП статистически значимо выше у женщин по сравнению с показателем для мужчин. Различия средних величин ИЗП по отдельным ФО имеют сходство с распределением ИЗП в округах по квинтильным группам: Южный, Уральский и Северо-Кавказский округа характеризуются более высокими средними величинами ИЗП по сравнению с Дальневосточным и Сибирским округами. Максимальная средняя величина ИЗП установлена для взрослого населения обоего пола в Северо-Кавказском ФО.

Поскольку население ФО характеризуется демографической и социально-экономической неоднородностью, то возникла необходимость анализа распределения величин ИЗП и его взаимосвязи с характером питания населения по субъектам (регионам) РФ. Первоначально был применен традиционный статистический анализ характера питания в квинтильных группах инди-

видуальных величин ИЗП, что позволило выявить значимую линейную зависимость параметров фактического потребления пищевых веществ и групп пищевых продуктов от величины ИЗП. Для краткости в табл. 3 показано сравнение потребления продуктов и нутриентов в 1-м и 5-м квинтилях распределения ИЗП по общей выборке, которое свидетельствует о существенных различиях потребления пищевых веществ и продуктов у респондентов с крайними квинтильными группами ИЗП. Результаты сравнения представлены как в абсолютных количествах, так и в расчете на 1000 ккал для продуктов и соли или в % от энергии для жиров, добавленного сахара, что определяется необходимостью стандартизации (контролирования) рациона по энергетической ценности и составляет одно из требований по конструированию ИЗП.

Как следует из данных табл. 3, суточное потребление энергии взрослыми значительно ниже в 5-м квинтиле

Таблица 2. Статистические параметры величин индекса здорового питания (ИЗП) взрослых в федеральных округах**Table 2.** Statistical parameters of the Russian Index of Healthy Diet (R-IHD) values for adults in the Federal Districts of the Russian Federation

Федеральный округ Federal District	Мужчины / Men			Женщины / Women		
	M	σ	n	M	σ	n
Центральный / Central	50,84 _a	9,88	7740	54,54 _{a, b}	10,24	11158
Северо-Западный / Northwestern	49,91 _b	10,01	2823	53,99 _{a, c}	10,57	4420
Приволжский / Volga	50,97 _a	9,72	5260	54,30 _a	10,11	7961
Уральский / Ural	51,29 _a	10,02	2107	55,09 _b	10,24	3350
Сибирский / Siberian	49,85 _b	10,27	3243	53,51 _{c, d}	10,51	4896
Дальневосточный / Far Eastern	48,89 _c	9,69	1980	52,88 _d	10,43	2978
Южный / Southern	51,34 _a	9,93	2941	54,97 _{b, e}	10,39	4411
Северо-Кавказский / North Caucasian	56,94 _d	10,5	2502	57,81 _f	10,29	3280

Примечание. Средние значения в одном столбце, не использующие совместно один подстрочный индекс, значимо различаются при $p < 0,05$. Критерии скорректированы для всех парных сравнений при помощи поправки Бонферрони. Средние величины ИЗП для мужчин и женщин статистически значимо ($p < 0,01$) различаются во всех федеральных округах.

Note. Mean values in the same column that do not share a subscript differ significantly at $p < 0.05$. Criteria are adjusted for all pairwise comparisons using the Bonferroni correction. Mean IPI values for men and women differ statistically significantly ($p < 0.01$) across all Federal Districts.

Таблица 3. Потребление пищевых продуктов и нутриентов у респондентов с крайними квинтильными группами индекса здорового питания (ИЗП) всей выборки**Table 3.** Food and nutrient consumption by adults in outermost quintiles of the Russian Index of Healthy Diet (R-IHD) for the entire sample

Продукт, нутриент Food, nutrient	Квинтиль ИЗП / Quintiles of R-IHD				p
	1-й / 1 st (n=15 154)		5-й / 5 th (n=13 634)		
	M	σ	M	Σ	
ИЗП / R-IHD	38,7	4,5	68,4	5,0	<0,01
Потребление энергии, ккал/сут / Total calorie intake, kcal/day	2736,2	857,0	2004,2	654,0	<0,01
Потребление продуктов (г/1000 ккал) и нутриентов (% энергии) / Food and nutrient consumption, g/1000 kcal or % of total calorie intake					
Зерновые продукты / Cereals	66,5	29,8	91,3	42,3	<0,01
Молочные продукты в пересчете на молоко / Dairy products in milk equivalent	117,4	138,3	233,0	169,6	<0,01
Мясо животных, птицы, яйца / Meat, poultry, eggs	90,2	57,6	62,3	49,8	<0,01
Колбасные изделия / Sausages	20,5	26,0	8,1	17,9	<0,01
Рыба и морепродукты / Fish and seafood	12,6	28,0	17,2	37,8	<0,01
Овощи / Vegetables	54,0	47,4	100,7	69,8	<0,01
Фрукты / Fruits	15,8	29,4	101,1	76,9	<0,01
Жиры, % энергии / Fats, % of calorie intake	45,7	7,3	31,9	7,2	<0,01
Насыщенные ЖК, % энергии / Saturated fatty acids, % of calorie intake	18,8	4,6	12,3	3,7	<0,01
Сахар добавленный, % энергии / Added sugars, % of calorie intake	14,4	7,4	12,8	7,7	<0,01
Соль, г/1000 ккал / Salt, g/1000 kcal	4,79	1,44	4,56	1,70	<0,05
Потребление, г/сут / Consumption, g/day					
Зерновые продукты / Cereals	185,0	105,3	183,9	103,9	>0,05
Молочные продукты в пересчете на молоко / Dairy products in milk equivalent	321,9	382,6	453,0	328,9	<0,01
Мясо животных, птицы, яйца / Meat, poultry, eggs	239,6	156,5	121,5	98,4	<0,01
Колбасные изделия / Sausages	57,5	74,9	16,6	36,8	<0,01
Рыба и морепродукты / Fish and seafood	34,3	75,2	32,9	69,9	>0,05
Овощи / Vegetables	144,3	121,9	193,8	129,1	<0,01
Фрукты / Fruits	44,4	80,8	195,8	146,4	<0,01
Соль добавленная / Salt	12,9	5,3	8,9	3,8	<0,01
Холестерин, мг / Cholesterol, mg	703,3	387,6	267,0	202,9	<0,01

Примечание. Здесь и в табл. 5: ЖК – жирные кислоты.

по сравнению с 1-м. Изменения потребления отдельных видов пищевых продуктов по квинтилям характеризуются различной направленностью. Так, при расчете на 1000 ккал потребление взрослыми зерновых, молочных продуктов, рыбы и морепродуктов, овощей и фруктов значительно выше в 5-м квинтиле ИЗП, тогда как в абсолютных количествах (г/сут) потребление зерновых продуктов, рыбы и морепродуктов не изменяется. В то же время потребление мяса животных и птицы, колбасных изделий значительно ниже в 5-м квинтиле при обоих способах расчета.

Зависимость структуры рациона питания от величины ИЗП в квинтильных группах индивидуального распределения не позволяет характеризовать региональные особенности питания и их взаимосвязь с региональным средним ИЗП. Многочисленность субъектов (85 в 2023 г.) делает невозможным представление и анализ данных по всем субъектам. Для выявления ассоциаций ИЗП и региональных особенностей характера питания был осуществлен отбор 8 субъектов (10%) с минимальными значениями средних величин ИЗП и 8 (10%) субъектов с максимальными значениями средних величин ИЗП, которые фактически представляют 1-й и 10-й децили распределения средних региональных величин

ИЗП. Статистические параметры региональных минимальных и максимальных средних величин ИЗП, представленные в табл. 4, свидетельствуют о значительных различиях средних величин ИЗП по отдельным регионам и в среднем по выделенным группам. В этих группах, а также в группе остальных регионов было проанализировано потребление энергии и пищевых продуктов и нутриентов, составляющих конструкцию ИЗП (табл. 5). Поскольку было выявлено снижение потребления энергии в высоких категориях ИЗП, для контроля влияния уровня энергии потребовался анализ потребления компонентов в расчете на 1000 ккал, или в % потребления суточной энергии. Результаты анализа по большинству пищевых позиций согласуются с данными, полученными при изучении распределения индивидуальных величин ИЗП по квинтилям, но выявлены также различия. Содержание в рационе зерновых продуктов, мяса животных и птицы, овощей и фруктов в расчете на 1000 ккал значительно выше в регионах с высокими значениями средних величин ИЗП. Содержание всех критически значимых нутриентов (в % энергии рациона) значительно ниже в регионах с высокими средними величинами ИЗП. Однако в таких регионах при обоих видах расчета содержание в рационах молочных продуктов ниже, чем

Таблица 4. Регионы РФ с минимальными и максимальными средними величинами индекса здорового питания (ИЗП)

Table 4. Regions of the Russian Federation with minimum and maximum average values of the Russian Index of Healthy Diet (R-IHD)

Субъект / Region	M	σ	n
Регионы с наименьшими средними величинами ИЗП / Regions with the lowest average R-IHD values			
Ивановская область / Ivanovo Oblast	50,1	9,7	703
Магаданская область / Magadan Oblast	50,2	11,2	243
Томская область / Tomsk Oblast	50,4	9,8	675
Псковская область / Pskov Oblast	49,9	10,3	487
Забайкальский край / Trans-Baikal Territory	49,6	10,3	842
Новгородская область / Novgorod Oblast	49,4	10,4	503
Костромская область / Kostroma Oblast	49,2	9,7	675
Республика Калмыкия / Republic of Kalmykia	49,4	9,4	503
Регионы с наибольшими средними величинами ИЗП / Regions with the highest average R-IHD values			
Республика Тыва / Republic of Tuva	60,5	9,3	451
Кабардино-Балкарская Республика / Kabardino-Balkarian Republic	60,4	10,8	866
Республика Дагестан / Republic of Dagestan	58,9	10,6	1874
Республика Ингушетия / Republic of Ingushetia	58,8	10,3	942
Карачаево-Черкесская Республика / Karachayevo-Chircassian Republic	58,0	9,6	531
Республика Северная Осетия – Алания / Republic of North Ossetia – Alania	57,5	10,7	618
Ямало-Ненецкий автономный округ / Yamal-Nenets Autonomous Area	57,6	10,5	554
Чеченская Республика / Chechen Republic	57,5	10,3	1521

в регионах с низкими величинами ИЗП, тогда как при анализе по квинтилям распределения индивидуальных величин ИЗП (см. табл. 3) содержание молочных продуктов выше в 5-м квинтиле ИЗП. Агрегация величин ИЗП в средние по регионам приводит к нарушению прямой зависимости от величины ИЗП уровней потребления гетерогенной группы молочных продуктов, рассчитанных на основе величин потребления разных по содержанию жира составляющих: сыров, творога, питьевого молока и кисломолочных продуктов. В состав адекватной группы продуктов в конструкции ИЗП молочные продукты входят единой величиной в пересчете на молоко, пошедшее на производство всего спектра продуктов. Однако жировой компонент молочных продуктов включается в состав ограничительной группы компонентов ИЗП самостоятельной величиной, которая существенно влияет, а точнее, снижает итоговую величину ИЗП региональной популяции.

Зависимость состава рациона питания от величин ИЗП показана также при анализе потребления нутриентов, не входящих в конструкцию ИЗП (табл. 6). Для контроля влияния уровня энергии потребление витаминов и минеральных веществ рассчитано на 1000 ккал, а белка – в процентах от суточной энергетической ценности рациона. Потребление белка значительно выше в группах с более высокими величинами ИЗП. Потребление всех витаминов, за исключением ретинола и суммарного витамина А, а также всех минеральных веществ (кроме Na) выше в субъектах с более высокими величинами ИЗП. Таким образом, продемонстрирована более высокая нутриентная плотность рациона питания на единицу энергетической ценности при повышении ИЗП. Более низкое потребление при всех способах расчета витамина А суммарного и в виде ретинола при анализе

квинтильного распределения индивидуальных величин ИЗП связано с низким потреблением жира и жиросодержащих животных продуктов в 5-м квинтиле ИЗП.

Взаимосвязь ИЗП и структуры рациона питания подтверждена при анализе вклада групп продуктов и блюд, непосредственно потребляемых респондентами (меню рациона питания), в общее потребление суточной энергии (табл. 7). Следует подчеркнуть, что продукты и блюда в таком виде не входят в конструкцию ИЗП, которая включает массу отдельных продуктов, полученных при декомпозиции сложных рецептурных блюд. Высокие величины ИЗП как в 5-м квинтиле выборки, так и в регионах с высокими средними величинами связаны с большей долей энергии рациона за счет зерновых продуктов, овощей, блюд из бобовых, фруктов, первых обеденных блюд, но с более низким процентом энергии за счет жировых продуктов, сахара и кондитерских изделий, блюд из картофеля, алкогольных напитков. В отношении доли молочных и мясных продуктов в энергии суточного рациона получены различные по направленности результаты при анализе по квинтилям ИЗП общей выборки и по субъектам с различным уровнем среднего ИЗП.

ИЗП отражает сложность пищевых рационов больших групп населения как гетерогенной смеси с разнообразными комбинациями отдельных компонентов, включенных в конструкцию ИЗП. Все 10 компонентов разработанного нами ИЗП вносят самостоятельный (по замыслу – равномерный) вклад в суммарный показатель индекса, отражающего качество рациона питания. Достижение высокого балла по одному компоненту не обязательно обеспечивает высокий суммарный балл. Более того, следует особо подчеркнуть, что продуктовые компоненты индекса несут в себе не только адекватные

Таблица 5. Потребление пищевых веществ и продуктов – компонентов индекса здорового питания (ИЗП) взрослыми в регионах РФ с низкими и высокими средними величинами индекса здорового питания

Table 5. Consumption of nutrients and food items of the components of the Russian Index of Healthy Diet (R-IHD) by adults in regions of the Russian Federation with low and high average Index of Healthy Diet values

Продукт, нутриент <i>Food item, nutrient</i>	Субъекты с различными средними ИЗП / <i>Regions with different average R-IHD</i>					
	низкий ИЗП / <i>low R-IHD</i> (n=3662)		высокий ИЗП / <i>high R-IHD</i> (n=5290)		другие области / <i>other regions</i> (n=62 098)	
	<i>M</i>	<i>σ</i>	<i>M</i>	<i>σ</i>	<i>M</i>	<i>σ</i>
ИЗП / <i>R-IHD</i>	49,3 _a	10,0	58,4 _b	10,5	52,7 _c	10,6
Потребление энергии, ккал/сут / <i>Total calorie intake, kcal/day</i>	2807,0 _a	831,8	2229,0 _b	761,9	2400,2 _c	822,8
Потребление продуктов (г/1000 ккал) и нутриентов (% энергии) / <i>Food and nutrient consumption, g/1000 kcal or % of total calorie intake</i>						
Зерновые продукты / <i>Cereals</i>	75,7 _a	32,4	94,0 _b	41,4	77,4 _c	37,0
Молочные продукты в пересчете на молоко <i>Dairy products in milk equivalent</i>	173,1 _a	145,8	151,0 _b	149,3	179,5 _a	163,0
Мясо животных, птицы, яйца / <i>Meat, poultry, eggs</i>	67,3 _a	45,9	82,4 _b	56,4	75,0 _c	53,4
Колбасные изделия / <i>Sausages</i>	16,2 _a	22,6	6,2 _b	16,7	14,6 _c	23,0
Рыба и морепродукты / <i>Fish and seafood</i>	14,2 _a	28,7	9,0 _b	28,5	14,9 _a	32,4
Овощи / <i>Vegetables</i>	66,2 _a	50,6	85,3 _b	64,3	76,5 _c	61,9
Фрукты / <i>Fruits</i>	41,4 _a	54,9	70,3 _b	68,5	51,3 _c	62,6
Жиры, % энергии / <i>Fats, % of calorie intake</i>	40,9 _a	8,3	35,6 _b	8,9	39,3 _c	9,0
Насыщенные ЖК, % энергии <i>Saturated fatty acids, % of calorie intake</i>	16,7 _a	4,8	14,7 _b	5,2	15,6 _c	4,9
Сахар добавленный, % энергии <i>Added sugars, % of calorie intake</i>	14,6 _a	7,4	14,3 _{a,b}	8,1	14,0 _b	7,8
Соль, г/1000 ккал / <i>Salt, g/1000 kcal</i>	4,4 _a	1,4	4,3 _b	1,5	4,7 _c	1,6
Потребление г/сут / <i>Consumption g/day</i>						
Зерновые продукты / <i>Cereals</i>	212,1 _a	107,3	204,6 _b	103,8	186,1 _c	108,4
Молочные продукты в пересчете на молоко <i>Dairy products in milk equivalent</i>	476,5 _a	408,4	342,7 _b	368,9	412,7 _c	373,0
Мясо животных, птицы, яйца / <i>Meat, poultry, eggs</i>	188,4 _a	135,7	182,8 _{a,b}	135,4	179,3 _b	137,8
Колбасные изделия / <i>Sausages</i>	46,6 _a	66,3	14,5 _b	38,6	36,8 _c	59,2
Рыба и морепродукты / <i>Fish and seafood</i>	39,0 _a	77,3	20,0 _b	61,7	34,6 _c	73,9
Овощи / <i>Vegetables</i>	180,3 _a	133,8	180,1 _a	131,8	174,0 _b	132,2
Фрукты / <i>Fruits</i>	109,8 _a	138,7	153,1 _b	149,2	115,7 _c	135,8
Соль / <i>Salt</i>	12,3 _a	4,9	9,3 _b	3,9	11,1 _c	4,9
Холестерин, мг / <i>Cholesterol, mg</i>	560,3 _a	381,8	419,6 _b	340,6	489,2 _c	367,8

Примечание. Здесь и в табл. 6, 7: средние значения в одной строке, не использующие совместно один подстрочный индекс, значимо различаются при $p < 0,05$. Критерии скорректированы для всех парных сравнений при помощи поправки Бонферрони.

Note. Here and in tables 6, 7: mean values in the same row that do not share a subscript are significantly different at $p < 0.05$. Tests were adjusted for all pairwise comparisons using the Bonferroni correction.

(положительные, поощряемые в потреблении) пищевые ингредиенты, но одновременно и компоненты, рекомендуемые к ограниченному потреблению. Так, мясные и молочные продукты, наряду с белком, витаминами, минеральными веществами и другими незаменимыми нутриентами, содержат жиры, насыщенные жирные кислоты, холестерин, которые включены в расчет ИЗП как компоненты с обратным расчетом баллов, т.е. снижающие значение интегрального ИЗП.

Российская Федерация и другие большие страны представляют собой совокупность множества национальных и культурных групп населения, что приводит к разнообразию моделей питания и пищевого поведения [19–21]. Все эти модели питания черпают ключевые компоненты качества питания из основных групп продуктов, таких как овощи, фрукты, зерновые продукты, молочные и мясные продукты. ИЗП нашей раз-

работки тесно связан с рекомендациями по рациональному потреблению основных групп пищевых продуктов для населения России и, следовательно, может не учесть в полной мере все многообразные комбинации пищевых продуктов и блюд. Это было показано на примере неоднозначных изменений потребления мясных и молочных продуктов по квинтилям ИЗП и в децильных группах с низкими и высокими региональными средними величинами ИЗП. Потребление критически значимых пищевых веществ: общих и насыщенных жиров, добавленного сахара, поваренной соли и холестерина – значительно ниже в 5-м квинтиле распределения ИЗП и в региональных группах с высокими средними значениями ИЗП. Это логически вытекает из конструкции ИЗП, в которой названные пищевые факторы включаются в балльную систему с обратным отсчетом баллов, т.е. чем ниже уровень потребления,

Таблица 6. Потребление белка, витаминов и минеральных веществ в зависимости от категории индекса здорового питания (ИЗП)

Table 6. Consumption of protein, vitamins and mineral elements depending on the category of Russian Index of Healthy Diet (R-IHD)

Нутриенты / Nutrients	Квинтиль ИЗП / Quintile of R-IHD				Регионы с различными средними ИЗП / Regions with different average R-IHD					
	1-й / 1 st		5-й / 5 th		низкий ИЗП low R-IHD		высокий ИЗП high R-IHD		другие регионы other regions	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
Белок, % энергии Protein, % of calorie intake	13,3 _a	3,5	14,7 _b	3,9	13,0 _a	3,1	13,9 _b	3,6	13,9 _b	3,6
Потребление на 1000 ккал / Consumption per 1000 kcal										
Витамины / Vitamins										
Ретинол, мкг Retinol, μg	385,4 _a	1191,7	209,3 _b	896,5	305,5 _a	882,2	307,3 _a	1247,5	316,1 _a	1078,9
β-Каротин, мкг β-Carotene, μg	855,1 _a	919,3	1608,3 _b	1980,8	1030,3 _a	1073,4	1350,9 _b	1497,6	1193,3 _c	1388,9
A, мкг рет. экв. / μg RE	456,6 _a	1198,1	343,4 _b	914,4	391,3 _a	888,8	419,9 _a	1257,5	415,5 _a	1088,3
B ₁ , мг / mg	0,48 _a	0,19	0,51 _b	0,15	0,47 _a	0,15	0,45 _b	0,14	0,50 _c	0,17
B ₂ , мг / mg	0,61 _a	0,36	0,66 _b	0,34	0,61 _a	0,32	0,59 _b	0,34	0,64 _c	0,35
PP, мг / mg	6,3 _a	3,0	7,1 _b	2,9	6,0 _a	2,6	6,9 _b	2,7	6,6 _c	2,8
C, мг / mg	21,0 _a	20,1	49,4 _b	42,1	30,3 _a	31,4	37,8 _b	32,8	34,1 _c	32,2
Минеральные вещества / Minerals										
Na, мг / mg	2215,1 _a	746,7	2123,9 _b	815,3	2086,1 _a	672,0	1997,9 _b	730,3	2182,1 _c	774,6
K, мг / mg	1022,5 _a	310,7	1473,5 _b	417,4	1135,8 _a	341,2	1226,2 _b	358,2	1226,5 _b	391,6
Ca, мг / mg	257,9 _a	123,4	383,6 _b	144,8	313,1 _a	128,5	294,8 _b	129,8	323,1 _c	143,2
P, мг / mg	498,4 _a	119,5	597,0 _b	145,5	517,0 _a	118,7	520,6 _a	125,3	546,4 _b	136,5
Fe, мг / mg	7,0 _a	3,1	7,9 _b	3,2	7,1 _a	2,9	7,3 _b	4,2	7,4 _b	2,9
Mg, мг / mg	115,4 _a	34,9	164,3 _b	48,8	127,2 _a	39,2	141,1 _b	38,4	137,4 _c	44,6
Потребление в день / Consumption per day										
Белок, г / Protein, g	91,0 _a	34,9	72,5 _b	26,1	91,3 _a	32,9	77,2 _b	31,2	82,9 _c	33,0
Витамины / Vitamins										
Ретинол, мкг Retinol, μg	996,4 _a	2906,7	404,2 _b	1644,9	868,7 _a	2541,3	695,2 _b	2670,9	747,3 _b	2481,3
β-Каротин, мкг β-Carotene, μg	2268,2 _a	2450,0	3079,3 _b	3264,7	2796,5 _{a,b}	2872,1	2838,4 _a	2981,5	2701,1 _b	2868,3
A, мкг рет. экв. / μg RE	1185,4 _a	2925,8	660,8 _b	1674,8	1101,7 _a	2559,9	931,7 _b	2694,1	972,3 _b	2505,0
B ₁ , мг / mg	1,30 _a	0,67	1,01 _b	0,41	1,32 _a	0,57	0,99 _b	0,45	1,18 _c	0,58
B ₂ , мг / mg	1,61 _a	0,99	1,28 _b	0,71	1,69 _a	0,99	1,29 _b	0,83	1,48 _c	0,91
PP, мг / mg	17,1 _a	9,1	13,8 _b	6,3	16,7 _a	8,4	15,0 _b	7,2	15,6 _c	8,0
C, мг / mg	56,3 _a	53,3	95,3 _b	77,0	81,7 _a	81,1	81,3 _a	67,2	77,3 _b	68,4
Минеральные вещества / Minerals										
Na, мг / mg	5994,5 _a	2619,8	4150,7 _b	1835,0	5797,3 _a	2399,6	4364,8 _b	1981,9	5151,2 _c	2376,6
K, мг / mg	2741,3 _a	1053,0	2867,3 _b	1012,2	3104,6 _a	1092,7	2662,3 _b	996,9	2838,1 _c	1068,6
Ca, мг / mg	698,8 _a	388,0	747,5 _b	320,3	861,4 _a	403,0	655,8 _b	366,4	749,6 _c	369,4
P, мг / mg	1344,1 _a	477,2	1164,9 _b	384,9	1428,6 _a	475,5	1146,0 _b	436,2	1279,1 _c	459,6
Fe, мг / mg	18,8 _a	9,5	15,4 _b	7,2	19,6 _a	9,5	16,0 _b	9,1	17,3 _c	8,3
Mg, мг / mg	311,8 _a	128,0	320,1 _b	118,0	349,4 _a	131,9	308,2 _b	119,0	319,9 _c	129,1

тем выше баллы, включаемые в итоговую величину ИЗП. Противоречивые данные по потреблению молочных и мясных продуктов в зависимости от типирования категории ИЗП не являются артефактом, а вытекают из взаимосвязанности и зависимости компонентов конструкции ИЗП, которые могут влиять на формирование итоговой балльной оценки индекса. Результаты снижения потребления мясopодуKтов в 5-м квинтиле ИЗП не соответствуют логике конструкции ИЗП, так как мясopодуKты включены в структуру ИЗП как показатель адекватности питания. Однако следует иметь в виду, что мясные и молочные продукты одновременно несут

в себе значительное количество жиров и холестерина, которые занижают суммарные баллы ИЗП. Образно говоря, жировые компоненты мясных продуктов и изделий компрометируют адекватность мясных продуктов как, несомненно, необходимых в питании.

Заключение

Получены убедительные доказательства валидности ИЗП в оценке качества рационов питания населения, как по индивидуальным параметрам ИЗП, так и при

Таблица 7. Вклад (%) групп продуктов и блюд в потребление взрослыми энергии по категориям индекса здорового питания (ИЗП)

Table 7. Contribution (%) of food groups and dishes to energy consumption by Russian Index of Healthy Diet (R-IHD) categories

Группа продуктов, блюд <i>Group of food and dishes</i>	Квintиль ИЗП <i>Quintile of R-IHD</i>				Регионы с различными средними ИЗП / <i>Regions with different average R-IHD</i>					
	1-й / 1 st		5-й / 5 th		низкий ИЗП <i>low R-IHD</i>		высокий ИЗП <i>high R-IHD</i>		другие регионы <i>other regions</i>	
	<i>M</i>	<i>σ</i>	<i>M</i>	<i>σ</i>	<i>M</i>	<i>Σ</i>	<i>M</i>	<i>σ</i>	<i>M</i>	<i>σ</i>
Молокопродукты / <i>Dairy foods</i>	7,5 _a	8,8	12,4 _b	10,0	10,5 _a	9,0	9,6 _b	10,3	10,2 _a	9,7
Яйца и блюда из яиц / <i>Egg dishes</i>	5,3 _a	6,9	1,0 _b	3,3	3,0 _a	5,0	2,3 _b	5,2	3,1 _a	5,8
Мясопродукты / <i>Meat products and dishes</i>	24,5 _a	14,7	16,7 _b	13,4	19,1 _a	12,4	19,8 _a	14,1	20,8 _b	14,5
Рыба, морепродукты / <i>Fish and seafood dishes</i>	2,7 _a	5,9	3,1 _b	6,8	2,8 _a	5,9	1,8 _b	5,7	3,0 _a	6,4
Масла, жиры / <i>Fat and oils (on the table)</i>	8,3 _a	8,8	2,4 _b	5,0	7,8 _a	7,7	3,6 _b	6,0	5,2 _c	7,3
Зерновые / <i>Cereals</i>	26,1 _a	12,3	32,7 _b	14,5	29,2 _a	12,7 ₁	31,7 _b	14,4	29,1 _a	13,7
Бобовые, орехи / <i>Legumes, nuts</i>	0,75 _a	3,49	0,74 _a	3,74	0,72 _a	3,26	1,14 _b	4,33	0,79 _a	3,73
Овощи / <i>Vegetables</i>	2,1 _a	3,7	4,6 _b	5,5	3,0 _a	4,0	3,6 _b	4,6	3,4 _c	4,9
Картофель / <i>Potatoes</i>	4,0 _a	6,1	2,7 _b	5,4	3,6 _a	5,5	2,8 _b	6,1	3,5 _a	6,0
Фрукты / <i>Fruits</i>	1,9 _a	3,3	8,8 _b	7,4	3,7 _a	5,0	6,8 _b	6,8	4,8 _c	5,9
Сахар, кондитерские изделия / <i>Sugar, confectionery</i>	10,9 _a	9,2	7,3 _b	8,0	11,0 _a	8,2	10,0 _b	9,2	9,3 _c	8,8
Напитки немолочные, кофе, чай <i>Non-dairy drinks, coffee, tea</i>	1,31 _a	2,41	1,34 _a	2,43	1,00 _a	1,98	1,64 _b	2,48	1,33 _c	2,51
Алкогольные напитки / <i>Alcoholic drinks</i>	0,65 _a	2,54	0,49 _b	3,06	0,58 _a	2,79	0,11 _b	1,05	0,64 _a	3,00
Первые блюда / <i>First courses</i>	3,36 _a	3,38	4,80 _b	4,56	3,56 _a	3,31	4,03 _b	4,95	4,08 _b	3,97

оценке среднестатистических величин ИЗП по субъектам РФ. Это предполагает перспективу применения валидизированного цифрового показателя ИЗП и компонентов его конструкции для исследования взаимосвязи характера питания и состояния здоровья населения по статистическим региональным показателям заболеваемости и смертности от ХНИЗ. Результаты

настоящего исследования и мировой опыт эпидемиологических исследований взаимосвязи питания и распространенности ХНИЗ с использованием индексов качества питания [22–24] дает основание для применения в эпидемиологических исследованиях отечественных национально ориентированных фактических данных и инструментов в виде ИЗП.

Сведения об авторах

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация):

Мартинчик Арсений Николаевич (*Arseniy N. Martinchik*) – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории демографии и эпидемиологии питания

E-mail: amartin@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5200-7907>

Батурин Александр Константинович (*Alexander K. Baturin*) – доктор медицинских наук, профессор, руководитель направления «Оптимальное питание»

E-mail: baturin@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7007-621X>

Кудрявцева Ксения Владимировна (*Ksenya V. Kudryavtseva*) – младший научный сотрудник лаборатории демографии и эпидемиологии питания

E-mail: kudryavceva@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4066-3410>

Мартинчик Эвелина Арсеньевна (*Eveline A. Martinchik*) – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ

E-mail: evamart@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0000-9835-2597>

Никитюк Дмитрий Борисович (*Dmitry B. Nikityuk*) – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор

E-mail: dimitrynik@mail.ru

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

Тутельян Виктор Александрович (*Victor A. Tutelyan*) – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель

E-mail: tutelyan@ion.ru

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

Литература

- McCullough M.L., Chantaprasopsuk S., Islami F., Rees-Punia E., Um C.Y., Wang Y. et al. Association of socioeconomic and geographic factors with diet quality in US adults // *JAMA Netw. Open.* 2022. Vol. 5, N 6. Article ID e2216406. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.16406>
- Althoff T., Nilforoshan H., Hua J., Leskovec J. Large-scale diet tracking data reveal disparate associations between food environment and diet // *Nat. Commun.* 2022. Vol. 13, N 1. P. 267. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27522-y>
- Miller V., Webb P., Cudhea F., Shi P., Zhang J., Reedy J. et al. Global dietary quality in 185 countries from 1990 to 2018 shows wide differences by nation, age, education, and urbanicity // *Nat. Food.* 2022. Vol. 3, N 9. P. 694–702. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00594-9>
- Tao Y., Maddock J., Howe L., Winpenny E.M. Early adulthood socioeconomic trajectories contribute to inequalities in adult diet quality, independent of childhood and adulthood socioeconomic position // *J. Epidemiol. Community Health.* 2025. Vol. 79, N 2. P. 87–93. DOI: <https://doi.org/10.1136/jech-2024-222472>
- Kennedy E.T., Ohls J., Carlson S. The Healthy Eating Index: design and applications // *J. Am. Diet. Assoc.* 1995. Vol. 95. P. 1103–1108. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(95)00300-2)
- Kant A.K., Schatzkin A., Graubard B.I., Schairer C. A prospective study of diet quality and mortality in women // *JAMA.* 2000. Vol. 283. P. 2109–2115. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.283.16.2109>
- McNaughton S.A., Ball K., Crawford D., Mishra G.D. An index of diet and eating patterns is a valid measure of diet quality in an Australian population // *J. Nutr.* 2008. Vol. 138. P. 86–93. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/138.1.86>
- Collins C.E., Young A.F., Hodge A. Diet quality is associated with higher nutrient intake and self-rated health in mid-aged women // *J. Am. Coll. Nutr.* 2008. Vol. 27. P. 146–157. DOI: <https://doi.org/10.1080/07315724.2008.10719686>
- Zarrin R., Ibiebele T.I., Marks G.C. Development and validity assessment of a diet quality index for Australians // *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 2013. Vol. 22, N 2. P. 177–187. DOI: <https://doi.org/10.6133/APJCN.2013.22.15>
- Verger E.O., Mariotti F., Holmes B.A., Paineau D., Huneau J.F. Evaluation of a diet quality index based on the probability of adequate nutrient intake (PAN Diet) using national French and US dietary surveys // *PLoS One.* 2012. Vol. 7, N 8. Article ID e42155. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042155>
- Kaluza J., Hakansson N., Brzozowska A., Wolk A. Diet quality and mortality: a population-based prospective study of men // *Eur. J. Clin. Nutr.* 2009. Vol. 63. P. 451–457. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602968>
- Thiele S., Mensink G.B., Beitz R. Determinants of diet quality // *Public Health Nutr.* 2004. Vol. 7. P. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.1079/phn2003516>
- Drake I., Gullberg B., Sonestedt E., Wallstrom P., Persson M., Hlebowicz J. et al. Scoring models of a diet quality index and the predictive capability of mortality in a population-based cohort of Swedish men and women // *Public Health Nutr.* 2013. Vol. 16, N 3. P. 468–478. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1368980012002789>
- Santana C.A., Dias-Santos J., Santana-Silva C., de Sousa Rocha V., Freire A.R.S., Pires L.V. Dietary quality analysis methods for the type 2 diabetes mellitus population: a scoping review // *J. Hum. Nutr. Diet.* 2025. Vol. 38, N 2. Article ID e70050. DOI: <https://doi.org/10.1111/jhn.70050>
- Мартинчик А.Н., Батурин А.К., Михайлов Н.А., Кешабянц Э.Э., Камбаров А.О. Разработка и оценка достоверности базового индекса здорового питания населения России // *Вопросы питания.* 2019. Т. 88, № 6. С. 34–44. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10062>
- Мартинчик А.Н., Михайлов Н.А., Кешабянц Э.Э., Кудрявцева К.В. Оценка информативности и достоверности индекса здорового питания для характеристики структуры питания и пищевого поведения // *Вопросы питания.* 2021. Т. 90, № 5. С. 77–86. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-77-86>
- Мартинчик А.Н. Методы изучения фактического потребления пищи. Глава 13 // *Нутрициология. Основы питания человека.* Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2024. С. 225–251. ISBN: 978-5-9704-8379-4.
- Никитюк Д.Б., Мартинчик А.Н., Батурин А.К., Сафронова А.М., Баева В.С., Кешабянц Э.Э. и др. Способ оценки индивидуального потребления пищи методом 24-часового (суточного) воспроизведения питания : методические рекомендации. 2016 [Электронный ресурс]. URL: [http://web.ion.ru/files/Casau L.T., De Carli E., de Carvalho A.M., Lotufo P.A., Moreno L.A., Bensenor I.M. et al. Development and validation of an index based on EAT-Lancet recommendations: the Planetary Health Diet Index // *Nutrients.* 2021. Vol. 13, N 5. P. 1698. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13051698>](http://web.ion.ru/files/Casau L.T., De Carli E., de Carvalho A.M., Lotufo P.A., Moreno L.A., Bensenor I.M. et al. Development and validation of an index based on EAT-Lancet recommendations: the Planetary Health Diet Index // Nutrients. 2021. Vol. 13, N 5. P. 1698. DOI: https://doi.org/10.3390/nu13051698)
- Frankenfeld C.L. Population-specific diet quality scores in nutritional epidemiology // *J. Nutr.* 2023. Vol. 153, N 3. P. 608–609. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2023.01.004>
- Katz D.L., Rhee L.Q., Aronson D.L. Application of the Healthy Eating Index in a multicultural population: introduction of adaptive component scoring // *Front. Nutr.* 2025. Vol. 12. Article ID 1511230. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1511230>
- Boeing H. Nutritional epidemiology: new perspectives for understanding the diet-disease relationship? // *Eur. J. Clin. Nutr.* 2013. Vol. 67, N 5. P. 424–429. DOI: <https://doi.org/10.1038/ejcn.2013.47>
- Petersen K.S., Kris-Etherton P.M. Diet quality assessment and the relationship between diet quality and cardiovascular disease risk // *Nutrients.* 2021. Vol. 13, N 12. P. 4305. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13124305>
- Aljuraiban G.S., Gibson R., Oude Griep L.M., Okuda N., Steffen L.M., Van Horn L. et al. Perspective: the application of a priori diet quality scores to cardiovascular disease risk – a critical evaluation of current scoring systems // *Adv. Nutr.* 2020. Vol. 11, N 1. P. 10–24. DOI: <https://doi.org/10.1093/advances/nmz059>

References

- McCullough M.L., Chantaprasopsuk S., Islami F., Rees-Punia E., Um C.Y., Wang Y., et al. Association of socioeconomic and geographic factors with diet quality in US adults. *JAMA Netw Open.* 2022; 5 (6): e2216406. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.16406>
- Althoff T., Nilforoshan H., Hua J., Leskovec J. Large-scale diet tracking data reveal disparate associations between food environment and diet. *Nat Commun.* 2022; 13 (1): 267. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27522-y>
- Miller V., Webb P., Cudhea F., Shi P., Zhang J., Reedy J., et al. Global dietary quality in 185 countries from 1990 to 2018 shows wide differences by nation, age, education, and urbanicity. *Nat Food.* 2022; 3 (9): 694–702. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00594-9>
- Tao Y., Maddock J., Howe L., Winpenny E.M. Early adulthood socioeconomic trajectories contribute to inequalities in adult diet quality, independent of childhood and adulthood socioeconomic position. *J Epidemiol Community Health.* 2025; 79 (2): 87–93. DOI: <https://doi.org/10.1136/jech-2024-222472>
- Kennedy E.T., Ohls J., Carlson S. The Healthy Eating Index: design and applications. *J Am Diet Assoc.* 1995; 95: 1103–8. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(95)00300-2)
- Kant A.K., Schatzkin A., Graubard B.I., Schairer C. A prospective study of diet quality and mortality in women. *JAMA.* 2000; 283: 2109–15. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.283.16.2109>
- McNaughton S.A., Ball K., Crawford D., Mishra G.D. An index of diet and eating patterns is a valid measure of diet quality in an Australian population. *J Nutr.* 2008; 138: 86–93. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/138.1.86>
- Collins C.E., Young A.F., Hodge A. Diet quality is associated with higher nutrient intake and self-rated health in mid-aged women. *J Am Coll Nutr.* 2008; 27: 146–57. DOI: <https://doi.org/10.1080/07315724.2008.10719686>
- Zarrin R., Ibiebele T.I., Marks G.C. Development and validity assessment of a diet quality index for Australians. *Asia Pac J Clin Nutr.* 2013; 22 (2): 177–87. DOI: <https://doi.org/10.6133/APJCN.2013.22.15>
- Verger E.O., Mariotti F., Holmes B.A., Paineau D., Huneau J.F. Evaluation of a diet quality index based on the probability of adequate nutrient intake (PAN Diet) using national French and US dietary surveys. *PLoS One.* 2012; 7 (8): e42155. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042155>
- Kaluza J., Hakansson N., Brzozowska A., Wolk A. Diet quality and mortality: a population-based prospective study of men. *Eur J Clin Nutr.* 2009; 63: 451–7. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602968>
- Thiele S., Mensink G.B., Beitz R. Determinants of diet quality. *Public Health Nutr.* 2004; 7: 29–37. DOI: <https://doi.org/10.1079/phn2003516>
- Drake I., Gullberg B., Sonestedt E., Wallstrom P., Persson M., Hlebowicz J., et al. Scoring models of a diet quality index and the predictive

- capability of mortality in a population-based cohort of Swedish men and women. *Public Health Nutr.* 2013; 16 (3): 468–78. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1368980012002789>
14. Santana C.A., Dias-Santos J., Santana-Silva C., de Sousa Rocha V., Freire A.R.S., Pires L.V. Dietary quality analysis methods for the type 2 diabetes mellitus population: a scoping review. *J Hum Nutr Diet.* 2025; 38 (2): e70050. DOI: <https://doi.org/10.1111/jhn.70050>
15. Martinchik A.N., Baturin A.K., Mikhaylov N.A., Keshabyants E.E., Kambarov A.O. Development and assessment of the reliability of the basic healthy eating index for the Russian population. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2019; 88 (6): 34–44. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10062> (in Russian)
16. Martinchik A.N., Mikhaylov N.A., Keshabyants E.E., Kudryavtseva K.V. Assessment of the informativeness and reliability of the healthy eating index for characterizing the structure of nutrition and eating behavior. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2021; 90 (5): 77–86. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-77-86> (in Russian)
17. Martinchik A.N. Methods for studying actual food consumption. Chapter 13. In: *Nutritionology. The Basics of Human Nutrition*. Moscow: GEOTAR-Media; 2024: 225–51. ISBN: 978-5-9704-8379-4. (in Russian)
18. Nikityuk D.B., Martinchik A.N., Baturin A.K., Safronova A.M., Baeva V.S., Keshabyants E.E., et al. A method for assessing individual food intake by the method of 24-hour (daily) reproduction of nutrition. Methodological recommendations. 2016 [Electronic resource]. URL: <http://web.ion.ru/files/> (in Russian)
19. Cacao L.T., De Carli E., de Carvalho A.M., Lotufo P.A., Moreno L.A., Bensenor I.M., et al. Development and validation of an index based on EAT-Lancet recommendations: the Planetary Health Diet Index. *Nutrients.* 2021; 13 (5): 1698. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13051698>
20. Frankenfeld C.L. Population-specific diet quality scores in nutritional epidemiology. *J Nutr.* 2023; 153 (3): 608–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2023.01.004>
21. Katz D.L., Rhee L.Q., Aronson D.L. Application of the Healthy Eating Index in a multicultural population: introduction of adaptive component scoring. *Front Nutr.* 2025; 12: 1511230. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1511230>
22. Boeing H. Nutritional epidemiology: new perspectives for understanding the diet-disease relationship? *Eur J Clin Nutr.* 2013; 67 (5): 424–9. DOI: <https://doi.org/10.1038/ejcn.2013.47>
23. Petersen K.S., Kris-Etherton P.M. Diet quality assessment and the relationship between diet quality and cardiovascular disease risk. *Nutrients.* 2021; 13 (12): 4305. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13124305>
24. Aljuraiban G.S., Gibson R., Oude Griep L.M., Okuda N., Steffen L.M., Van Horn L., et al. Perspective: the application of a priori diet quality scores to cardiovascular disease risk – a critical evaluation of current scoring systems. *Adv Nutr.* 2020; 11 (1): 10–24. DOI: <https://doi.org/10.1093/advances/nmz059>

Для корреспонденции

Смирнова Елена Александровна (Elena A. Smirnova) – кандидат технических наук, заведующий лабораторией демографии и эпидемиологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
Адрес: 109240, Российская Федерация, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14
Телефон: (495) 698-53-87
E-mail: smirnova@ion.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2045-5729>

Кешабянц Э.Э.¹, Смирнова Е.А.¹, Хомич Л.М.², Эллер К.И.¹

Традиционные источники кофеина в питании российского населения: количественная оценка и социально-демографические детерминанты

Traditional dietary sources
of caffeine in Russia:
quantitative assessment
and socio-demographic
determinants

Keshabyants E.E.¹, Smirnova E.A.¹,
Khomich L.M.², Eller K.I.¹

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

² Союз производителей соков, воды и напитков (СОЮЗНАПИТКИ), 101000, г. Москва, Российская Федерация

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

² DrinksUnion, 101000, Moscow, Russian Federation

Кофеин является наиболее широко потребляемым тонизирующим веществом в мире. Несмотря на установленные международные нормы безопасного потребления, актуальность оценки поступления кофеина с рационом питания сохраняется в связи с расширением ассортимента кофеинсодержащей продукции.

Цель исследования – оценить структуру потребления продуктов – источников кофеина и связанные с ней уровни его потенциального поступления у взрослого населения РФ с учетом социально-демографических различий.

Материал и методы. Проведен ретроспективный анализ данных выборочного наблюдения рационов питания Росстата за 2023 г., где для оценки фактического питания был использован метод 24-часового воспроизведения питания. Выборка включила 72 710 респондентов старше 18 лет, стратифицированных

Финансирование. Исследование проведено в рамках темы госзадания (FGMF-2025-0010).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Смирнова Е.А., Хомич Л.М., Эллер К.И.; обработка материала и анализ полученных данных – Кешабянц Э.Э., Смирнова Е.А.; подготовка рукописи – Смирнова Е.А., Хомич Л.М.; редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Кешабянц Э.Э., Смирнова Е.А., Хомич Л.М., Эллер К.И. Традиционные источники кофеина в питании российского населения: количественная оценка и социально-демографические детерминанты // Вопросы питания. 2026. Т. 95, № 2. С. 38–48. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-38-48>

Статья поступила в редакцию 20.11.2025. Принята в печать 20.03.2026.

Funding. The study was conducted within the framework of state assignment (FGMF-2025-0010).

Conflict of interest. The authors declare no obvious or potential conflicts of interest in connection with the publication of this article.

Contribution. Study concept and design – Smirnova E.A., Khomich L.M., Eller K.I.; data processing and analysis – Keshabyants E.E., Smirnova E.A.; manuscript preparation – Smirnova E.A., Khomich L.M.. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

For citation: Keshabyants E.E., Smirnova E.A., Khomich L.M., Eller K.I. Traditional dietary sources of caffeine in Russia: quantitative assessment and socio-demographic determinants. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2026; 95 (2): 38–48. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-38-48> (in Russian)

Received 20.11.2025. Accepted 20.03.2026

по полу, возрасту и типу населенного пункта проживания. Оценку потенциального поступления кофеина с основными традиционными источниками (чай, кофе, безалкогольные тонизирующие напитки, напитки типа «Кола» и горький шоколад) проводили из расчета его среднего содержания по данным литературы (все виды чая суммарно – 25 мг/100 мл; все виды кофе суммарно – 40 мг/100 мл; безалкогольные тонизирующие напитки – 28 мг/100 мл; безалкогольные напитки типа «Кола» – 12 мг/100 мл; шоколад горький – 80 мг/100 г), а также медианных величин потребления, полученных для обследованных лиц, включавших эти продукты в рацион в день, предшествующий опросу.

Результаты. Исследование выявило статистически значимые различия в потреблении основных источников кофеина между половыми, возрастными и территориальными группами. Мужчины демонстрировали более высокое потребление чая, кофе и безалкогольных напитков ($p < 0,001$). Пик среднего душевого потребления кофе отмечен в группе лиц 30–44 лет (198 мл/сут). Выявлены территориальные различия: сельские жители потребляли больше чая (509 против 452 мл/сут у городского населения, $p < 0,001$) и меньше кофе (118 против 154 г/сут, $p < 0,001$). Общее потенциальное поступление кофеина при комбинированном употреблении нескольких источников достигало 372 мг/сут. Установлено, что наиболее распространено сочетание «чай + кофе», характерное для 27 744 респондентов, с медианным суммарным поступлением кофеина на уровне 200 мг/сут. Гендерные различия в моделях и величинах потребления соответствуют данным международных исследований. Выявлена специфика российской популяции: в отличие от стран Европы, где кофе является доминирующим источником кофеина, в России сохраняется значительная доля потребления чая, особенно в сельских регионах.

Заключение. Проведенное исследование выявило существенные различия потребления продуктов – источников кофеина в социально-демографических группах российской популяции. Ключевыми источниками кофеина для россиян остаются чай и кофе, тогда как доля населения, потребляющего безалкогольные тонизирующие напитки, остается незначительной.

Ключевые слова: кофеин; эпидемиология питания; источники кофеина; чай; кофе; безалкогольные тонизирующие напитки

Caffeine is the most widely consumed psychoactive substance in the world. Despite established international guidelines for safe intake, assessing dietary caffeine intake remains relevant due to the expanding range of caffeine-containing products on the market.

The objective of the study was to assess the structure of consumption of caffeine-containing foods and beverages and the associated levels of potential caffeine intake in the adult population of the Russian Federation, taking into account socio-demographic differences.

Material and methods. A retrospective analysis was conducted using data from the 2023 round of the Russian Federal State Statistics Service (Rosstat) dietary survey. Dietary intake was assessed using the 24-hour recall method. The sample included 72,710 respondents aged 18 years and older, stratified by sex, age, and type of settlement. Potential caffeine intake from the main sources (tea, coffee, non-alcoholic energy drinks, cola-type beverages, and dark chocolate) was estimated based on the literature data of average caffeine content [all types of tea combined – 25 mg/100 mL; all types of coffee combined – 40 mg/100 mL; energy drinks – 28 mg/100 mL; cola-type beverages – 12 mg/100 mL; dark chocolate – 80 mg/100 g], along with median consumption values calculated among individuals who reported consuming these products on the day preceding the survey.

Results. Statistically significant differences in the consumption of major caffeine sources were observed across sex, age, and settlement groups. Men demonstrated higher consumption of tea, coffee, and soft drinks ($p < 0.001$). The highest per capita coffee consumption was observed among individuals aged 30–44 years (198 mL/day). Territorial differences were identified: rural residents consumed more tea (509 vs 452 mL/day in urban population, $p < 0.001$) and less coffee (118 vs 154 mL/day, $p < 0.001$). Total potential caffeine intake reached 372 mg/day in groups consuming multiple sources. The most common consumption pattern was the combination of “tea + coffee,” observed in 27,744 respondents, with a median total caffeine intake of 200 mg/day. Gender differences in consumption patterns and amounts were consistent with findings from international studies. A specific feature of the Russian population was identified: unlike European countries, where coffee is the dominant source of caffeine, a significant share of caffeine intake in Russia comes from tea, particularly in rural regions.

Conclusion. This study revealed substantial differences in the consumption of caffeine source products across socio-demographic groups within the Russian population. Tea and coffee remain the key sources of caffeine for Russians, while the proportion of the population consuming non-alcoholic energy drinks remains negligible.

Keywords: caffeine; nutritional epidemiology; caffeine sources; tea; coffee; soft drinks; non-alcoholic tonic beverages

Кофеин, метилксантиновый алкалоид, на протяжении столетий присутствует в рационе человека и, вероятно, является наиболее широко потребляемым стимулирующим компонентом пищи. Этимология термина «кофеин» восходит к немецкому слову *kaffee* и французскому *café*, что в обоих случаях означает «кофе».

В естественных условиях кофеин синтезируется рядом растений, выступая в роли природного инсектицида. Он обнаруживается в различных концентрациях в семенах, листьях и плодах более чем 60 видов растений. Доминирующими источниками данного алкалоида в рационе человека являются напитки на основе зерен кофе [преимущественно *Coffea arabica* и *Coffea canephora (robusta)*] и листьев чая (*Camellia sinensis*). Значительное его количество содержится также в орехах колы (*Cola acuminata*), какао-бобах (*Theobroma cacao*), листьях падука парагвайского (*Ilex paraguariensis*), используемых для приготовления чая мате, и семенах гуараны (*Paullinia cupana*) [1–3]. Помимо этого, кофеин является распространенным компонентом продуктов на основе какао, таких как шоколад, входит в состав многих фармацевтических препаратов и биологически активных добавок (БАД) к пище.

Кофеин – одно из наиболее изученных пищевых веществ в контексте его влияния на физиологические функции и когнитивные способности человека [4]. Многочисленные данные свидетельствуют о его способности модулировать аффективную сферу, повышая субъективное ощущение бодрости и улучшая настроение [5–8]. Кроме того, кофеин демонстрирует устойчивое положительное влияние на ряд когнитивных доменов, включая скорость обработки информации, устойчивость внимания и время сенсомоторной реакции, что в совокупности способствует повышению умственной работоспособности [9–11]. Вместе с тем избыточное потребление кофеина может влиять на развитие нежелательных физиологических реакций, включая нарушения сна и сердечно-сосудистого реагирования, а также возникновение чувства тревожности, особенно у уязвимых групп населения [12, 13].

Необходимо отметить, что концентрация кофеина в конечном продукте, таком как кофе или чай, демонстрирует значительную вариабельность, обусловленную как технологическими факторами (метод приготовления, специфика бренда), так и биологическими особенностями сырья [14, 15]. Последние включают видовые и сортовые различия кофеин-продуцирующих растений, агроклиматические условия их выращивания, а также применяемые методы обработки и экстракции. Считается, что стандартная чашка кофе объемом 240 мл содержит в среднем 100 мг кофеина (эквивалент 42 мг кофеина в 100 мл напитка). Тем не менее при исследовании содержания кофеина в 20 различных видах кофе, приобретенных в кофейнях в США, было обнаружено, что его количество в напитках из молотого кофе варьировало от 32 до 47 мг на 100 мл [16]. Кроме того, было выявлено, что содержание кофеина в одном и том же виде кофе, приобретенном в одном и том же магазине 6 раз, варьирует в диапазоне от 54 до 95 мг в 100 мл [17].

Как показал анализ исследований вариабельности содержания кофеина в зависимости от сорта кофе и способа приготовления, для арабики экстремальные значения варьируют от 0,006 г/л (декофеинизированный кофе [17]) до 7,908 г/л (эспрессо [18]). В случае робусты диапазон концентраций в эспрессо составляет 0,150–2,581 г/л [19, 20]. Наибольшая зарегистрированная концентрация (10,303 г/л) обнаружена G. Caprioli и соавт. в эспрессо на основе смеси арабики и робусты, что указывает на потенциал купажирования для модуляции содержания кофеина [20]. При заваривании фильтр-кофе содержание кофеина может варьировать в диапазоне от 30 до 50 мг в 100 мл [21], а при экстрагировании в капсульной кофемашине диапазон составляет от 20 до 24 мг [22].

Согласно российским данным, стандартная чашка натурального растворимого сублимированного кофе объемом 200 мл может содержать от 59,1±1,7 до 114,6±2,7 мг кофеина (эквивалент от 29,6 до 57,3 мг кофеина в 100 мл напитка), такая же чашка черного байхового чая – от 26,2±1,5 до 59,6±2,4 (эквивалент от 13,1±0,8 до 29,8±1,2 мг кофеина в 100 мл), зеленого байхового чая – 43,4±1,0 (эквивалент 21,7±0,5 мг кофеина в 100 мл) [23].

В свете растущей популярности безалкогольных тонизирующих напитков (БТН) актуальной задачей становится оценка содержания кофеина в данной продуктовой категории. По данным ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», содержание кофеина в таких напитках варьирует от 20,3 до 32,2 мг в 100 мл, а в безалкогольных напитках (БН) типа «Кола» – от 9,9 до 14,0 мг в 100 мл [23].

Содержание кофеина в горьком шоколаде демонстрирует выраженную зависимость от массовой доли какао-продуктов, варьируя в диапазоне 43–86 мг в 100 г: продукты с содержанием какао 45–59% характеризуются минимальными показателями (около 43 мг/100 г), тогда как шоколад с 60–69% какао имеет пиковые значения (86 мг/100 г) [24]. При дальнейшем увеличении доли какао-компонентов до 70–85% наблюдается некоторое снижение концентрации кофеина до уровня приблизительно 80 мг/100 г, что объясняется особенностями рецептурных композиций и технологических процессов.

Какао-напитки (в том числе горячий шоколад) вносят незначительный вклад в поступление кофеина. Так, по данным B. Zoumas и соавт., исследованные образцы горячего шоколада в среднем содержали 4 мг кофеина на порцию около 150 мл, а шоколадное молоко, приготовленное из различных смесей какао-порошка и сахара, в среднем содержало 5 мг кофеина на порцию объемом 240 мл [25]; готовые смеси для приготовления напитка в домашних условиях (например, Nesquik), могут позиционироваться производителями как не содержащими кофеин [26].

Вопрос установления безопасных уровней потребления кофеина находится в ведении национальных и международных органов здравоохранения. Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов (EFSA)

установило следующие ориентиры: для здоровых взрослых – до 400 мг/сут, для беременных – до 200 мг, а для детей и подростков – из расчета 3 мг на 1 кг массы тела в сутки [27]. В США Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) рекомендует здоровым взрослым потреблять не более 400–500 мг кофеина в день [28].

В Российской Федерации регулирование содержания кофеина осуществляется преимущественно в рамках нормативных документов Евразийского экономического союза. Так, Приложение 5 к Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)¹ «Величины суточного потребления пищевых и биологически активных веществ для взрослых в составе специализированных пищевых продуктов (СПП) и БАД к пище» определяет адекватный уровень потребления для кофеина 50 мг/сут, а верхний допустимый уровень потребления – 150 мг/сут, что аналогично величинам, установленным МР 2.3.1.1915-04 «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ»². Тот же документ устанавливает предельно допустимые уровни в различных категориях продуктов, в частности для напитков, содержащих кофеин, не более 150 мг/кг, а для специализированных напитков, содержащих кофеин – не более 400 мг/кг.

Кроме того, в соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» предельный уровень содержания кофеина в тонизирующих напитках составляет 400 мг/дм³, а наличие кофеина должно быть обязательно указано в маркировке потребительской упаковки. Согласно Приложению 19 к Техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 029/2012 «Перечень вкусоароматических веществ, разрешенных для применения при производстве пищевых ароматизаторов» установлены ограничения для использования кофеина в качестве вкусоароматического вещества: молоко-содержащие продукты и их аналоги – 70 мг/кг, пищевой лед – 70 мг/кг, кондитерские изделия – 100 мг/кг, безалкогольные напитки – 150 мг/кг.

Учитывая многообразие источников кофеина в рационе россиян, выявление продуктов – основных пищевых источников кофеина – и оценка их потребления различными социально-демографическими группами населения представляются крайне актуальными.

Цель исследования – оценить структуру потребления продуктов – источников кофеина и связанные с ней

уровни его потенциального поступления у взрослого населения РФ с учетом социально-демографических различий.

Материал и методы

Анализ структуры потребления продуктов – источников кофеина выполнен на основе первичных данных выборочного наблюдения рационов питания населения Российской Федерации, проведенного Федеральной службой государственной статистики (Росстат) в 2023 г. Оценку фактического питания осуществляли методом 24-часового воспроизведения питания на индивидуальном уровне³.

В анализ были включены данные респондентов в возрасте 18 лет и старше. Общий объем общероссийской репрезентативной выборки составил 72 710 человек, включая 29 621 мужчину и 43 089 женщин. Выборка была стратифицирована по полу (мужчины/женщины), возрасту и типу населенного пункта проживания (город/село). Возрастная классификация была основана на стандартных эпидемиологических категориях Всемирной организации здравоохранения [29]: 18–29 лет (молодые взрослые); 30–44 года (средний возраст I); 45–59 лет (средний возраст II); ≥60 лет (пожилые).

Анализ потребления представлен в двух вариантах:

- 1) среднелюдовое потребление – для всей совокупности обследованных лиц;
- 2) потребление в расчете на потребителя – для респондентов, включавших соответствующий продукт в рацион в день, предшествующий обследованию.

Характеристика основной выборки представлена в табл. 1, а подвыборка для расчета на потребителя – в табл. 2.

Ассортимент анализируемых продуктов включал традиционные пищевые источники кофеина: чай (зеленый и черный в сумме), кофе (растворимый и зерновой в сумме), БТН (в том числе энергетические), БН типа «Кола» и горький шоколад⁴, а также какао-напитки. Оценку потенциального поступления кофеина с продуктами-источниками проводили на основе медианных величин их потребления (в расчете на потребителя) с использованием средних значений содержания кофеина, рассчитанных по данным литературы:

- чай – 25 мг/100 мл;
- кофе – 40 мг/100 мл;
- БТН – 28 мг/100 мл;
- БН типа «Кола» – 12 мг/100 мл;
- горький шоколад – 80 мг/100 г.

¹ Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю): утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 г. № 299.

² Методические рекомендации «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ», МР 2.3.1.1915-04, утв. руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека Г.Г. Онищенко 02.07.2004.

³ Росстат: Федеральная служба государственной статистики. Выборочное наблюдение рациона питания населения, 2023: официальный сайт. URL: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/food23/index.html (дата обращения: 21.01.2025).

⁴ ГОСТ Р 70337-2022. Шоколад. Общие технические условия. Введ. 2023-01-01. Москва: Стандартинформ, 2022. 16 с.

Таблица 1. Характеристика общей выборки

Table 1. Characteristics of the total sample

Группа Group	Возраст, годы Age, years	n	Доля в выборке, % In the sample, %
Мужчины Men	18–29	3368	11,4
	30–44	8493	28,7
	45–59	7673	25,9
	60+	10 087	34,1
Женщины Women	18–29	4152	9,6
	30–44	10 687	24,8
	45–59	10 511	24,4
	60+	17 739	41,2
Оба пола Both sexes	18–29	7520	10,3
	30–44	19 180	26,4
	45–59	18 184	25,0
	60+	27 826	38,3
Город City	Мужчины / Men	20 009	40,4
	Женщины / Women	29 569	59,6
	18–29	5805	11,7
	30–44	14 201	28,6
	45–59	11 704	23,6
	60+	17 868	36,0
Село Village	Мужчины / Men	9612	41,6
	Женщины / Women	13 520	58,4
	18–29	1715	7,4
	30–44	4979	21,5
	45–59	6480	28,0
	60+	9958	43,0

Какао-напитки в расчет потенциального поступления кофеина не включали ввиду незначительного содержания кофеина.

Для оценки суммарного потенциального поступления кофеина дополнительно были проанализированы группы респондентов, одновременно потреблявших несколько продуктов – источников кофеина.

Статистический анализ выполняли с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics v.20.0 (IBM, США). Оценку распределения непрерывных переменных проводили методом построения QQ-графиков. Для среднестатистического потребления рассчитывали средние значения (M) и стандартное отклонение (σ). Поскольку распределение всех анализируемых показателей отличалось от нормального ($p < 0,05$), для анализа в расчете на потребителя использовали медиану (Me) и межквартильный размах [$Q1$; $Q3$].

Оценку статистической значимости различий между группами сравнения проводили методами непараметрической статистики (для 2 групп – по полу и типу населенного пункта – использовали критерий Манна–Уитни, для нескольких групп применяли ранговый дисперсионный анализ Краскела–Уоллиса, для сравнения по возрастным группам дополнительно проводили апостериорный анализ с поправкой Бонферрони, в каждой строке проверяли нулевую гипотезу о том, что пары подвыборок имеют одинаковые распределения). Уровень статистической значимости различий был принят на уровне $\alpha = 0,05$.

Ограничения исследования. Оценку поступления кофеина с рационом питания проводили на основе анализа структуры потребления пищевых продуктов – традиционных источников, без учета кофеинсодержащей специализированной пищевой продукции, в том числе БАД к пище, а также жевательной резинки. Расчет медианного суточного поступления проведен на основе данных литературы о среднем содержании кофеина. Оценка потенциального суммарного поступления кофеина при сочетанном потреблении нескольких видов продуктов-источников проведена на малом числе наблюдений по сравнению с общим объемом выборки. Число потребителей БТН в выборке составило 170 человек (по возрастным группам: 18–29 лет – 95 человек, 30 лет – 44 года – 61 человек, 45–59 лет – 13 человек, 60 лет и старше – 1 человек).

Таблица 2. Характеристика выборки для расчетов на потребителя

Table 2. Characteristics of the sample for calculations per consumer, participants

Группа Group		Продукт / Product					
		все виды чая all types of tea	все виды кофе all types of coffee	БТН non-alco- holic tonic beverages	БН типа «Кола» cola-type beverages	шоколад горький dark chocolate	какао cacao
Пол / Sex	Мужчины / Men	25 997	14 576	126	673	181	619
	Женщины / Women	38 631	19 158	44	352	554	1350
	Оба пола / Both sexes	64 628	33 761	170	1025	725	1969
Возраст, годы Age, years	18–29	6437	4011	95	457	84	192
	30–44	16 683	11 641	61	387	210	452
	45–59	16 217	9979	13	147	217	446
	60+	25 291	8130	1	34	214	879
Тип населенного пункта Type of settlement	Городской / Urban	43 544	24 763	146	850	557	1320
	Сельский / Rural	21 084	8998	24	175	168	649

Здесь и в табл. 3–5: расшифровка аббревиатур дана в тексте.

Here and in tables 3–5: abbreviations are explained in the text.

Результаты

Данные табл. 3 свидетельствуют о статистически значимых различиях в моделях потребления продуктов – основных источников кофеина среди различных социально-демографических групп населения.

В структуре среднедушевого потребления ведущая роль принадлежала чаю, далее следовал кофе; вклад прочих источников кофеина оставался незначительным. Для всех показателей характерен широкий разброс значений. У мужчин зафиксированы более высокие уровни потребления чая, кофе, БТН и БН типа «Кола» ($p < 0,001$); у женщин – более высокие значения по горькому шоколаду и какао ($p < 0,001$).

Потребление чая увеличивалось с возрастом, тогда как БТН и БН типа «Кола» последовательно снижалось ($p \leq 0,05$ для попарных сравнений). Потребление кофе имело колоколообразную зависимость от возраста: максимальное потребление отмечено в возрастной категории 30–44 года, а наименьшим оно было у самой старшей группы. Наибольшие уровни потребления БТН и БН типа «Кола» приходились на младшую возрастную группу 18–29 лет. За исключением того, что у лиц старше 60 лет потребление какао было самым высоким, а горького шоколада, наоборот, самым низким, отчетливой возрастной динамики потребления этих продуктов не выявлено.

В сельской местности зафиксированы более высокие объемы потребления чая, тогда как в городской – кофе, БТН и БН типа «Кола» ($p < 0,001$); по горькому шоколаду более высокие значения также отмечены в городской популяции.

Полученные данные свидетельствуют о сложной структуре среднедушевого потребления различных источников кофеина, где каждый продукт имеет специфический характер распределения по возрастным группам.

Анализ на уровне потребителей (табл. 4) показал, что среди напитков наибольшие медианные объемы потребления зафиксированы для чая и БТН, тогда как для кофе, БН типа «Кола» и какао медианные значения были ниже.

У мужчин зафиксировано более высокое потребление чая, БН типа «Кола», темного шоколада и какао ($p < 0,001$) и даже кофе при одинаковых медианных величинах с размером потребления у женщин ($p < 0,001$), тогда как по уровню потребления БТН различия между полами отсутствовали.

В старших возрастных группах отмечены более высокие медианные объемы потребления чая, тогда как для кофе, наоборот, более низкие уровни ($p \leq 0,05$). Более высокое потребление горького шоколада характерно для молодых возрастов, а какао – в группе 60 лет и старше. БТН демонстрируют относительно стабильное медианное потребление среди потребителей в возрасте до 60 лет. Самые высокие величины потребления БН типа «Кола» отмечены среди молодых взрослых 18–29 лет (330 мл/сут), с постепенным незначительным снижением потребления в старших возрастных группах.

Таблица 3. Среднедушевое потребление продуктов – источников кофеина ($n=72$ 710)
Table 3. Per capita consumption of caffeine-containing products ($n=72$ 710)

Группа обследованных Group of subjects examined	Все виды чая, мл/сут All types of tea, ml/day		Все виды кофе, мл/сут All types of coffee, ml/day		БТН, мл/сут Non-alcoholic tonic beverages, ml/day		БН типа «Кола», мл/сут Cola-type beverages, ml/day		Шоколад горький, г/сут Dark chocolate, g/day		Какао, мл/сут Cacao, ml/day	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
Пол / Sex	Мужчины / Men	484,6	354,0	163,2	221,1	1,8	30,4	9,4	0,3	4,7	5,4	39,7
	Женщины / Women	460,4*	308,9	127,9*	180,2	0,4*	13,9	2,6*	0,5*	5,1	7,6*	46,1
	Оба пола / Both sexes	470,2	328,3	142,3	198,6	1,0	22,2	5,4	0,4	4,9	6,7	43,6
Возраст, годы Age, years	18–29	420,0	313,2	167,9	206,1	5,3	51,7	24,3	0,6	6,9	6,1	40,4
	30–44	445,9 ¹	326,3	197,7 ¹	225,5	1,3 ¹	25,9	7,6 ¹	0,5	5,1	5,7	39,2
	45–59	479,7 ^{1,2}	337,9	170,9 ²	207,9	0,3 ^{1,2}	11,9	2,8 ^{1,2}	0,5	5,3	5,8	39,7
	60+	494,4 ^{1,2,3}	324,5	78,6 ^{1,2,3}	146,2	0,01 ^{1,2}	1,2	0,4 ^{1,2,3}	0,3 ^{1,2,3}	3,8	8,2 ^{1,2,3}	49,4
Тип населенного пункта Type of settlement	Городской / Urban	452,4	319,6	153,7	201,0	1,3	25,3	6,7	0,5	5,2	6,5	42,5
	Сельский / Rural	508,6*	342,9	117,9*	191,2	0,4*	13,3	2,4*	0,3*	4,2	7,1	45,9

Примечание. Здесь и в табл. 4 и 5: * – статистически значимое ($p < 0,001$) отличие от показателя сравниваемой группы согласно критерию Манна–Уитни; надстрочным индексом обозначена возрастная группа, относительно показателя которой различия статистически значимы ($p \leq 0,05$) согласно апостериорному анализу между возрастными группами (попарные сравнения, критерий Данна с поправкой Бонферрони).

Note. Here and in tables 4 and 5: * – statistically significant ($p < 0,001$) difference from the indicator of the compared group according to the Mann–Whitney test; the superscript indicates the age group relative to the indicator of which the differences are statistically significant ($p \leq 0,05$) according to the post-hoc analysis between age groups (pairwise comparisons, Dunn's test with Bonferroni correction).

Таблица 4. Потребление продуктов – источников кофеина, в расчете на потребителя
 Table 4. Consumption of caffeine-containing products per consumer

Группа обследованных Group of subjects examined		Все виды чая, мл/сут All types of tea, ml/day (n=67 487)			Все виды кофе, мл/сут All types of coffee, ml/day (n=34 372)			БТН, мл/сут Non-alcoholic tonic beverages, ml/day (n=183)			БН типа «Кола», мл/сут Cola-type beverages, ml/day (n=1274)			Шоколад горький, г/сут Dark chocolate, g/day (n=714)			Какао, мл/сут Cacao, ml/day (n=2195)		
		Me	Q1	Q3	Me	Q1	Q3	Me	Q1	Q3	Me	Q1	Q3	Me	Q1	Q3	Me	Q1	Q3
Пол / Sex	Мужчины / Men	500	300	750	250	200	400	450	300	500	400	250	500	50	28	60	220	200	250
	Женщины / Women	450*	300	650	250*	200	350	450	300	500	250*	200	400	30*	20	50	200*	200	250
	Оба пола / Both sexes	500	300	700	250	200	400	450	300	500	300	250	500	35	20	50	200	200	250
Возраст, годы Age, years	18–29	400	250	600	250	200	400	450	300	500	330	250	500	50	30	70	200	200	250
	30–44	450 ¹	250	650	250	200	400	450	330	500	300	250	500	40 ¹	25	50	200	200	250
	45–59	500 ^{1,2}	300	700	250 ²	200	400	449	300	500	300 ¹	200	500	30 ¹	20	50	200	200	250
	60+	500 ^{1,2,3}	350	700	200 ^{1,2,3}	200	300	–	–	–	250	200	400	30 ^{1,2}	20	50	230 ^{2,3}	200	250
Тип населенного пункта Type of settlement	Городской / Urban	450	250	650	250	200	400	450	300	500	330	250	500	35	20	50	200	200	250
	Сельский / Rural	500*	350	750	250*	200	400	500	200	500	250*	200	400	35	20	50	200	200	250

В сельской местности зарегистрированы более высокие величины потребления чая, тогда как в городской – БН типа «Кола» ($p<0,001$); по остальным продуктам различия были менее выражены или отсутствовали.

На основании медианных величин потребления можно судить о размере средней суточной порции, что и послужило основой для дальнейших расчетов потенциального поступления кофеина с исследуемыми группами продуктов, результаты которых представлены в табл. 5.

Проведенный расчет демонстрирует значительную вариабельность в потенциальном поступлении кофеина из различных пищевых источников среди изучаемых социально-демографических групп. Основной вклад в поступление кофеина вносили чай и кофе; доля остальных продуктов оставалась существенно ниже.

У мужчин отмечено более высокое поступление кофеина с чаем, кофе, БН типа «Кола» и горьким шоколадом ($p<0,001$), тогда как по БТН различия между полами отсутствовали.

В старших возрастных группах поступление кофеина с чаем было выше, тогда как для кофе и БН типа «Кола» – ниже; в группе 60 лет и старше потребление БТН практически отсутствовало. Поступление кофеина с горьким шоколадом также было ниже в старших возрастных группах ($p\leq 0,05$).

В сельской местности отмечены более высокие уровни поступления кофеина с чаем, тогда как в городской – с БН типа «Кола»; по кофе медианные значения показателя в группах совпадали, однако выявлены статистически значимые различия распределений (критерий Манна–Уитни, $p<0,001$). Для БТН и горького шоколада различия между типами населенного пункта не зафиксированы.

Для получения уточненных суммарных оценок потребления кофеина из общей выборки были отобраны лица, включавшие в свой рацион сразу несколько продуктов-источников (без стратификации по группам):

- чай + кофе ($n=27\ 744$), медианные величины потребления составили для чая 400 мл, для кофе – 250 мл, что в совокупности дает поступление кофеина на уровне 200 мг/сут;
- чай + кофе + БН типа «Кола» ($n=405$), медианные величины потребления составили для чая 300 мл, для кофе – 250 мл, БН типа «Кола» – 300 мл, что соответствует 211 мг/сут кофеина;
- чай + кофе + БТН + БН типа «Кола» ($n=14$), медианные величины потребления составили для чая 400 мл, для кофе – 275 мл, БТН – 450 мл, БН типа «Кола» – 300 мл, суммарное поступление кофеина – 372 мг/сут;
- чай + кофе + БН типа «Кола» + горький шоколад ($n=6$), медианные величины потребления составили для чая 425 мл, для кофе – 200 мл, БН типа «Кола» – 300 мл, горький шоколад – 67,5 г, суммарное поступление – 276,3 мг/сут кофеина.

Для оценки доли населения, не потреблявшего продукты – источники кофеина, из общей выборки были отобраны лица, в рационе которых отсутствовали все

Таблица 5. Расчетные величины поступления кофеина с продуктами-источниками, мг/сут на потребителя

Table 5. Estimated values of caffeine intake from food sources, mg/day per consumer

Группа Group			Все виды чая All types of tea	Все виды кофе All types of coffee	БТН Non-alcoholic tonic beverages	БН типа «Кола» Cola-type beverages	Шоколад горький Dark chocolate
Пол / Sex	Мужчины / Men		125,0	100,0	126,0	48,0	40,0
	Женщины / Women		112,5*	100,0*	126,0	30,0*	24,0*
	Оба пола / Both sexes		125,0	100,0	126,0	36,0	28,0
Возраст, годы Age, years	18–29	1	100,0	100,0	126,0	39,6	40,0
	30–44	2	112,5 ¹	100,0	126,0	36,0	32,0 ¹
	45–59	3	125,0 ^{1, 2}	100,0 ²	125,7	36,0 ¹	24,0 ¹
	60+	4	125,0 ^{1, 2, 3}	80,0 ^{1, 2, 3}	–	30,0	24,0 ^{1, 2}
Тип населенного пункта Type of settlement	Городской / Urban		112,5	100,0	126,0	39,6	28,0
	Сельский / Rural		125,0*	100,0*	140,0	30,0*	27,6

рассматриваемые продукты ($n=2015$, из них 731 мужчина и 1284 женщины), что соответствует 2,8% от всех обследованных.

Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют сложную структуру потребления продуктов – источников кофеина среди взрослого населения РФ. В исследуемой популяции ведущая роль сохраняется за традиционными источниками – чаем и кофе. Их доминирование прослеживается на всех уровнях анализа: в среднелюдском потреблении, в оценке на потребителя, а также при расчете потенциального поступления кофеина. При этом вклад других продуктов, включая безалкогольные БН типа «Кола», БТН, горький шоколад и какао, остается ограниченным.

Характер распределения потребления указывает на выраженную неоднородность моделей пищевого поведения. Чай демонстрирует устойчивую связь со старшими возрастными группами и сельским населением, что может отражать более традиционный характер его потребления. Напротив, кофе, а также напитки промышленного производства (БН типа «Кола» и БТН) в большей степени ассоциированы с более молодыми возрастными группами и городской средой. Так, среднелюдское потребление кофе достигало максимальных значений в группе лиц 30–44 лет и снижалось почти в 2,5 раза в возрасте 60 лет и старше; для БН типа «Кола» и БТН различия были еще более выраженными: в старших возрастных группах их потребление снижалось до минимальных величин, вплоть до практически полного отсутствия для БТН. Аналогичная направленность зафиксирована и по типу населенного пункта: в городской популяции уровни потребления кофе, БН типа «Кола» и БТН превышали значения сельского населения ($p<0,001$), что подтверждает смещение этих источников кофеина в сторону более «молодого» и «урбанизированного» профиля.

Анализ на уровне потребителей показал, что различия касаются не только распространенности употребления,

но и размеров порций. При сопоставимых или близких медианных значениях для ряда продуктов вариативность оставалась высокой, что указывает на значительную индивидуальную неоднородность потребления. Это особенно важно в контексте оценки потенциального поступления кофеина, поскольку именно величина порции отражает вклад в итоговое потребление.

Расчетные значения поступления кофеина дополнительно подтверждают ключевую роль чая и кофе как основных детерминантов экспозиции. Даже при включении в рацион нескольких источников вклад дополнительных продуктов увеличивал суммарное поступление, но не изменял его структурного ядра.

Анализ комбинированного потребления кофеина из нескольких источников позволил получить данные о реальных паттернах потребления в популяции. Установлено, что наиболее распространенной является комбинация «чай + кофе», характерная для 39% респондентов, с медианным суммарным поступлением кофеина на уровне 200 мг/сут.

Выявлена группа из 405 человек, потребляющих комбинацию «чай + кофе + БН типа «Кола»», демонстрирующая незначительное увеличение суммарного потребления кофеина до 211 мг/сут.

Наиболее высокий уровень потребления зарегистрирован в небольшой группе (0,02%) с комбинацией источников кофеина «чай + кофе + БТН + БН типа «Кола»» – 372 мг/сут при медианном объеме потребления энергетических напитков 450 мл.

Также обнаружена малая группа потребителей, включающая в рацион горький шоколад в сочетании со всеми другими источниками кофеина. Несмотря на незначительную численность данной группы (всего 6 человек), зафиксированное суммарное потребление кофеина на уровне 276,3 мг/сут подтверждает возможный вклад шоколада в общую экспозицию.

Сравнение с международными рекомендациями показывает, что среднее потребление кофеина в изученной популяции в целом не превышает рекомендованных величин. Согласно EFSA безопасный уровень потребления кофеина для здоровых взрослых составляет

400 мг/сут [27]. В большинстве изученных групп расчетное совокупное потребление кофеина оставалось в пределах этой величины. Однако выявленная группа потребителей, одновременно употребляющих чай, кофе, БТН и БН типа «Кола» ($n=14$), демонстрирует суммарное поступление кофеина, приближающееся к установленному лимиту (372 мг/сут).

В большинстве исследований, обобщенных EFSA при разработке рекомендаций по потреблению кофеина [27], кофе был отмечен основным источником кофеина для взрослых (от 40 до 94% от общего потребления). В Ирландии и Великобритании основным источником кофеина соответственно. Одной из причин различий в уровнях потребления, помимо культурных привычек, является непостоянная концентрация кофеина в продуктах-источниках; так, его содержание в кофейных напитках зависит от технологического процесса, типа используемых кофейных зерен и способа приготовления (например, фильтр-кофе, эспрессо).

По данным американского исследования Kantar Worldpanel Enhanced Beverage Service [28], примерно 69% населения США потребляли по крайней мере 1 напиток с кофеином в день. Среднее ежедневное поступление кофеина из всех напитков у лиц старше 2 лет составило 210 мг. Потребление кофеина было самым высоким среди лиц в возрасте 50–64 лет (246 мг/сут), а самым низким – среди детей в возрасте 2–5 лет (42 мг/сут). Наибольший вклад в поступление кофеина во всех возрастных группах вносил кофе (69%), за ним следовали газированные безалкогольные напитки (15,4%), чай (8,8%) и БТН (6,3%) [30].

Согласно более раннему российскому исследованию (2014 г.) потребление кофеина с разными продуктами-источниками среди взрослых в возрасте 18–44 года составляло (мг/сут): с кофе – 136, с чаем – 185, с БТН – 4,0, с БН типа «Кола» – 8,7 мг, с шоколадом – 6,0 [31]. Сравнение данных нашего исследования с результатами, полученными в 2014 г., позволяет выявить определенные тенденции в изменении структуры потребления кофеина среди различных групп населения России. При этом необходимо учитывать фундаментальные методологические различия между исследованиями, которые могут влиять на сопоставимость результатов. В исследовании 2014 г., основанном на данных социологического исследования, был использован метод оценки частоты потребления пищи, тогда как в настоящем исследовании применен метод 24-часового воспроизведения питания. Разная природа собираемых

данных представляет собой ограничение: частотный метод оценивает привычное потребление за длительный период, в то время как 24-часовое воспроизведение фиксирует фактическое потребление за конкретный день, что может приводить к систематическим расхождениям в оценках.

Таким образом, выявлена тенденция к сохранению доминирования традиционных источников кофеина (чая и кофе) при появлении дополнительных источников. Однако, учитывая вышеуказанные методологические различия, показанные изменения в потреблении кофеина следует интерпретировать с достаточной осторожностью. Часть наблюдаемых расхождений может быть связана не только с реальным изменением пищевого поведения населения, но и с различиями в методологии оценки и данными по содержанию кофеина в пищевых продуктах.

Заключение

Потребление продуктов – источников кофеина в российской популяции характеризуется значительными вариациями в зависимости от пола, возраста и места проживания. Установлено, что основными источниками поступления кофеина в рацион взрослых остаются чай и кофе, формирующие его вклад на всех уровнях анализа – от среднелюшевого потребления до оценок на уровне потребителя. Другие продукты (БН типа «Кола», БТН и горький шоколад) вносят дополнительный, но существенно меньший вклад.

Территориальные различия подчеркивают влияние культурных и экономических факторов, с более высоким потреблением чая в сельской местности и предпочтением кофейных и безалкогольных напитков в городах. Возрастная динамика свидетельствует о пиковом потреблении кофеина в зрелом трудоспособном возрасте с тенденцией к снижению в старших возрастных группах. Эти данные отражают общие мировые тренды и имеют большое значение для разработки целевых рекомендаций по рациональному потреблению кофеина, направленных на минимизацию рисков для здоровья и формирование устойчивых здоровых привычек питания.

В контексте расширяющегося ассортимента безалкогольных напитков и их растущей популярности среди молодых взрослых, актуализируется задача систематического изучения содержания кофеина в данной продуктовой категории. Проведение таких исследований представляет значительный практический интерес для разработки научно обоснованных рекомендаций по питанию.

Сведения об авторах

Кешабянц Эвелина Эдуардовна (Evelina E. Keshabyants) – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории демографии и эпидемиологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: evk1410@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9762-2647>

Смирнова Елена Александровна (Elena A. Smirnova) – кандидат технических наук, заведующий лабораторией демографии и эпидемиологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: smirnova@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2045-5729>

Хомич Людмила Михайловна (Liudmila M. Khomich) – директор по качеству, техническому регулированию и стандартизации Союза производителей соков, воды и напитков (СОЮЗНАПИТКИ) (Москва, Российская Федерация)

E-mail: homich.souznapitki@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4312-3559>

Эллер Константин Исакович (Konstantin I. Eller) – доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории метаболизма и протеомного анализа ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: ellki42@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1046-4442>

Литература

- Бессонов В.В., Ханферьян Р.А. Кофеин в питании. Сообщение I. Поступление с питанием и регулирование // Вопросы питания. 2015. Т. 84, № 4. С. 119–127. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2015-00042>
- Planning Committee for a Workshop on Potential Health Hazards Associated with Consumption of Caffeine in Food and Dietary Supplements; Food and Nutrition Board; Board on Health Sciences Policy; Institute of Medicine. Caffeine in Food and Dietary Supplements: Examining Safety: Workshop Summary. Washington, DC : National Academies Press (US), 2014 Apr 23. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK202233/>
- Reyes C.M., Cornelis M.C. Caffeine in the diet: country-level consumption and guidelines // Nutrients. 2018. Vol. 10, N 11. Article ID 1772. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10111772>
- Безуглов Э.Н., Ачкасов Е.Е., Вахидов Т.М. Кофеин и здоровье. Москва : Спорт, 2024. 120 с. ISBN: 978-5-907601-67-3.
- Li J., Yu K., Bu F., Li P., Hao L. Exploring the impact of coffee consumption and caffeine intake on cognitive performance in older adults: a comprehensive analysis using NHANES data and gene correlation analysis // Nutr. J. 2025. Vol. 24, N 1. P. 102. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12937-025-01173-x>
- Unsal S., Sanlier N. Longitudinal effects of lifetime caffeine consumption on levels of depression, anxiety, and stress: a comprehensive review // Curr. Nutr. Rep. 2025. Vol. 1, N 14. P. 26. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13668-025-00616-5>
- Van Dam R.M., Hu F.B., Willett W.C. Coffee, caffeine, and health // N. Engl. J. Med. 2020. Vol. 383, N 4. P. 369–378. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMr1816604>
- Feng L., Du W., Wang X., Cao H., Ji Z., Li F. et al. Acute caffeine ingestion improves sport-specific and cognitive performance in elite badminton athletes // Front. Nutr. 2025. Vol. 12. Article ID 1673882. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1673882>
- Rauf M.Q., Sharma L., Essiet E., Elhassan O., Fahim R., Irem-Oko F. et al. Caffeine consumption patterns, health impacts, and media influence: a narrative review // Cureus. 2025. Vol. 17, N 6. Article ID 86215. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.86215>
- Deary I.J., Der G. Reaction time, age, and cognitive ability: longitudinal findings from age 16 to 63 years in representative population samples // Aging Neuropsychol. Cognit. 2005. Vol. 12, N 2. P. 187–215. DOI: <https://doi.org/10.1080/1382580590969235>
- Walter K. Caffeine and health // JAMA. 2022. Vol. 15, N 7. Article ID 693. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2021.21452>
- Turnbull D., Rodricks J.V., Mariano G.F., Chowdhury F. Caffeine and cardiovascular health // Regul. Toxicol. Pharmacol. 2017. Vol. 89. P. 165–185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.07.025>
- Liu C., Wang L., Zhang C., Hu Z., Tang J., Xue J. et al. Caffeine intake and anxiety: a meta-analysis // Front. Psychol. 2024. Vol. 15. Article ID 1270246. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1270246>
- Rocha P.L.A., Lima A.L.C., Saunders B., Reis C.E.G. Development of a caffeine content table for foods, drinks, medications and supplements typically consumed by the Brazilian population // Nutrients. 2022. Vol. 21, N 14. Article ID 4417. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14204417>
- McCusker R.R., Goldberger B.A., Cone E.J. Caffeine content of specialty coffees // J. Anal. Toxicol. 2003. Vol. 27, N 7. P. 520–522. DOI: <https://doi.org/10.1093/jat/27.7.520>
- Desbrow B., Hughes R., Leveritt M., Scheelings P. An examination of consumer exposure to caffeine from retail coffee outlets // Food Chem. Toxicol. 2007. Vol. 45, N 9. P. 1588–1592. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.02.020>
- Ludwig I.A., Sanchez L., Caemmerer B., Kroh L.W., De Peña M.P., Cid C. Extraction of coffee antioxidants: impact of brewing time and method // Food Res. Int. 2012. Vol. 48. P. 57–64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.02.023>
- Macheiner L., Schmidt A., Schreiner M., Mayer H.K. Green coffee infusion as a source of caffeine and chlorogenic acid // J. Food Compos. Anal. 2019. Vol. 84. Article ID 103307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103307>
- Fărcaș A.C., Socaci S.A., Bocănciu I., Pop A., Tofană M., Muste S. et al. Evaluation of biofunctional compounds content from brewed coffee // Bull. UASVM Food Sci. Technol. 2014. Vol. 71. P. 114–118. DOI: <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-fst:10474>
- Merecz A., Marusińska A., Karwowski B.T. The content of biologically active substances and antioxidant activity in coffee depending on brewing method // Pol. J. Nat. Sci. 2018. Vol. 33. P. 267–284.
- Caprioli G., Cortese M., Maggi F., Minnetti C., Odello L., Sagrafini G. et al. Quantification of caffeine, trigonelline and nicotinic acid in espresso coffee: the influence of espresso machines and coffee cultivars // Int. J. Food Sci. Nutr. 2014. Vol. 65, P. 465–469. DOI: <https://doi.org/10.3109/09637486.2013.873890>
- Нилова Л.П. Малютенкова С.М., Тверской В.Р., Мухутдинов Р.Р. Кофе: содержание кофеина и антиоксидантная активность на разных этапах экстрагирования // Вестник КрасГАУ. 2024. № 10. С. 192–199. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-10-192-199>
- Хомич Л.М., Эллер К.И., Перова И.Б., Безруков Е.В., Мусатов А.В. Исследование содержания кофеина в кофеинсодержащих безалкогольных напитках промышленного производства // Контроль качества продукции. 2024. № 1. С. 50–54.
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. Food-Data Central: Dark Chocolate (70–85% cacao solids) [Электронный ресурс]. Beltsville, Maryland: USDA, 2023. URL: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170273/nutrients> (дата обращения: 15.10.2025).
- Zoumas B., Kreiser W., Martin R. Theobromine and caffeine content of chocolate products // J. Food Sci. 2006. Vol. 45. P. 314–316. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb02603.x>
- Do NESQUIK products have any caffeine? // Official website Nesquik. URL: <https://www.goodnes.com/nesquik/faq/#:~:text=Do%20NESQUIK%20products%20have%20any,flavors%20are%2099%25%20caffeine%20free> (дата обращения: 06.11.2025).
- EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies), 2015. Scientific Opinion on the safety of caffeine // EFSA J. 2015. Vol. 13, N 5. Article ID 4102. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4102>
- U.S. Food and Drug Administration. Spilling the Beans: How Much Caffeine is Too Much? [Электронный ресурс]. FDA Consumer Update, 2018. URL: <https://www.fda.gov/consumers/consumer-updates/spilling-beans-how-much-caffeine-too-much> (дата обращения: 24.10.2025).
- WHO. Age Standardization of Rates: a New WHO Standard. Geneva : World Health Organization, 2001 (GPE Discussion Paper Series No. 31).
- Mitchell D.C., Trout M., Smith R., Teplansky R., Lieberman H.R. An update on beverage consumption patterns and caffeine intakes in a representative sample of the US population // Food Chem. Toxicol. 2025. Vol. 196. Article ID 115237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2025.115237>
- Калинин А.Я. Кофеин: друг или враг? // Компетентность. 2014. № 9–10/120–121. С. 43–51.

References

- Bessonov V.V., Khanferyan R.A. Caffeine in nutrition. Article I. Consumption with food and regulation. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition] 2015; 84 (4): 119–27. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2015-00042> (in Russian)
- Planning Committee for a Workshop on Potential Health Hazards Associated with Consumption of Caffeine in Food and Dietary Supplements; Food and Nutrition Board; Board on Health Sciences Policy; Institute of Medicine. Caffeine in Food and Dietary Supplements: Examining Safety: Workshop Summary. Washington, DC: National Academies Press (US); 2014 Apr 23. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK202233/>
- Reyes C.M., Cornelis M.C. Caffeine in the diet: country-level consumption and guidelines. *Nutrients*. 2018; 10 (11): 1772. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10111772>
- Bezuglov E.N., Achkasov E.E., Vakhidov T.M. Caffeine and health. Moscow: Sport, 2024: 120 p. ISBN: 978-5-907601-67-3. (in Russian)
- Li J., Yu K., Bu F., Li P., Hao L. Exploring the impact of coffee consumption and caffeine intake on cognitive performance in older adults: a comprehensive analysis using NHANES data and gene correlation analysis. *Nutr J*. 2025; 24 (1): 102. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12937-025-01173-x>
- Unsal S., Sanlier N. Longitudinal effects of lifetime caffeine consumption on levels of depression, anxiety, and stress: a comprehensive review. *Curr Nutr Rep*. 2025; 14 (1): 26. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13668-025-00616-5>
- Van Dam R.M., Hu F.B., Willett W.C. Coffee, caffeine, and health. *N Engl J Med*. 2020; 383 (4): 369–78. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMr1816604>
- Feng L., Du W., Wang X., Cao H., Ji Z., Li F., et al. Acute caffeine ingestion improves sport-specific and cognitive performance in elite badminton athletes. *Front Nutr*. 2025; 12: 1673882. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1673882>
- Rauf M.Q., Sharma L., Essiet E., Elhassan O., Fahim R., Irem-Oko F., et al. Caffeine consumption patterns, health impacts, and media influence: a narrative review. *Cureus*. 2025; 17 (6): e86215. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.86215>
- Deary, I.J., Der G. Reaction time, age, and cognitive ability: longitudinal findings from age 16 to 63 years in representative population samples. *Aging Neuropsychol Cognit*. 2005; 12 (2): 187–215. DOI: <https://doi.org/10.1080/13825580590969235>
- Walter K. Caffeine and Health. *JAMA*. 2022; 15: 327 (7): 693. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2021.21452>
- Turnbull D., Rodricks J.V., Mariano G.F., Chowdhury F., Caffeine and cardiovascular health, *Regul Toxicol Pharmacol*. 2017; 89: 165–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.07.025>
- Liu C., Wang L., Zhang C., Hu Z., Tang J., Xue J., et al. Caffeine intake and anxiety: a meta-analysis. *Front Psychol*. 2024. 15: 1270246. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1270246>
- Rocha P.L.A., Lima A.L.C., Saunders B., Reis C.E.G. Development of a caffeine content table for foods, drinks, medications and supplements typically consumed by the Brazilian population. *Nutrients*. 2022; 21: 14 (20): 4417. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14204417>
- McCusker R.R., Goldberger B.A., Cone E.J. Caffeine content of specialty coffees. *J Anal Toxicol*. 2003; 27 (7): 520–2. DOI: <https://doi.org/10.1093/jat/27.7.520>
- Desbrow B., Hughes R., Leveritt M., Scheelings P. An examination of consumer exposure to caffeine from retail coffee outlets. *Food Chem Toxicol*. 2007; 45 (9): 1588–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.02.020>
- Ludwig I.A., Sanchez L., Caemmerer B., Kroh L.W., De Peña M.P., Cid C. Extraction of coffee antioxidants: impact of brewing time and method. *Food Res Int*. 2012; 48: 57–64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.02.023>
- Macheiner L., Schmidt A., Schreiner M., Mayer H.K. Green coffee infusion as a source of caffeine and chlorogenic acid. *J Food Compos Anal*. 2019; 84: 103307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103307>
- Fărcaș A.C., Socaci S.A., Bocănciu I., Pop A., Tofană M., Muste S. Evaluation of biofunctional compounds content from brewed coffee. *Bull UASVM Food Sci Technol*. 2014; 71: 114–8. DOI: <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-fst.10474>
- Merecz A., Marusińska A., Karwowski B.T. The content of biologically active substances and antioxidant activity in coffee depending on brewing method. *Pol J Nat Sci*. 2018; 33: 267–84.
- Caprioli G., Cortese M., Maggi F., Minnetti C., Odello L., Sagrafini G., et al. Quantification of caffeine, trigonelline and nicotinic acid in espresso coffee: the influence of espresso machines and coffee cultivars. *Int J Food Sci Nutr*. 2014; 65: 465–9. DOI: <https://doi.org/10.3109/09637486.2013.873890>
- Nilova L.P., Malyutenkova S.M., Tverskoy V.R., Mukhutdinov R.R. Coffee: caffeine content and antioxidant activity at different stages of extraction. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasSAU]. 2024; (10): 192–9. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-10-192-199> (in Russian)
- Khomich L.M., Eller K.I., Perova I.B., Bezrukov E.V., Musatov A.V. Study of caffeine content in industrially produced caffeine-containing soft drinks. *Kontrol' kachestva produktsii* [Production Quality Control]. 2024; (1): 50–4. (in Russian)
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. FoodData Central: Dark Chocolate (70–85% cacao solids). Beltsville, Maryland: USDA, 2023. URL: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170273/nutrients> (date of access October 15, 2025).
- Zoumas B., Kreiser W., Martin R. Theobromine and caffeine content of chocolate products. *J Food Sci*. 2006; 45: 314–6. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb02603.x>
- Do NESQUIK products have any caffeine? In: Official website Nesquik. URL: <https://www.goodnes.com/nesquik/faq/#:~:text=Do%20NESQUIK%20products%20have%20any,flavors%20are%2099%25%20caffeine%20free> (date of access November 06, 2025).
- EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies), 2015. Scientific Opinion on the safety of caffeine. *EFSA J*. 2015; 13 (5): 4102. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4102>
- U.S. Food and Drug Administration. Spilling the Beans: How Much Caffeine is Too Much FDA Consumer Update. 2018 [Electronic resource]. URL: <https://www.fda.gov/consumers/consumer-updates/spilling-beans-how-much-caffeine-too-much> (date of access October 24, 2025).
- WHO. Age standardization of rates: a new WHO standard. Geneva: World Health Organization, 2001 (GPE Discussion Paper Series No. 31).
- Mitchell D.C., Trout M., Smith R., Teplansky R., Lieberman H.R. An update on beverage consumption patterns and caffeine intakes in a representative sample of the US population. *Food Chem Toxicol*. 2025; 196: 115237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2025.115237>
- Kalinin A.Ya. Caffeine: friend or foe? *Kompetentnost'* [Competence]. 2014; (9–10/120–121): 43–51. (in Russian)

Для корреспонденции

Борисенков Михаил Федорович (Mikhail F. Borisenkov) – доктор биологических наук, старший научный сотрудник отдела молекулярной иммунологии и биотехнологии ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
Адрес: 167982, Российская Федерация, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 50
Телефон: (8212) 24-00-85
E-mail: borisenkov@physiol.komisc.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4310-2010>

Борисенков М.Ф.¹, Попов С.В.¹, Смирнов В.В.¹, Цэрнэ Т.А.¹, Бакутова Л.А.¹, Дорогина О.И.², Печеркина А.А.², Сыманюк Э.Э.²

Асинхронные ассоциированные с возрастом и полом изменения связи между пищевым поведением и индексом массы тела

Asynchronous age- and sex-associated changes in relationship between eating behavior and body mass index

Borisenkov M.F.¹, Popov S.V.¹, Smirnov V.V.¹, Tserne T.A.¹, Bakutova L.A.¹, Dorogina O.I.², Pecherkina A.A.², Symanyuk E.E.²

¹ Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», 167982, г. Сыктывкар, Российская Федерация

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 620002, г. Екатеринбург, Российская Федерация

¹ Institute of Physiology of Komi Science Centre, Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, 167982, Syktyvkar, Russian Federation

² Ural Institute of Humanities, Ural Federal University, 620002, Ekaterinburg, Russian Federation

Пищевое поведение, связанное с переизбытком, является ключевым фактором риска развития ожирения. Возрастные и половые различия в связи между пищевым поведением и риском ожирения изучены недостаточно.

Цель данного исследования – изучение влияния возраста и пола на взаимосвязь между пищевым поведением и индексом массы тела (ИМТ).

Материал и методы. Каждый участник перекрестного исследования (n=2315, возраст – 30,3±20,7 года, диапазон – 15–95 лет, женщины – 77,7%) предоставил личные данные (пол, возраст, рост и масса тела) и заполнил 2 анкеты: Голландский опросник пищевого поведения, с помощью которого оценивали ограничительное (ОГР), экстернальное (ЭКС) и эмоциональное (ЭМО) пищевое поведение, а также Йельскую шкалу пищевой зависимости, с помощью которой

Финансирование. Исследование проведено в рамках госзадания по теме НИР ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН FUUU-2022-0066 (№ 1021051201895-9).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Борисенков М.Ф., Попов С.В., Дорогина О.И., Печеркина А.А., Сыманюк Э.Э.; сбор и обработка материала – Борисенков М.Ф., Смирнов В.В., Цэрнэ Т.А., Бакутова Л.А., Дорогина О.И.; статистическая обработка – Борисенков М.Ф., Цэрнэ Т.А., Дорогина О.И.; написание текста – Борисенков М.Ф.; редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Благодарности. Авторы искренне признательны профессору Эшли Герхард (Мичиганский университет, США) за любезно предоставленный алгоритм обработки анкет YFAS/YFAS-C.

Для цитирования: Борисенков М.Ф., Попов С.В., Смирнов В.В., Цэрнэ Т.А., Бакутова Л.А., Дорогина О.И., Печеркина А.А., Сыманюк Э.Э. Асинхронные ассоциированные с возрастом и полом изменения связи между пищевым поведением и индексом массы тела // Вопросы питания. 2026. Т. 95, № 2. С. 49–59. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-49-59>

Статья поступила в редакцию 09.02.2026. Принята в печать 23.03.2026.

оценивали пищевую зависимость (ПЗ). Для оценки связи между показателями использовали ковариационный и множественный регрессионный анализ.

Результаты. С увеличением возраста с 15 до 95 лет средние значения ИМТ ($p < 0,0001$) и частота выявления избыточной массы тела и ожирения (с 9,3 до 69,8%, $p < 0,0001$) повышались, в то время как частота выявления ПЗ (с 13,1 до 5,1%, $p < 0,0001$) и средние значения ОГР, ЭМО и ЭКС ($p < 0,0001$) снижались. Антропометрические признаки избыточной массы тела и ожирения были более выражены у мужчин ($p < 0,0001$), в то время как показатели, характеризующие пищевое поведение, за исключением ЭКС, были более выражены у женщин ($p < 0,0001$). В возрастной группе 15–29 лет предикторами ИМТ были ОГР ($\beta = 0,35$), ЭМО ($\beta = 0,16$) и ПЗ ($\beta = 0,21$). У лиц в возрасте 30–49 лет предиктором ИМТ было ЭМО ($\beta = 0,35$), а в 50–69 лет – ПЗ ($\beta = 0,15$), ОГР ($\beta = 0,16$) и ЭКС ($\beta = 0,17$). Не отмечено достоверной связи между пищевым поведением и ИМТ у людей старше 70 лет. У женщин предикторами ИМТ были ОГР ($\beta = 0,23$), ЭМО ($\beta = 0,11$) и ПЗ ($\beta = 0,13$), а у мужчин – ОГР ($\beta = 0,33$) и ПЗ ($\beta = 0,14$).

Заключение. В период от подросткового до пожилого возраста наблюдается неуклонный рост частоты выявления избыточной массы тела и ожирения, более выраженный у мужчин, и снижение частоты выявления нарушений пищевого поведения, более выраженное у женщин. Возраст и пол участников исследования оказывают существенное влияние на взаимосвязь между пищевым поведением и ИМТ.

Ключевые слова: индекс массы тела; пищевое поведение; возраст; пол; избыточная масса тела; ожирение

Eating behavior associated with overeating constitutes a key risk factor for obesity. Age- and sex-associated changes in the relationship between eating behavior and obesity are poorly understood.

The aim of the present study was to investigate the age and sex effect in the relationship between eating behavior and body mass index (BMI).

Material and methods. Each participant of cross-sectional study ($n = 2315$, age – 30.3 ± 20.7 , range – 15–95 years, females – 77.7%) provided personal data (sex, age, height, and weight) and completed two questionnaires: the Dutch Eating Behavior Questionnaire, which assessed restrained (RES), external (EXT), and emotional (EMO) eating behavior; and the Yale Food Addiction Scale, which assessed food addiction (FA). Analysis of covariance and multiple regression analysis were used to assess the association between the indicators.

Results. As age increased from 15 to 95 years, the average BMI values ($p < 0.0001$) and the frequency of detection of overweight and obesity increased (from 9.3 to 69.8%, $p < 0.0001$), while the frequency of detection of FA (from 13.1 to 5.1%, $p < 0.0001$), and average values of RES, EMO, and EXT ($p < 0.0001$) decreased. Anthropometric signs of overweight and obesity were more pronounced in males ($p < 0.0001$), while signs characterizing eating behavior, with the exception of EXT, were more pronounced in females ($p < 0.0001$). In the age group 15–29 years the predictors of BMI were RES ($\beta = 0.35$), EMO ($\beta = 0.16$), and FA ($\beta = 0.21$), in the 30–49-year-olds – EMO ($\beta = 0.35$), and in the 50–69-year-olds – FA ($\beta = 0.15$), RES ($\beta = 0.16$) and EXT ($\beta = 0.17$). There were no associations between eating behavior and BMI in people older than 70 years. In females, the predictors of BMI were RES ($\beta = 0.23$), EMO ($\beta = 0.11$), and FA ($\beta = 0.13$), and in males, RES ($\beta = 0.33$) and FA ($\beta = 0.14$).

Conclusion. From adolescence to old age, there is a steady increase in the risk of overweight and obesity, more pronounced in men, and a decrease in the incidence of eating abnormalities, more pronounced in women. The age and sex of study participants have a significant impact on the relationship between eating behavior and body mass index.

Keywords: body mass index; eating behavior; age; sex; overweight; obesity

Funding. The study was conducted within the framework of the state assignment on the topic of research of the Institute of Physiology of Komi Science Centre, Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, FUUU-2022-0066 (No. 1021051201895-9).

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

Contribution. The concept and design of the study – Borisenkov M.F., Popov S.V., Pecherkina A.A., Symanyuk E.E.; data collection – Borisenkov M.F., Smirnov V.V., Tserne T.A., Bakutova L.A., Dorogina O.I.; data analysis – Borisenkov M.F., Tserne T.A., Dorogina O.I.; writing the manuscript – Borisenkov M.F.; editing and approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

Acknowledgments. The authors are sincerely grateful to Professor Ashley Gerhard (University of Michigan, USA) for kindly providing the YFAS/YFAS-C questionnaire processing algorithm.

For citation: Borisenkov M.F., Popov S.V., Smirnov V.V., Tserne T.A., Bakutova L.A., Dorogina O.I., Pecherkina A.A., Symanyuk E.E. Asynchronous age- and sex-associated changes in relationship between eating behavior and body mass index. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2026; 95 (2): 49–59. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-49-59> (in Russian)

Received 09.02.2026. **Accepted** 23.03.2026.

Ожирение является одной из основных проблем общественного здравоохранения во многих странах [1], будучи фактором риска развития многих хронических заболеваний [1, 2]. Ожирение имеет многофакторную природу. В настоящее время активно изучают экологические, социальные и генетические факторы, способствующие повышению риска ожирения [1].

Вклад различных нарушений пищевого поведения в риск развития ожирения также очень высок. Эмоциональное пищевое поведение (ЭМО), т.е. переедание в ответ на негативные эмоции, депрессию и стресс [3], является одним из наиболее распространенных нарушений пищевого поведения. Лица с ЭМО, как правило, потребляют высококалорийную пищу [3]. Экстернальное пищевое поведение (ЭКС) – «это прием пищи в ответ на стимулы, связанные с пищей, независимо от внутреннего состояния голода или сытости» [4]. Хотя ЭКС часто сочетается с ЭМО [5], между этими нарушениями пищевого поведения имеются различия: ЭМО значительно чаще встречается у людей с ожирением [3], в то время как ЭКС встречается с одинаковой частотой как у людей с ожирением, так и у лиц с нормальной массой тела [6]. Ограничительное пищевое поведение (ОГР) (т.е. хроническое соблюдение диеты) [5] часто не приводит к снижению массы тела и даже может оказывать противоположное действие, приводя в определенных ситуациях к формированию состояния повторяющихся циклов ограничения в еде и переедания [7] и к увеличению массы тела [7]. Недавно предложенная концепция пищевой зависимости (ПЗ) [8] основана на предположении, что в некоторых случаях модель потребления определенных продуктов имеет черты, схожие с наркотической зависимостью. Продукты с высоким содержанием жиров и сахара, высокой калорийностью и повышенной вкусовой привлекательностью [9] могут вызывать изменения на поведенческом (толерантность, синдром отмены и потеря контроля) [10] и физиологическом (активация дофаминового пути вознаграждения) [8] уровнях, что приводит к формированию ПЗ.

В настоящее время накоплены обширные экспериментальные данные о взаимосвязи между пищевым поведением и индексом массы тела (ИМТ). В большинстве исследований выявлена значимая положительная ассоциация между ЭМО и ИМТ [6, 11–13]. Получены противоречивые данные о взаимосвязи между ОГР и риском ожирения. В ряде исследований выявлена положительная взаимосвязь [6, 12], в то время как в других [5, 14] не обнаружена значимая взаимозависимость между этими показателями. Отмеченная в ранних исследованиях [15] связь между ЭКС и ИМТ в большинстве более поздних исследований [6, 12, 14, 16] не подтвердилась. Противоречивые данные получены о взаимосвязи между ПЗ и ИМТ: в ряде исследований отмечена положительная ассоциация между показателями [17, 18], однако в некоторых исследованиях [19, 20] такой корреляции не выявлено.

Одной из возможных причин противоречивых данных о зависимости между пищевым поведением и ИМТ является то, что в исследованиях не учитывали влияние воз-

раста и пола на корреляцию между пищевым поведением и риском ожирения. В то же время накопленные в настоящее время обрывочные сведения указывают на то, что возраст и пол могут оказывать существенное влияние на эту ассоциацию. Было показано, что ОГР вносит наиболее значительный вклад в риск ожирения в детском и подростковом возрасте [21], и эта возрастная динамика в большей степени проявляется у лиц женского пола [22]. У молодых взрослых не отмечено связи между ПЗ и ИМТ [12, 19, 20], в то же время корреляция между ЭМО и ИМТ в этой возрастной группе наблюдалась [16]. В доступной литературе нами не обнаружено сведений о возрастной динамике и половых различиях связи между ЭКС и ИМТ.

Целью данного исследования была проверка 2 гипотез: (а) связь между пищевым поведением и ИМТ в разных возрастных группах различается; (б) связь между пищевым поведением и ИМТ зависит от пола.

Материал и методы

Дизайн и участники исследования

В поперечном исследовании, проведенном в 2019–2025 гг., приняли добровольное и анонимное участие лица, проживающие в Сыктывкаре, Екатеринбурге и в Свердловской области. Информацию об исследовании распространяли школьные психологи и преподаватели университетов. Все участники, за исключением школьников, заполняли анкеты дома; школьники заполняли анкеты в классе в присутствии школьного психолога. Размер выборки соответствовал стандарту для моделей множественной линейной регрессии – не менее 30 участников для каждой переменной в модели [23].

Критерии включения: лица в возрасте 15–95 лет, подписавшие информированное согласие (для участия в исследовании подростков дополнительно получали согласие их родителей).

Критерии исключения: лица с психическими расстройствами, расстройствами пищевого поведения, нарушениями обмена веществ, беременные и кормящие матери.

Всего было собрано 2722 анкеты, из них 407 (15%) содержали ошибки или пропуски и поэтому были исключены из анализа. Итоговая база данных включала 2315 анкет. Средний возраст участников исследования составил ($M \pm \sigma$) $30,3 \pm 20,7$ года, диапазон – 15–95 лет, женщины – 77,7%. Данное исследование было одобрено Этическим комитетом Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (26 марта 2019 г.). От всех участников исследования было получено информированное согласие. Кроме того, письменное информированное согласие было получено от родителей школьников.

Инструменты

Каждый участник исследования заполнил электронную анкету, в которой предоставил личные данные,

а также заполнил Йельскую шкалу пищевой зависимости для взрослых (YFAS) [24] или для детей (YFAS-C) [25] и Голландский опросник пищевого поведения (DEBQ) [4].

Личные данные. Каждый участник предоставил свои персональные данные (пол, возраст, рост и массу тела). Рост и массу тела использовали для расчета ИМТ ($\text{кг}/\text{м}^2$). Процентили ИМТ (ИМТ%), скорректированные с учетом пола и возраста, определяли с использованием диаграмм роста ИМТ [26]. В соответствии с критериями Всемирной организации здравоохранения [26] были выделены 4 категории ИМТ (ИМТк): (а) недостаточная масса тела (ИМТ% ниже 5%), (б) нормальная масса тела (ИМТ% от 5 до 84,9%), (в) избыточная масса тела (ИМТ% от 85 до 94,9%) и (г) ожирение (ИМТ% выше 95%). Была рассчитана доля участников (в %) в каждой из 4 групп. Также была рассчитана частота выявления избыточной массы тела/ожирения (ov/ob – overweight/obesity), равная сумме показателей в группах (в) и (г).

Йельская шкала пищевой зависимости для взрослых (YFAS) и детей (YFAS-C). В данном исследовании для оценки ПЗ использовали 2 инструмента, переведенные на русский язык [17, 20]: YFAS [24] для взрослых и адаптированная версия YFAS-C для детей [25]. Результаты, полученные с помощью обоих инструментов, обрабатывали одинаково. Алгоритм обработки результатов анкетирования любезно предоставлен автором анкет. Инструменты позволяют получить количественную и качественную оценку ПЗ. В качестве количественной оценки используют сумму подтвержденных симптомов (количество симптомов пищевой зависимости, КСПЗ), варьирующую в диапазоне от 0 до 7. Для качественной оценки используют дихотомический индикатор: (а) группа с ПЗ включает респондентов, имеющих 3 симптома или более и значительные клинические расстройства или дистресс, и (б) группа без ПЗ включает всех остальных респондентов. Коэффициент альфа Кронбаха (α) для YFAS и YFAS-C составил соответственно 0,90 и 0,88.

Голландский опросник пищевого поведения (DEBQ). Для оценки пищевого поведения использовали опросник DEBQ [4], переведенный на русский язык и валидированный (DEBQ-Rus) [27]. Опросник состоит из 33 утверждений и включает 3 подшкалы, оценивающие 3 типа пищевого поведения: ОГР, ЭКС и ЭМО. Подшкалы ОГР и ЭКС содержат по 10, а ЭМО – 13 утверждений. На все вопросы даются ответы по шкале Лайкерта от 1 – «редко» до 5 – «очень часто», за исключением вопроса 21, для которого используется обратная шкала. Затем баллы суммируют отдельно для каждой подшкалы и делят на общее количество пунктов в этой подшкале для получения среднего балла по подшкале. Коэффициент альфа Кронбаха для ОГР, ЭКС и ЭМО составил 0,92; 0,52 и 0,94 соответственно.

Статистический анализ

Статистический анализ данных проводили с использованием пакета статистических программ SPSS 20

(IBM, США). Непрерывные переменные представлены в виде средних значений и стандартных отклонений. Категориальные переменные выражены в процентах. Для анализа связи между непараметрическими переменными использовали критерий хи-квадрат (χ^2). Величину размера эффекта устанавливали с помощью критерия Крамера V (ϕ), его значения интерпретировали следующим образом: 0,1–0,3 – слабая, 0,3–0,5 – умеренная, более 0,5 – сильная взаимосвязь [28]. Для оценки связи между непрерывными переменными использовали однофакторный ковариационный анализ (ANCOVA). ANCOVA проводили с использованием ИМТ%, КСПЗ, ОГР, ЭКС и ЭМО в качестве зависимых переменных, а возраст и пол – в качестве независимых переменных. Эта-квадрат (η^2) использовали в качестве меры величины эффекта. Малые, средние и большие эффекты соответствовали значениям η^2 , равным 0,0099, 0,0588 и 0,1379 соответственно [29]. Взаимосвязи между количественными переменными также оценивали с помощью множественного линейного регрессионного анализа. В моделях в качестве зависимой переменной использовали ИМТ%, а в качестве независимых переменных – КСПЗ, ОГР, ЭКС и ЭМО, скорректированные по возрасту и полу. Были рассчитаны нестандартизированные (B) и стандартизированные (β) коэффициенты регрессии, общая дисперсия (R^2) и доля дисперсии, объясняемая отдельными предикторами (ΔR^2) в моделях. В окончательные модели были включены только значимые переменные, которые определялись с помощью метода пошагового включения. Мультиколлинеарность оценивали с помощью коэффициента инфляции дисперсии (VIF), и предиктор удаляли из модели при достижении критического значения ($VIF > 5$).

Результаты

В исследовании приняли участие люди в возрасте от 15 до 95 лет (табл. 1). Большинство участников исследования (77,7%) были женщинами. Ov/ob были отмечены у 23,6% респондентов. ПЗ была отмечена у 11,2% участников исследования (табл. 2).

Возрастные изменения и половые отличия антропометрических показателей и пищевого поведения

Отмечены достоверные возрастные изменения и половые отличия изученных нами антропометрических показателей (табл. 3). Минимальная частота выявления лиц с ov/ob (9,3%) была отмечена в возрастной группе 15–29 лет, а максимальная – у лиц в возрасте 50 лет и старше (69,8–71,1%) ($p < 0,0001$, $\phi = 0,588$). Параллельно с этим наблюдалось значительное увеличение ИМТ% ($p < 0,0001$, $\eta^2 = 0,336$). У мужчин ov/ob выявлялась на 9,3% чаще, чем у женщин ($p < 0,0001$, $\phi = 0,091$, табл. 4). Значение ИМТ% также было достоверно выше у мужчин, чем у женщин ($p < 0,0001$, $\eta^2 = 0,011$).

Таблица 1. Характеристики количественных переменных

Table 1. Quantitative variables characteristics

Переменная / Variable	Инструмент / Instrument	Сокращение / Abbreviation	M	σ
Возраст, годы / Age, years	–	–	30,29	20,65
Индекс массы тела, процентиля Body mass index, percentiles	–	ИМТ% BMI%	54,45	27,03
Количество симптомов пищевого поведения, баллы Symptom counts of food addiction, scores	YFAS/YFAS-C	КСПЗ SC	2,39	1,56
Ограничительное пищевое поведение, баллы Restrained eating, scores	DEBQ	ОГР RES	2,26	0,94
Экстернальное пищевое поведение, баллы External eating, scores	DEBQ	ЭКС EXT	2,91	0,60
Эмоциональное пищевое поведение, баллы Emotional eating, scores	DEBQ	ЭМО EMO	2,01	0,87

В исследованной нами группе была отмечена взаимосвязь между пищевым поведением, возрастом и полом. Максимальные значения ПЗ, КСПЗ, ОГР, ЭКС и ЭМО были отмечены в возрастной группе 15–29 лет (см. табл. 3). С возрастом наблюдалось достоверное снижение частоты выявления ПЗ ($p < 0,0001$, $\varphi = 0,105$), а также более низкие значения КСПЗ ($p < 0,00001$, $\eta^2 = 0,021$), ОГР ($p < 0,0001$, $\eta^2 = 0,010$), ЭКС ($p < 0,00001$, $\eta^2 = 0,051$) и ЭМО ($p < 0,0001$, $\eta^2 = 0,024$). У женщин частота выявления ПЗ почти вдвое выше ($p < 0,001$, $\varphi = 0,074$), а значение КСПЗ на 0,2 балла выше ($p < 0,008$, $\eta^2 = 0,003$), чем у мужчин (см. табл. 4). Количество баллов по шкалам ОГР ($p < 0,00001$, $\eta^2 = 0,052$) и ЭМО ($p = 0,0001$, $\eta^2 = 0,020$) у женщин также значительно выше, чем у мужчин. Половых отличий по шкале ЭКС не наблюдалось ($p > 0,05$).

Возрастные изменения и половые отличия взаимосвязи между пищевым поведением и индексом массы тела

По данным множественного регрессионного анализа (табл. 5), во всей группе участников исследования значимая взаимосвязь была обнаружена между ИМТ%, ОГР и ЭМО (модели 1–2). В возрастной группе 15–29 лет значимая взаимосвязь была обнаружена между ИМТ%,

КСПЗ, ОГР и ЭМО (модели 3–5). В возрастной группе 30–49 лет значимая взаимосвязь была обнаружена между ИМТ% и ЭМО (модель 6). В возрастной группе 50–69 лет значимая взаимосвязь была обнаружена между ИМТ%, КСПЗ, ОГР и ЭКС (модели 7–9). У лиц в возрасте 70 лет и старше значимой взаимосвязи между ИМТ% и пищевым поведением не обнаружено (данные не показаны).

У женщин была обнаружена достоверная связь между ИМТ%, ОГР, ЭМО и КСПЗ (модели 10–12, см. табл. 5). У мужчин была обнаружена достоверная связь между ИМТ, ОГР и КСПЗ (модели 13–14).

Обсуждение

Возрастные изменения и половые отличия антропометрических показателей и пищевого поведения

Исследование выявило достоверные возрастные изменения и половые отличия антропометрических показателей и пищевого поведения. С возрастом наблюдается значительное увеличение частоты выявления ов/об: минимальные значения показателя были отмечены у подростков, а максимальные – в возраст-

Таблица 2. Характеристики качественных переменных

Table 2. Qualitative variables characteristics

Переменная Variable	Сокращение Abbreviation	Категория Category	Коды Codes	n	%
Все / All	–	–	–	2315	100
Пол Sex	–	Женщины / Females	1	1799	77,7
		Мужчины / Males	2	516	22,3
Индекс массы тела Body mass index	ИМТ _к BMI _к	Недостаточная масса тела / Underweight	1	136	5,9
		Нормальная масса тела / Normal weight	2	1634	70,5
		Избыточная масса тела / Overweight	3	312	13,5
		Ожирение / Obesity	4	233	10,1
Избыточная масса тела/ожирение Overweight/obesity	ov/ob	Недостаточная/нормальная масса тела / Under/normal weight	0	1770	76,4
		Избыточная масса тела/ожирение / Overweight/obesity	1	545	23,6
Пищевая зависимость Food addiction	ПЗ FA	Без ПЗ / No FA	0	2057	88,8
		ПЗ / FA	1	215	11,2

Таблица 3. Описательная статистика возрастных изменений изучаемых переменных ($M \pm \sigma$)Table 3. Descriptive statistics of age-associated changes in the studied variables ($M \pm \sigma$)

Возраст, годы Age, years	n	ov/ob, %	ИМТ% BMI%	ПЗ, % FA, %	КСПЗ, SC	ОГР RES	ЭКС EXT	ЭМО EMO
15–29	1729	9,3	45,4 $\pm$ 23,4 ^{a, b, c}	13,1	2,5 $\pm$ 2,6 ^{B, C}	2,3 $\pm$ 1,0 ^B	3,0 $\pm$ 0,5 ^C	2,1 $\pm$ 0,9 ^B
30–49	109	35,2	64,3 $\pm$ 23,9 ^A	8,4	2,3 $\pm$ 1,5 ^A	2,3 $\pm$ 0,8	2,9 $\pm$ 0,6 ^B	1,8 $\pm$ 0,7 ^b
50–69	242	71,1	84,1 $\pm$ 15,7 ^B	5,4	2,0 $\pm$ 1,3 ^b	2,2 $\pm$ 0,9 ^b	2,7 $\pm$ 0,7	1,8 $\pm$ 0,8 ^b
70–95	235	69,8	83,2 $\pm$ 16,1 ^C	5,1	1,9 $\pm$ 1,3 ^{a, c}	2,0 $\pm$ 0,8 ^b	2,6 $\pm$ 0,7 ^{b, c}	1,8 $\pm$ 0,8 ^b
Статистика Statistics	χ^2/F P ϕ/η^2	776,4 <0,0001 0,588	378,3 <0,0001 0,336	23,8 0,0001 0,105	15,8 <0,0001 0,021	7,4 0,0001 0,010	39,8 <0,0001 0,051	18,2 0,0001 0,024

Примечание. Здесь и в табл. 4: ov/ob – избыточная масса тела /ожирение; ИМТ% – индекс массы тела, процентиля; ОГР – ограничительное; ЭКС – экстернальное; ЭМО – эмоциональное пищевое поведение; ПЗ – пищевая зависимость; КСПЗ – количество симптомов ПЗ; χ^2 – критерий хи-квадрат; F – критерий Фишера; P – значимость критерия χ^2/F ; ϕ/η^2 – величина эффекта Крамера V/эта-квадрат; надстрочные буквы – значимые различия между сравниваемыми группами (A>a: $p<0,01$, B>b: $p<0,001$, C>c: $p<0,0001$, апостериорные сравнения).

Note. Here and in Table 4: ov/ob – overweight/obesity; BMI% – body mass index, percentiles; RES – restrained; EXT – external; EMO – emotional eating behavior; FA – food addiction; SC – symptom counts of FA; χ^2 – chi-squared test; F – Fisher test; P – significance of χ^2/F test; ϕ/η^2 – Cramer's V/eta squared effect size; superscript letters – significant differences between the compared groups (A>a: $p<0.01$, B>b: $p<0.001$, C>c: $p<0.0001$, post-hoc comparisons).

ной группе 50 лет и старше. В целом в возрастной группе от 15 до 95 лет частота выявления ov/ob увеличилась примерно в 7,5 раза. В предыдущих исследованиях [30, 31] неоднократно были отмечены аналогичные возрастные изменения риска ожирения. Нами показано, что частота выявления ov/ob у мужчин выше, чем у женщин. Это наблюдение согласуется с ранее опубликованными результатами исследований в России [30, 31]. В то же время в большинстве исследований, проведенных в других странах, более высокая частота выявления избыточной массы тела и ожирения отмечена у женщин [32, 33]. Противоречивые результаты могут быть объяснены региональными и национальными особенностями частоты выявления ожирения. Следует также учитывать возможность влияния методических факторов: в нашем исследовании подавляющее большинство участников (77,7%) были женщины. В дальнейшем этот вопрос следует изучить более детально.

Нами выявлены значительные возрастные изменения пищевого поведения: за период с 15 до 95 лет частота выявления ПЗ снизилась в 2 раза. Кроме того, наблюдалось уменьшение степени выраженности симптомов. Эти данные частично согласуются с результатами предыдущих исследований. Ранее было показано [34], что максимальная частота выявления ПЗ наблюдается

в возрасте 19 лет, а затем происходит постепенное снижение показателя. Минимальная частота выявления ПЗ была отмечена у пожилых людей [35]. У женщин частота выявления ПЗ выше, чем у мужчин [34, 35].

Ранее было отмечено уменьшение степени выраженности ЭМО и ЭКС с возрастом [6, 11], что согласуется с полученными нами данными. В то же время авторы отмечали увеличение с возрастом степени выраженности ОГР [6, 11], что не соответствует данным, полученным нами и другими авторами [36]. В дальнейших исследованиях возрастную динамику ОГР следует изучить более подробно. В 2 исследованиях [6, 11] у женщин были отмечены более высокие баллы по шкалам ОГР и ЭМО, но не по шкале ЭКС, что полностью совпадает с нашими результатами. Другие авторы также отмечали более частое выявление ОГР [15, 36] и ЭМО [15] у женщин.

Возрастные изменения и половые отличия связи между пищевым поведением и индексом массы тела

Мы впервые в рамках комплексного исследования показали, что взаимосвязь между различными типами пищевого поведения и ИМТ подвержена значительным изменениям, ассоциированным с возрастом и полом.

Таблица 4. Описательная статистика изменений изучаемых переменных в зависимости от пола

Table 4. Descriptive statistics of sex-associated changes in the studied variables

Пол Sex	n	ov/ob, %	ИМТ% BMI%	ПЗ, % FA, %	КСПЗ, SC	ОГР RES	ЭКС EXT	ЭМО EMO
Женщины / Females	1799	21,5	52,9 $\pm$ 23,4 ^c	12,4	2,4 $\pm$ 1,6 ^B	2,4 $\pm$ 0,9 ^C	2,9 $\pm$ 0,6	2,1 $\pm$ 0,9 ^C
Мужчины / Males	516	30,8	59,8 $\pm$ 26,7 ^C	6,8	2,2 $\pm$ 1,4 ^b	1,8 $\pm$ 0,8 ^c	2,9 $\pm$ 0,6	1,8 $\pm$ 0,8 ^c
Статистика Statistics	χ^2/F p ϕ/η^2	18,7 0,0001 0,091	25,0 0,0001 0,011	11,9 0,001 0,074	7,0 0,008 0,003	122,9 <0,0001 0,052	1,5 0,228 0,001	45,0 0,0001 0,020

Таблица 5. Множественный линейный регрессионный анализ связи между изучаемыми переменными

Table 5. Multiple linear regression analysis associations between studied variables

Группы Groups	Модель № Model №	Зависимая переменная Dependent variables	Независимые переменные Independent variables	B	β	P	R ²	ΔR^2	VIF
15–95 лет / years	1	ИМТ% BMI%	Возраст / Age	0,769	0,602	<0,001	0,341	0,341	1,010
			ОГР / RES	7,242	0,247	<0,001	0,388	0,047	1,064
			Пол / Sex	8,785	0,133	<0,001	0,405	0,017	1,056
	2	ИМТ% BMI%	Возраст / Age	0,149	0,625	<0,001	0,377	0,377	1,025
			ЭМО / EMO	0,555	0,094	<0,001	0,384	0,007	1,047
			Пол / Sex	0,846	0,068	<0,001	0,389	0,005	1,024
15–29 лет / years	3	ИМТ% BMI%	КСПЗ / SC	2,047	0,208	<0,001	0,037	0,037	1,009
			Пол / Sex	1,364	0,166	<0,001	0,064	0,027	1,009
	4	ИМТ% BMI%	ОГР / RES	10,040	0,351	<0,001	0,088	0,088	1,075
			Пол / Sex	11,960	0,208	<0,001	0,128	0,040	1,075
	5	ИМТ% BMI%	Возраст / Age	0,238	0,151	<0,001	0,024	0,024	1,002
			Пол / Sex	1,417	0,173	<0,001	0,045	0,021	1,038
30–49 лет / years	6	ИМТ% BMI%	ЭМО / EMO	2,458	0,352	0,001	0,088	0,088	1,064
			Пол / Sex	2,625	0,220	0,030	0,134	0,046	1,064
50–69 лет / years	7	ИМТ% BMI%	КСПЗ / SC	1,724	0,145	0,024	0,021	0,021	1,000
	8	ИМТ% BMI%	ОГР / RES	3,081	0,159	0,013	0,025	0,025	1,000
	9	ИМТ% BMI%	ЭКС / EXT	3,763	0,169	0,009	0,028	0,028	1,000
Женщины Females	10	ИМТ% BMI%	Возраст / Age	0,829	0,615	<0,001	0,348	0,348	1,011
			ОГР / RES	7,806	0,234	<0,001	0,402	0,054	1,011
	11	ИМТ% BMI%	Возраст / Age	0,823	0,610	<0,001	0,348	0,348	1,037
			ЭМО / EMO	3,346	0,108	<0,001	0,359	0,011	1,037
	12	ИМТ% BMI%	Возраст / Age	0,815	0,610	<0,001	0,352	0,352	1,016
			КСПЗ / SC	10,443	0,127	<0,001	0,368	0,016	1,016
Мужчины Males	13	ИМТ% BMI%	Возраст / Age	0,659	0,515	<0,001	0,283	0,283	1,003
			ОГР / RES	10,833	0,326	<0,001	0,389	0,106	1,003
	14	ИМТ% BMI%	Возраст / Age	0,681	0,534	<0,001	0,284	0,284	1,000
			КСПЗ / SC	14,806	0,138	<0,001	0,303	0,019	1,000

Примечание. ИМТ% – индекс массы тела, процентиля; ОГР – ограничительное; ЭКС – экстернальное; ЭМО – эмоциональное пищевое поведение; КСПЗ – количество симптомов пищевой зависимости; был проведен ряд множественных регрессионных анализов с использованием ИМТ% в качестве зависимой переменной и ОГР, ЭКС, ЭМО, КСПЗ, возраст и пол в качестве независимых переменных (предикторов); для определения окончательного набора предикторов в модели использовали процедуру пошагового включения; в окончательные модели были включены только значимые предикторы; для оценки мультиколлинеарности был оценен коэффициент инфляции дисперсии (VIF); B – нестандартизированный коэффициент регрессии; β – стандартизированный коэффициент регрессии; P – значимость коэффициента регрессии; R² – общая дисперсия, объясняемая предикторами при их пошаговом включении в модель; ΔR^2 – доля дисперсии, объясняемая отдельными предикторами в модели.

Note. BMI% – body mass index, percentiles; RES – restrained; EXT – external; EMO – emotional eating behavior; SC – symptom counts of food addiction; a series of multiple regression analyses were performed using BMI% as dependent variable and RES, EXT, EMO, SC, Age, and Sex as independent variables (predictors); a stepwise inclusion procedure was used to determine the final set of predictors in the model; only significant predictors were included in the final models; to assess multicollinearity, the variance inflation factor (VIF) was assessed; B – unstandardized regression coefficient; β – standardized regression coefficient; P – significance of regression coefficient; R² – total variance accounted by predictors at their stepwise inclusion in the model; ΔR^2 – portion of the variance accounted for by separate predictors in the model.

Ограничительное пищевое поведение. Ранее большинство авторов [12, 21] отметили положительную взаимосвязь между ОГР и ИМТ у детей и подростков, что полностью соответствует нашим данным. В ряде исследований [6, 16] отмечена положительная взаимосвязь между ОГР и ИМТ у молодых взрослых людей. В 2-летнем лонгитюдном исследовании [37] была обнаружена положительная связь между ОГР и ИМТ у подростков и взрослых с нормальной массой тела, в то время как у людей

с избыточной массой тела такой связи не обнаружено. Однако, по данным авторов, ОГР не было предиктором повышенного риска ожирения ни в одной из возрастных групп [37]. Авторы высказали предположение, что высокие исходные значения ИМТ явились причиной увеличения степени выраженности ОГР как у подростков, так и у молодых взрослых людей [37]. Описанная нами более тесная взаимосвязь между ОГР и ИМТ у мужчин не согласуется с данными литературы. В ряде исследо-

ваний положительная взаимосвязь между ОГР и ИМТ была отмечена только у женщин [22], а в работах [5, 14] не отмечено достоверной связи между ОГР и ИМТ. Расхождение в данных о половых различиях связи между ОГР и ИМТ может быть обусловлено причинами методического характера. В некоторых предыдущих исследованиях участвовали только [22] или преимущественно женщины [5]; по-видимому, это связано с тем, что ОГР чаще всего выявляется у женщин [38]. В будущем следует более подробно изучить половые различия в связи между ОГР и ИМТ, обратив особое внимание на мужчин.

Эмоциональное пищевое поведение. Ранее было показано, что ЭМО является предиктором увеличения массы тела у взрослых [6, 11–13]. Лонгитюдное исследование [14], в котором приняли участие люди в возрасте от 23 до 94 лет, также выявило достоверную положительную связь между ЭМО и изменением массы тела у мужчин и женщин. В работе [16] было показано, что ЭМО является предиктором долгосрочного увеличения массы тела и высокого ИМТ у молодых людей. Однако в систематическом обзоре с метаанализом [13] не выявлено какого-либо влияния пола и возраста на связь между ЭМО и ИМТ. Противоречивые результаты, вероятно, связаны с отмеченным нами неравномерным изменением связи между показателями в разных возрастных группах. Обзоры обычно включают исследования всех возрастных групп, что затрудняет выявление этой закономерности. В будущем следует провести метаанализ данных, собранных в возрастной группе от 15 до 50 лет.

Экстернальное пищевое поведение. Существует всего несколько публикаций, посвященных изучению взаимосвязи между ЭКС и риском ожирения. В раннем исследовании, проведенном с использованием поперечного дизайна [15], была отмечена положительная взаимосвязь между ЭКС и ИМТ у молодых людей. Однако в ряде более поздних исследований, как поперечных [6, 12, 14], так и лонгитюдном [16], взаимосвязь между показателями не выявлена. Принимая во внимание наши данные в будущих исследованиях особое внимание следует обратить на связь между ЭКС и ИМТ в возрастной группе 50–69 лет.

Пищевая зависимость. Ранее была отмечена достоверная положительная связь между ПЗ и ИМТ у детей и подростков [12, 17, 18]. У взрослых молодых людей такой связи не отмечено [12, 19, 20]. Учитывая результаты, представленные в этом исследовании, представляет большой интерес изучение взаимосвязи между ПЗ и ИМТ у лиц в возрасте 50–69 лет.

Сведения об авторах

Борисенков Михаил Федорович (Mikhail F. Borisenkov) – доктор биологических наук, старший научный сотрудник отдела молекулярной иммунологии и биотехнологии ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, Российская Федерация)

E-mail: borisenkov@physiol.komisc.ru
https://orcid.org/0000-0002-4310-2010

В целом можно отметить важную особенность возрастной динамики изученных нами показателей. Несмотря на постепенное снижение с возрастом практически всех показателей пищевого поведения, изученных в данном исследовании, возрастная динамика взаимосвязи между пищевым поведением и ИМТ носит нелинейный характер. Можно предположить, что увеличение частоты выявления лиц с ожирением с возрастом на фоне снижения выраженности отклонений в пищевом поведении обусловлено постепенным изменением баланса между катаболическими и анаболическими процессами в пользу первых. В дальнейшем необходимо детально изучить возможные причины такой возрастной динамики и их значение для практики.

Ограничения исследования

В данном исследовании использованы антропометрические показатели, оцениваемые участниками исследования самостоятельно, что могло повлиять на их достоверность, особенно у пожилых людей. Выборка не сбалансирована по полу (преобладают женщины) и возрастным группам (максимальный размер выборки приходится на группу подростков). При анализе не использовали информацию о калорийности, рационе питания, расходе энергии и других внешних и внутренних факторах (таких как генетическая предрасположенность к ожирению, психоэмоциональное состояние и т.д.). Дизайн исследования является поперечным, поэтому установленные значимые взаимосвязи между показателями не позволяют нам судить о причинно-следственных связях между ними.

Заключение

Поперечное исследование на большой выборке показало, что от подросткового возраста к старости происходит постепенное увеличение антропометрических признаков избыточной массы тела и ожирения и снижение степени выраженности нарушений пищевого поведения. Частота выявления избыточной массы тела и ожирения выше у мужчин, в то время как нарушения пищевого поведения более выражены у женщин. Отмечено асинхронное возрастное изменение взаимосвязи между нарушениями пищевого поведения и ИМТ. У подростков основными предикторами ИМТ были ОГР, ЭМО и ПЗ, у молодых людей – ЭМО, а у пожилых людей – ПЗ, ОГР и ЭКС. В возрасте 70 лет и старше не отмечено связи между пищевым поведением и ИМТ.

Попов Сергей Владимирович (*Sergey V. Popov*) – доктор биологических наук, доцент, заведующий отделом молекулярной иммунологии и биотехнологии ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, Российская Федерация)

E-mail: s.v.popov@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1763-8898>

Смирнов Василий Витальевич (*Vasily V. Smirnov*) – младший научный сотрудник отдела молекулярной иммунологии и биотехнологии ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, Российская Федерация)

E-mail: smirnowich@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3704-988X>

Цэрнэ Татьяна Анатольевна (*Tatyana A. Tserne*) – старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина», заведующий отделом психолого-педагогического сопровождения МУДО «Центр психолого-педагогической, медицинской и социальной помощи» (Сыктывкар, Российская Федерация)

E-mail: cerne_tatyana@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4757-1068>

Бакутова Лариса Александровна (*Larisa A. Bakutova*) – старший лаборант отдела молекулярной иммунологии и биотехнологии ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, Российская Федерация)

E-mail: foksmars14@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9048-2821>

Дорогина Ольга Ивановна (*Olga I. Dorogina*) – кандидат психологических наук, доцент Уральского гуманитарного института ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (Екатеринбург, Российская Федерация)

E-mail: dorogina_olga@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6860-8309>

Печеркина Анна Александровна (*Anna A. Pecherkina*) – кандидат психологических наук, доцент, директор департамента психологии Уральского гуманитарного института ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (Екатеринбург, Российская Федерация)

E-mail: 79apa@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2261-2505>

Сыманюк Эльвира Эвальдовна (*Elvira E. Symanuyuk*) – доктор психологических наук, директор Уральского гуманитарного института ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (Екатеринбург, Российская Федерация)

E-mail: e.e.symaniuk@urfu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7591-7230>

Литература

1. Тармаева И.Ю., Сошина М.С., Богданова О.Г., Батулин А.К. Ожирение и ключевые предикторы его риска // Вопросы питания. 2024. Т. 93, № 6. С. 6–15. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-6-6-15>
2. WHO. Noncommunicable Diseases. 2023. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
3. Dakanalis A., Mentzelou M., Papadopoulou S.K., Papandreou D., Spanoudaki M., Vasios G.K. et al. The Association of emotional eating with overweight/obesity, depression, anxiety/stress, and dietary patterns: A review of the current clinical evidence // *Nutrients*. 2023. Vol. 15. Article ID 1173. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15051173>
4. van Strien T., Frijters J.E., Bergers G.P., Defares P.B. The Dutch eating behavior questionnaire (DEBQ) for assessment of restrained, emotional, and external eating behavior // *Int. J. Eat. Disord.* 1986. Vol. 5. P. 295–315. DOI: [https://doi.org/10.1002/1098-108X\(198602\)5:2<295::AID-EAT2260050209>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/1098-108X(198602)5:2<295::AID-EAT2260050209>3.0.CO;2-T)
5. Benbaibache H., Saidi H., Bounihi A., Koceir E.A. Emotional and external eating styles associated with obesity // *J. Eat. Disord.* 2023. Vol. 11, N 1. Article ID 67. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40337-023-00797-w>
6. van Strien T., Herman C.P., Verheijden M.W. Eating style, overeating, and overweight in a representative Dutch sample. Does external eating play a role? // *Appetite*. 2009. Vol. 2, N 2. P. 380–387. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.11.010>
7. Zhao L., Zhu G., Man X., Wang Y. A longitudinal study of the relationship between self-objectification and restrictive eating: the role of appearance anxiety and sense of control // *Curr. Psychol.* 2024. Vol. 43, N 41. P. 32 102–32 113. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12144-024-06779-8>
8. Volkow N.D., Wise R.A. How can drug addiction help us understand obesity? // *Nat. Neurosci.* 2005. Vol. 8. P. 555–560. DOI: <https://doi.org/10.1038/nn1452>
9. Maqsood S., Ahmed F., Arshad M.T., Ikram A., Abdullahi M.A. Comparative analysis of food addiction and obesity: a critical review // *Food Sci. Nutr.* 2025. Vol. 13, N 8. Article ID e70799. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.70799>
10. McCausland H.C., Gearhardt A.N., Peralta J.M., LaFata E.M. A Critical evaluation of the terms used to describe foods implicated in addictive-like eating // *Curr. Addict. Rep.* 2025. Vol. 12. Article ID 71. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40429-025-00689-w>
11. van Strien T., Herman C.P., Verheijden M.W. Eating style, overeating and weight gain. A prospective 2-year follow-up study in a representative Dutch sample // *Appetite*. 2012. Vol. 59, N 3. P. 782–789. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2012.08.009>
12. Borisenkov M., Tserne T., Bakutova L., Smirnov V., Popov S. The association between sleep timing, eating behavior, and obesity in young adults // *Chronobiol. Int.* 2025. Vol. 42, N 10. P. 1417–1426. DOI: <https://doi.org/10.1080/07420528.2025.2551025>
13. Chew H.S.J., Soong R.Y., Ang W.H.D., Ngooi J.W., Park J., Yong J.Q.Y.O. et al. The global prevalence of emotional eating in overweight and obese populations: a systematic review and meta-analysis // *Br. J. Psychol.* 2025. Vol. 116, N 2. P. 484–498. DOI: <https://doi.org/10.1111/bjop.12768>
14. Keller C., Siegrist M. Ambivalence toward palatable food and emotional eating predict weight fluctuations. Results of a longitudinal study with four waves // *Appetite*. 2015. Vol. 85. P. 138–145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.11.024>
15. Burton P., Smit H.J., Lightowler H.J. The influence of restrained and external eating patterns on overeating // *Appetite*. 2007. Vol. 49, N 1. P. 191–197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.01.007>
16. Sung J., Lee K., Song Y.M. Relationship of eating behavior to long-term weight change and body mass index: the Healthy Twin study // *Eat. Weight Disord.* 2009. Vol. 14, N 2–3. P. e98–105. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03327806>
17. Borisenkov M.F., Tserne T.A., Bakutova L.A. Food addiction in Russian adolescents: associations with age, sex, weight, and depression // *Eur. Eat. Disord. Rev.* 2018. Vol. 26, N 6. P. 671–676. DOI: <https://doi.org/10.1002/erv.2644>
18. Wang D., Huang K., Schulte E., Zhou W., Li H., Hu Y., et al. The association between food addiction and weight status in school-age children and adolescents // *Front. Psychiatry*. 2022. Vol. 13. Article ID 824234. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.824234>

19. Gearhardt A.N., Yokum S., Orr P.T., Stice E., Corbin W.R., Brownell K.D. Neural correlates of food addiction // *Arch. Gen. Psychiatry*. 2011. Vol. 68, N 8. P. 808–816. DOI: <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2011.32>
20. Borisenkov M.F., Popov S.V., Pecherikina A.A., Dorogina O.I., Martinson E.A., Vetosheva V.I. et al. Food addiction in young adult residents of Russia: associations with emotional and anthropometric characteristics // *Eur. Eat. Disord. Rev.* 2020. Vol. 28, N 4. P. 465–472. DOI: <https://doi.org/10.1002/erv.2731>
21. Snoek H.M., van Strien T., Janssens J.M., Engels R.C. Emotional, external, restrained eating and overweight in Dutch adolescents // *Scand. J. Psychol.* 2007. Vol. 48, N 1. P. 23–32. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.2006.00568.x>
22. Beiseigel J.M., Nickols-Richardson S.M. Cognitive eating restraint scores are associated with body fatness but not with other measures of dieting in women // *Appetite*. 2004. Vol. 43, N 1. P. 47–53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2004.02.002>
23. Sample Size Calculation and Sample Size Justification. URL: <https://www.statisticssolutions.com/dissertation-resources/sample-size-calculation-and-sample-size-justification/sample-size-formula/> (дата обращения: 17.06.2025).
24. Gearhardt A.N., Corbin W.R., Brownell K.D. Preliminary validation of the Yale food addiction scale // *Appetite*. 2009. Vol. 52. P. 430–436. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.12.003>
25. Gearhardt A.N., Roberto C., Seamans M., Corbin W., Brownell K. Preliminary validation of the Yale food addiction scale for children // *Eat. Behav.* 2013. Vol. 14. P. 508–512. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eat-beh.2013.07.002>
26. de Onis M., Onyango A.W., Borghi E., Siyam A., Nishida C., Siekmann J. Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents // *Bull. World Health Organ.* 2007. Vol. 85. P. 660–667. DOI: <https://doi.org/10.2471/blt.07.043497>
27. Smirnov V.V., Popov S.V., Borisenkov M.F., Zueva N.V. Validation of the Dutch eating behavior questionnaire in Russian young people // *Curr. Psychol.* 2025. Vol. 44. P. 467–478. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12144-024-07221-9in>
28. Lee D.K. Alternatives to P value: confidence interval and effect size // *Korean J. Anesthesiol.* 2016. Vol. 69, N 6. P. 555–562. DOI: <https://doi.org/10.4097/kjae.2016.69.6.555>
29. Richardson J.T. Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research // *Educ. Res. Rev.* 2011. Vol. 6, N 2. P. 135–147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2010.12.001>
30. Мартинчик А.Н., Лайкам К.Э., Козырева Н.А., Кешабянц Э.Э., Михайлов Н.А., Батуринов А.К. и др. Распространение ожирения в различных социально-демографических группах населения России // *Вопросы питания*. 2021. Т. 90, № 3. С. 67–76. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-3-67-76>
31. Мартинчик А.Н., Батуринов А.К., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А. Ожирение в Российской Федерации: эпидемиология, социально-демографические и нутрициологические факторы развития // *Гигиена и санитария*. 2024. Т. 103, № 12. С. 1504–1513. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-12-1504-1513>
32. Cooper A.J., Gupta S.R., Moustafa A.F., Chao A.M. Sex/gender differences in obesity prevalence, comorbidities, and treatment // *Curr. Obes. Rep.* 2021. Vol. 10, N 4. P. 458–466. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13679-021-00453-x>
33. Kim H., Kim S.E., Sung M.K. Sex and gender differences in obesity: Biological, sociocultural, and clinical perspectives // *World J. Mens Health*. 2025. Vol. 43, N 4. P. 758–772. DOI: <https://doi.org/10.5534/wjmh.250126>
34. Borisenkov M.F., Popov S.V., Tserne T.A., Bakutova L.A., Pecherikina A.A., Dorogina O.I. et al. Food addiction and symptoms of depression among inhabitants of the European North of Russia: associations with sleep characteristics and photoperiod // *Eur. Eat. Disord. Rev.* 2020. Vol. 28, N 3. P. 332–342. DOI: <https://doi.org/10.1002/erv.2728>
35. Loch L.K., Kirch M., Singer D.C., Solway E., Roberts J.S., Kullgren J.T., Gearhardt A.N. Ultra-processed food addiction in a nationally representative sample of older adults in the USA // *Addiction*. 2026. Vol. 121, N 3. P. 510–521. DOI: <https://doi.org/10.1111/add.70186>
36. Kong F.C., Zhang Y., Chen H., Shi M.L., Gao X. The cognitive bias in food cues for restricted eaters: Evidences from behavioral and neuropsychological studies // *Adv. Psychol. Sci.* 2011. Vol. 19, N 9. P. 1355–1362.
37. de Lauzon-Guillain B., Basdevant A., Romon M., Karlsson J., Borys J.M., Charles M.A.; FLVS Study Group. Is restrained eating a risk factor for weight gain in a general population? // *Am. J. Clin. Nutr.* 2006. Vol. 83, N 1. P. 132–138. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/83.1.13>
38. Almaghrabi M.A., Bawajeeh A., Shatwan I.M., Malibary M., Alzhirani S., Alamoudi N. et al. Associations between restrained, emotional, and external eating behaviors and obesity among Saudi adults: a cross-sectional study // *Nutrients*. 2026. Vol. 18, N 4. Article ID 631. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu18040631>

References

1. Tarmaeva I.Yu., Soshina M.S., Bogdanova O.G., Baturin A.K. Obesity and key predictors of its risk. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2024; 93 (6): 6–15. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-6-6-15> (in Russian)
2. WHO. Noncommunicable Diseases. 2023. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
3. Dakanalis A., Mentzelou M., Papadopoulou S.K., Papandreou D., Spanoudaki M., Vasios G.K., et al. The Association of emotional eating with overweight/obesity, depression, anxiety/stress, and dietary patterns: a review of the current clinical evidence. *Nutrients*. 2023; 15: 1173. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15051173>
4. van Strien T., Frijters J.E., Bergers G.P., Defares P.B. The Dutch eating behavior questionnaire (DEBQ) for assessment of restrained, emotional, and external eating behavior. *Int J Eat Disord*. 1986; 5: 295–315. DOI: [https://doi.org/10.1002/1098-108X\(198602\)5:2<295::AID-EAT2260050209>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/1098-108X(198602)5:2<295::AID-EAT2260050209>3.0.CO;2-T)
5. Benbaïbeche H., Saidi H., Bounihi A., Koceir E.A. Emotional and external eating styles associated with obesity. *J Eat Disord*. 2023; 11 (1): 67. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40337-023-00797-w>
6. van Strien T., Herman C.P., Verheijden M.W. Eating style, overeating, and overweight in a representative Dutch sample. Does external eating play a role? *Appetite*. 2009; 2 (2): 380–7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.11.010>
7. Zhao L., Zhu G., Man X., Wang Y. A longitudinal study of the relationship between self-objectification and restrictive eating: the role of appearance anxiety and sense of control. *Curr Psychol*. 2024; 43 (41): 32 102–13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12144-024-06779-8>
8. Volkow N.D., Wise R.A. How can drug addiction help us understand obesity? *Nat Neurosci*. 2005; 8: 555–60. DOI: <https://doi.org/10.1038/nn1452>
9. Maqsood S., Ahmed F., Arshad M.T., Ikram A., Abdullahi M.A. Comparative analysis of food addiction and obesity: a critical review. *Food Sci Nutr*. 2025; 13 (8): e70799. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn.3.70799>
10. McCausland H.C., Gearhardt A.N., Peralta J.M., LaFata E.M.A Critical evaluation of the terms used to describe foods implicated in addictive-like eating. *Curr Addict Rep*. 2025; 12: 71. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40429-025-00689-w>
11. van Strien T., Herman C.P., Verheijden M.W. Eating style, overeating and weight gain. A prospective 2-year follow-up study in a representative Dutch sample. *Appetite*. 2012; 59 (3): 782–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2012.08.009>
12. Borisenkov M., Tserne T., Bakutova L., Smirnov V., Popov S. The association between sleep timing, eating behavior, and obesity in young adults. *Chronobiol Int*. 2025; 42 (10): 1417–26. DOI: <https://doi.org/10.1080/07420528.2025.2551025>
13. Chew H.S.J., Soong R.Y., Ang W.H.D., Ngooi J.W., Park J., Yong J.Q.Y.O., et al. The global prevalence of emotional eating in overweight and obese populations: a systematic review and meta-analysis. *Br J Psychol*. 2025; 116 (2): 484–98. DOI: <https://doi.org/10.1111/bjop.12768>
14. Keller C., Siegrist M. Ambivalence toward palatable food and emotional eating predict weight fluctuations. Results of a longitudinal study with four waves. *Appetite*. 2015; 85: 138–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.11.024>
15. Burton P., Smit H.J., Lightowler H.J. The influence of restrained and external eating patterns on overeating. *Appetite*. 2007; 49 (1): 191–7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.01.007>
16. Sung J., Lee K., Song Y.M. Relationship of eating behavior to long-term weight change and body mass index: the Healthy Twin study. *Eat Weight Disord*. 2009; 14 (2–3): e98–105. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03327806>
17. Borisenkov M.F., Tserne T.A., Bakutova L.A. Food addiction in Russian adolescents: associations with age, sex, weight, and depression. *Eur Eat Disord Rev*. 2018; 26 (6): 671–6. DOI: <https://doi.org/10.1002/erv.2644>
18. Wang D., Huang K., Schulte E., Zhou W., Li H., Hu Y., et al. The association between food addiction and weight status in school-age children

- and adolescents. *Front Psychiatry*. 2022; 13: 824234. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2022.824234>
19. Gearhardt A.N., Yokum S., Orr P.T., Stice E., Corbin W.R., Brownell K.D. Neural correlates of food addiction. *Arch Gen Psychiatry*. 2011; 68 (8): 808–16. DOI: <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2011.32>
20. Borisenkov M.F., Popov S.V., Pecherkina A.A., Dorogina O.I., Martinson E.A., Vetosheva V.I., et al. Food addiction in young adult residents of Russia: associations with emotional and anthropometric characteristics. *Eur Eat Disord Rev*. 2020; 28 (4): 465–472. DOI: <https://doi.org/10.1002/erv.2731>
21. Snoek H.M., van Strien T., Janssens J.M., Engels R.C. Emotional, external, restrained eating and overweight in Dutch adolescents. *Scand J Psychol*. 2007; 48 (1): 23–32. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.2006.00568.x>
22. Beiseigel J.M., Nickols-Richardson S.M. Cognitive eating restraint scores are associated with body fatness but not with other measures of dieting in women. *Appetite*. 2004; 43 (1): 47–53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2004.02.002>
23. Sample Size Calculation and Sample Size Justification. URL: <https://www.statisticssolutions.com/dissertation-resources/sample-size-calculation-and-sample-size-justification/sample-size-formula/> (date of access June 17, 2025).
24. Gearhardt A.N., Corbin W.R., Brownell K.D. Preliminary validation of the Yale food addiction scale. *Appetite*. 2009; 52: 430–6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.12.003>
25. Gearhardt A.N., Roberto C., Seaman M., Corbin W., Brownell K. Preliminary validation of the Yale food addiction scale for children. *Eat Behav*. 2013; 14: 508–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eat-beh.2013.07.002>
26. de Onis M., Onyango A.W., Borghi E., Siyam A., Nishida C., Siekmann J. Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. *Bull World Health Organ*. 2007; 85: 660–7. DOI: <https://doi.org/10.2471/blt.07.043497>
27. Smirnov V.V., Popov S.V., Borisenkov M.F., Zueva N.V. Validation of the Dutch eating behavior questionnaire in Russian young people. *Curr Psychol*. 2025; 44: 467–78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12144-024-07221-9>
28. Lee D.K. Alternatives to P value: Confidence interval and effect size. *Korean J Anesthesiol*. 2016; 69 (6): 555–62. DOI: <https://doi.org/10.4097/kjae.2016.69.6.555>
29. Richardson J.T. Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research. *Educ Res Rev*. 2011; 6 (2): 135–47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2010.12.001>
30. Martinchik A.N., Laykam K.E., Kozyreva N.A., Keshabyants E.E., Mikhaylov N.A., Baturin A.K., et al. The prevalence of obesity in various socio-demographic groups of the population of Russia. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2021; 90 (3): 67–76. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-3-67-76> (in Russian)
31. Martinchik A.N., Baturin A.K., Nikityuk D.B., Tutel'yan V.A. Obesity in the Russian Federation: epidemiology, socio-demographic and nutritional factors for development. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation]. 2024; 103 (12): 1504–13. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-12-1504-1513> (in Russian)
32. Cooper A.J., Gupta S.R., Moustafa A.F., Chao A.M. Sex/gender differences in obesity prevalence, comorbidities, and treatment. *Curr Obes Rep*. 2021; 10 (4): 458–66. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13679-021-00453-x>
33. Kim H., Kim S.E., Sung M.K. Sex and gender differences in obesity: Biological, sociocultural, and clinical perspectives. *World J Mens Health*. 2025; 43 (4): 758–72. DOI: <https://doi.org/10.5534/wjmh.250126>
34. Borisenkov M.F., Popov S.V., Tserne T.A., Bakutova L.A., Pecherkina A.A., Dorogina O.I., et al. Food addiction and symptoms of depression among inhabitants of the European North of Russia: associations with sleep characteristics and photoperiod. *Eur Eat Disord Rev*. 2020; 28 (3): 332–42. DOI: <https://doi.org/10.1002/erv.2728>
35. Loch L.K., Kirch M., Singer D.C., Solway E., Roberts J.S., Kullgren J.T., Gearhardt A.N. Ultra-processed food addiction in a nationally representative sample of older adults in the USA. *Addiction*. 2026; 121 (3): 510–21. DOI: <https://doi.org/10.1111/add.70186>
36. Kong F.C., Zhang Y., Chen H., Shi M.L., Gao X. The cognitive bias in food cues for restricted eaters: Evidences from behavioral and neuropsychological studies. *Adv Psychol Sci*. 2011; 19 (9): 1355–62.
37. de Lauzon-Guillain B., Basdevant A., Romon M., Karlsson J., Borys J.M., Charles M.A., FLVS Study Group. Is restrained eating a risk factor for weight gain in a general population? *Am J Clin Nutr*. 2006; 83 (1): 132–8. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/83.1.13>
38. Almaghrabi M.A., Bawajeeh A., Shatwan I.M., Malibary M., Alzhirani S., Alamoudi N., et al. Associations between restrained, emotional, and external eating behaviors and obesity among Saudi adults: a cross-sectional study. *Nutrients*. 2026; 18 (4): 631. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu18040631>

Для корреспонденции

Мезенцева Юлия Андреевна (Yulia A. Mezentseva) –
 младший 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) 698-53-90
 E-mail: yuliaseledkova0304@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0349-1688>

Мезенцева Ю.А.¹, Шурова З.М.¹, Баландин М.Ю.², Солнцева Т.Н.¹, Вржесинская О.А.¹,
 Андропова М.С.¹, Компаинцева Д.М.¹, Никитюк Д.Б.^{1, 3, 4}

Оценка частоты сниженной минеральной плотности костной ткани и ее взаимосвязи с рационом юных теннисистов

Assessment of the frequency
 of a decrease in bone mineral
 density and its relationship
 with the diet of young tennis
 players

Mezentseva Yu.A.¹, Shurova Z.M.¹,
 Balandin M.Yu.², Solntseva T.N.¹,
 Vrzhesinskaya O.A.¹, Andronova M.S.¹,
 Kompaintseva D.M.¹, Nikityuk D.B.^{1, 3, 4}

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

² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный
 центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр
 имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства, 123098,
 г. Москва, Российская Федерация

³ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
 образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»,
 117198, г. Москва, Российская Федерация

⁴ 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

¹ Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 109240, Moscow,
 Russian Federation

² State Research Center – Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Federal Medical
 and Biological Agency, 123098, Moscow, Russian Federation

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

⁴ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of the Russian
 Federation (Sechenov University), 119991, Moscow, Russian Federation

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

Конфликт интересов. Вржесинская О.А. является научным редактором и ответственным секретарем редакции журнала «Вопросы питания», остальные авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Никитюк Д.Б., Мезенцева Ю.А.; сбор и статистическая обработка данных – Мезенцева Ю.А., Шурова З.М., Баландин М.Ю., Солнцева Т.Н., Андропова М.С., Компаинцева Д.М., Вржесинская О.А.; написание текста – Мезенцева Ю.А.; редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Мезенцева Ю.А., Шурова З.М., Баландин М.Ю., Солнцева Т.Н., Вржесинская О.А., Андропова М.С., Компаинцева Д.М., Никитюк Д.Б. Оценка частоты сниженной минеральной плотности костной ткани и ее взаимосвязи с рационом юных теннисистов // Вопросы питания. 2026. Т. 95, № 2. С. 60–69. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-60-69>

Статья поступила в редакцию 19.12.2025. **Принята в печать** 12.03.2026.

Оптимизация состояния костной ткани – ключевой аспект профилактики травматизма как в популяции в целом, так и в детско-юношеском спорте. Поскольку уровень и специфика физической нагрузки в совокупности с питанием являются потенциально модифицируемыми факторами влияния на костную систему, оценка их взаимосвязи и дальнейшая оптимизация фактического питания и состояния костной ткани являются важными компонентами комплексной системы медико-биологического контроля юных спортсменов.

Цель работы – оценить частоту сниженной минеральной плотности костной ткани (МПКТ) у юных теннисистов и ее взаимосвязь с фактическим питанием.

Материал и методы. В исследовании приняли участие 60 спортсменов-теннисистов в возрасте от 7 до 17 лет (33 – женского пола, 27 – мужского). Оценивали фактическое питание с использованием методов 24-часового воспроизведения питания за 3 дня опроса (2 тренировочных и 1 выходной) и частоты потребления пищи за 1 мес, предшествовавший обследованию. МПКТ предплечья и голени оценивали при помощи метода ультразвуковой денситометрии.

Результаты. Распространенность сниженной МПКТ (Z-критерий $<-2,0$ SD) у детей младшего школьного возраста составила 37,5% для участка лучевой и 20,8% для большеберцовой костей. Среди детей 11–14 лет низкая МПКТ лучевой кости наблюдалась у 23,5% обследованных, большеберцовой – у 11,8%, тогда как в старшей возрастной группе только у 1 из 8 спортсменов была отмечена низкая МПКТ обоих исследуемых участков. Одним из положительных факторов влияния на костную ткань могло стать воздействие специфической для тенниса ударной нагрузки, проявляющейся с повышением квалификации. Нарушения структуры рациона состоят в дефиците углеводной составляющей, наиболее выраженном при расчете на 1 кг массы тела у юношей 15–17 лет, девушек 11–14 и 15–17 лет, среди которых ни у одного спортсмена потребление углеводов не достигало нижней границы рекомендуемого диапазона потребления. Отмечается профицит жирового компонента в рационе вне зависимости от возраста и пола, при максимальном уровне потребления 3,8 г/кг массы тела в сутки. Дефицит энергии в удельных единицах наблюдался у девушек 11–14 и 15–17 лет. Отмечена положительная корреляционная связь между долей белка в структуре энергетической ценности рациона и Z-критерием на участке лучевой кости у мальчиков 7–10 лет. Отрицательная корреляционная связь выявлена в группе юношей старшего школьного возраста между потреблением жирового компонента в абсолютных и удельных единицах и МПКТ лучевой кости.

Заключение. На основе изучения частоты сниженной МПКТ и ее корреляции с фактическим питанием разработаны индивидуальные рекомендации по коррекции рациона юных теннисистов. Для спортсменов группы риска рекомендовано проведение рентгеновской остеоденситометрии. Комплексный анализ фактического питания и показателей физического развития позволяет своевременно выявить риски и разработать рекомендации по оптимизации уровня физической нагрузки и рациона юных спортсменов-теннисистов с целью улучшения состояния костной ткани.

Ключевые слова: большой теннис; ультразвуковая денситометрия; минеральная плотность костной ткани; рацион; энергия; макронутриенты; спортсмены; дети и подростки

Optimizing bone health is a key aspect of injury prevention both in the general population and in youth sports. Furthermore, the specifics of physical activity, along with nutrition, are potentially modifiable factors influencing the skeletal system. Assessing the relationship and further optimizing dietary intake and bone health is an important component of a comprehensive system of medical and biological monitoring of young athletes.

The purpose of this study was to assess the incidence of decreased bone mineral density (BMD) and its relationship with dietary intake in young tennis players.

Material and methods. The study involved 60 tennis players aged 7 to 17 years (33 female, 27 male). Dietary intake was assessed using 24-hour dietary recall for 3 survey days (2 training days and 1 day off) and food-frequency methods (for 1 month preceding the survey). BMD of the forearm and lower leg was assessed using ultrasound densitometry.

Results. The prevalence of reduced BMD (Z-score <-2.0 SD) in primary school-aged children was 37.5% for the radius and 20.8% for the tibia. Among children aged 11–14 years, low BMD of the radius was observed in 23.5% of those examined, and of the tibia in 11.8%, while in the older age group, only one of the 8 athletes had low BMD of both areas examined. One of the positive factors influencing bone tissue could be the effect of tennis-specific impact loading, which becomes apparent with increasing skill. Dietary imbalance consist of carbohydrate deficiency, which is most pronounced when calculated per kg of body weight in young men aged 15–17 years, girls aged 11–14 and 15–17 years, among whom not a single athlete had carbohydrate consumption reaching the lower limit of the recommended intake range. A surplus of dietary fat was observed regardless of age and gender, with a maximum intake of 3.8 g/kg body weight per day. A specific energy deficit was observed in girls aged 11–14 and 15–17. A positive correlation was noted between daily calories from protein and Z-score in the radius area of boys aged 7–10 years. A negative correlation was found in the group of senior school-age boys between fat intake in absolute and specific units and the BMD of the radius.

Conclusion. Based on the study of the frequency of low BMD and its correlation with dietary intake, individual recommendations for adjusting the diet of young tennis players have been developed. X-ray osteodensitometry is recommended for athletes at risk. A comprehensive analysis of nutrition and physical development indicators allows for the timely identification of risks and the development of recommendations for optimizing the level of physical activity and diet of young tennis players to improve bone health.

Keywords: tennis; ultrasound densitometry; bone mineral density; diet; energy; macronutrients; young athletes

Funding. The manuscript was prepared with funds from a state subsidy (FGMF-2025-0002).

Conflict of interest. Vrzhesinskaya O.A. is a scientific editor and executive secretary of the journal's editorial board; the other authors declare no conflict of interest.

Contribution. Concept and design of the study – Nikityuk D.B., Mezentsseva Yu.A.; data collection and statistical processing – Mezentsseva Yu.A., Shurova Z.M., Balandin M.Yu., Solntseva T.N., Andronova M.S., Kompaintseva D.M., Vrzhesinskaya O.A.; writing the text – Mezentsseva Yu.A.; editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Mezentsseva Yu.A., Shurova Z.M., Balandin M.Yu., Solntseva T.N., Andronova M.S., Kompaintseva D.M., Nikityuk D.B. Assessment of the frequency of a decrease in bone mineral density and its relationship with the diet of young tennis players. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2026; 95 (2): 60–9. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-60-69> (in Russian)

Received 19.12.2025. Accepted 12.03.2026

Состояние костной ткани является одним из важнейших факторов, определяющих общее состояние здоровья и качество жизни человека. Уровень и специфика физической нагрузки на костную систему в совокупности с питанием являются потенциально модифицируемыми факторами, в отличие от немодифицируемых (пол, раса и наследственность) или трудно модифицируемых (гормональный статус) факторов.

У спортсменов прямое влияние на формирование минеральной плотности костной ткани (МПКТ) оказывают объем и интенсивность тренировочных нагрузок, стереотип выполнения основного соревновательного упражнения и адекватный по структуре и энергетической ценности (ЭЦ) рацион [1], восполняющий запасы энергии, макро- и микронутриентов после физических нагрузок.

В частности, упражнения с ударной нагрузкой на опорно-двигательный аппарат имеют положительное влияние на механические свойства костной ткани и способствуют эффективному приросту костной массы, что в результате может привести к более высокой пиковой костной массе [2].

Однако рост ранней спортивной специализации (углубленная специальная подготовка в избранном виде спорта детьми младше 12 лет в течение более 8 мес в году) может приводить к существенному увеличению количества травм опорно-двигательного аппарата, обусловленному форсированием объема и интенсивности физической нагрузки, в частности в большом теннисе.

Костная ткань отвечает на нагрузку изменением своей структуры [3]. Так, по результатам исследований механизмов остеогенного ответа на определенные виды упражнений было показано, что физические упражнения с длительной нагрузкой на костную систему улучшают МПКТ, повышают содержание минеральных веществ в костях и прочность костей. Однако не было установлено, может ли форсирование физической нагрузки в юном возрасте вызвать обратный эффект и иметь дезадаптивный характер [4].

Одним из важных факторов влияния на здоровье костной ткани у населения в целом и спортсменов в частности является питание. В данной группе населения взаимосвязь питания и состояния костной ткани была впервые описана у юных спортсменок. При этом сочетание расстройств пищевого поведения, менструальной дисфункции (аменорея) и сниженной МПКТ у девушек получило название «женской спортивной триады». В дальнейшем было установлено, что от недостатка пищевых веществ и сопутствующих нарушений различных функций организма страдают не только спортсменки женского пола, но и мужского. Именно поэтому в настоящее время получила развитие концепция относительного дефицита энергии в спорте (англ. Relative energy deficiency in sport, RED-S) [5].

Целью исследования была оценка частоты сниженной МПКТ у юных теннисистов и ее взаимосвязи с фактическим питанием.

Материал и методы

Проведена оценка фактического питания 60 детей и подростков в возрасте от 7 до 17 лет (33 спортсмена женского пола и 27 – мужского пола), занимающихся большим теннисом в спортивных школах ЦСКА и Теннис.Ру г. Москвы не менее 1 года с периодичностью тренировочных занятий от 3 до 6 раз в неделю. Все респонденты питались самостоятельно, в домашних условиях, рекомендации по оптимизации рациона дети и их родители ранее не получали. Анализ фактического питания проводили с использованием методов 24-часового воспроизведения питания за 3 дня опроса (2 тренировочных и 1 выходной по стандартной методике) и частоты потребления пищи за 1 мес, предшествующий обследованию, с оценкой потребления количества порций в сутки следующих групп продуктов: молочные, мясо, рыба. Обработку данных проводили с использованием компьютерных программ «Индивидуальная диета 5.0» (свидетельство Роспатента № 2021617735 от 19 мая 2021 г.) и «Анализ состояния питания человека», версия 1.2.4 ГУ НИИ питания РАМН, 2003–2006 гг.

МПКТ оценивали методом количественной костной денситометрии в 2 участках скелета (дистальной трети лучевой кости и нижней части большеберцовой кости). В исследование были включены 49 из 60 теннисистов в возрасте от 8 до 15 лет, ввиду ограниченного периода времени по эксплуатации денситометрической аппаратуры. Дети не имели хронических патологий, способных отрицательно влиять на фосфорно-кальциевый обмен и метаболизм костной ткани. Исследование проводили на специально-подготовительном этапе тренировочного цикла (май–июль 2025 г.). Основные антропометрические характеристики всех спортсменов-теннисистов, участвовавших в исследовании, в зависимости от возраста и пола:

- мальчики 7–10 лет ($n=11$, длина тела (ДТ) – $138,3 \pm 7,4$ см, масса тела (МТ) – $32,7 \pm 7,1$ кг, индекс массы тела (ИМТ) – $16,9 \pm 2,4$ кг/м²);
- девочки 7–10 лет ($n=16$, ДТ – $142,2 \pm 6,9$ см, МТ – $33,8 \pm 6,1$ кг, ИМТ – $16,7 \pm 2,1$ кг/м²);
- юноши 11–14 лет ($n=8$, ДТ – $162,8 \pm 14,9$ см, МТ – $53,9 \pm 13,3$ кг, ИМТ – $20,1 \pm 3,5$ кг/м²);
- девушки 11–14 лет ($n=13$, ДТ – $162,7 \pm 7,2$ см, МТ – $53,4 \pm 6,6$ кг, ИМТ – $20,2 \pm 1,9$ кг/м²);
- юноши 15–17 лет ($n=8$, ДТ – $180,2 \pm 7,9$ см, МТ – $65,1 \pm 10,9$ кг, ИМТ – $19,9 \pm 2$ кг/м²);
- девушки 15–17 лет ($n=4$, ДТ – $173,6 \pm 6,1$ см, МТ – $65,7 \pm 6,4$ кг, ИМТ – $21,8 \pm 1,7$ кг/м²).

МПКТ костей предплечья и голени определяли с использованием ультразвукового остеоденситометра Sunlight Omnisence 7000 (Sunlight Medical, Израиль). Оценивали скорость прохождения ультразвуковых волн (speed of sound, SOS), измеряемую в метрах в секунду, и Z-критерий (Z-score), являющийся разницей между показателем SOS респондента и средним SOS в популяции людей того же возраста и пола, что и респондент, в единицах, равных величине стандартного отклонения от среднего пикового значения.

Таблица 1. Показатели минеральной плотности костной ткани спортсменов-теннисистов разных возрастных групп (Me [Q25; Q75])

Table 1. Bone mineral density indicators of tennis players of different age groups (Me [Q25; Q75])

Участок, показатель Plot, indicator		Девушки / Girls (n=28)			Юноши / Boys (n=21)		
		7-10 лет / years (n=15)	11-14 лет / years (n=10)	15-17 лет / years (n=3)	7-10 лет / years (n=9)	11-14 лет / years (n=7)	15-17 лет / years (n=5)
Лучевая кость Radius	SOS, м/с	3610 [3535; 3747]	3749 [3705; 3874]	3810 [3804; 3858]	3722 [3603; 3812]	3693 [3572; 3737]	3734 [3658; 3979]
	Z-score, SD	-1,7 [-2,5; -0,4]	-0,8 [-1,3; 0,2]	-1,5 [-1,6; -0,8]	-0,7 [-1,8; 0,2]	-1,0 [-2,4; -0,7]	-1,1 [-1,6; 1,3]
Большеберцовая кость Tibia	SOS, м/с	3617 [3510; 3718]	3873* [3784; 3922]	3964 [3902; 4040]	3645 [3417; 3703]	3610 [3571; 3715]	3665 [3589; 3705]
	Z-score, SD	-0,4 [-1,6; 0,7]	1,0* [0,3; 1,7]	1,1 [0,7; 2,0]	-0,4 [-3,1; 0,3]	-1,2 [-1,6; 0,1]	-1,0 [-2,0; -0,6]

Примечание. * – статистически значимое отличие ($p < 0,05$) от показателя девочек младшей возрастной группы; SOS – скорость прохождения ультразвуковых волн.

Note. * – statistically significant differences ($p < 0.05$) from the ultrasound transmission velocity values for the tibia of girls in the younger age group; SOS – speed of sound.

Обработку первичного материала, расчеты и преобразование данных, а также статистическую обработку проводили с помощью программы IBM SPSS Statistics 20.0 (IBM, США). Для оценки нормальности распределения непрерывных переменных использовали критерий Шапиро–Уилка. Поскольку переменные имели распределение, отличное от нормального, в качестве меры центральной тенденции выбрана медиана.

Описательные статистики количественных данных представлены в виде медианы, 25-го и 75-го перцентилей. Оценка различий независимых выборок проводили с использованием статистического *U*-критерия Манна–Уитни. Для анализа взаимосвязи между переменными был проведен корреляционный анализ Спирмена. Для всех проведенных тестов различия считали достоверными при двустороннем уровне значимости $p < 0,05$.

От всех участников получено информированное согласие. Протокол исследования (№ 10 от 18.10.2024) одобрен Этическим комитетом ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».

Результаты

Термины «низкая костная масса» или «низкая минеральная плотность костной ткани» являются более предпочтительными для скрининговых обследований. Диагноз «остеопения/остеопороз» ставится только при комплексном обследовании и учете биохимических маркеров костного формирования. Z-score -2,0 или ниже считается «низкой костной массой, ожидаемой для данного возраста», а Z-score >-2,0 интерпретируется как «костная масса в пределах ожидаемой для данного возраста» [6]. Показатели МПКТ юношей и девушек разных возрастных групп представлены в табл. 1.

Распространенность сниженной МПКТ (Z-критерий <-2,0 SD) у детей младшего школьного возраста составила 37,5% для лучевой и 20,8% для большеберцо-

вой костей. Среди детей среднего школьного возраста низкая МПКТ лучевой кости наблюдалась у 23,5% обследованных, большеберцовой – у 11,8%, тогда как в старшей возрастной группе только у 1 из 8 спортсменов была отмечена низкая МПКТ обоих исследуемых участков.

У юношей не было выявлено значимых различий в МПКТ между возрастными группами, в то время как у девушек средней возрастной группы отмечены статистически значимые положительные изменения скорости проведения ультразвука ($p = 0,019$) по сравнению с показателем младших спортсменок на участке большеберцовой кости. Можно предположить, что одним из внешних факторов повышения МПКТ становится влияние специфической для тенниса ударной нагрузки на опорно-двигательный аппарат, проявляющейся с повышением спортивного стажа и квалификации.

Международным олимпийским комитетом и Американским колледжем спортивной медицины изложена позиция о пересмотре нормативных значений и интерпретации полученных данных для спортсменов, специализирующихся в видах спорта с высокой ударной нагрузкой, поскольку для них характерна более высокая МПКТ (на 5–30% выше, чем в обычной популяции). Согласно этой позиции «снижением МПКТ» могут стать значения Z-score <-1,0 SD [7]. При использовании такого критерия можно сделать вывод о том, что среди обследованных нами теннисисток распространенность снижения интегрального показателя предплечья (менее -1,0 SD) составила 46,4%, а для голени – 28,6%, тогда как у юношей снижение Z-критерия МПКТ <-1,0 SD было выявлено в 47,6% случаев как для предплечья, так и для участка голени.

Стоит отметить, что во всех ультразвуковых костных денситометрах разных фирм установлены референтные (нормативные) базы данных показателей (SOS, Z-индекс, T-индекс), разработанные для населения стран, в которых произведено оборудование. Так, страна фирмы-производителя остеоденситометра Sunlight Omnisense 7000 – Израиль, что обуславливает дополнительные сложности при интерпретации полученных результа-

Таблица 2. Среднесуточное потребление энергии и макронутриентов спортсменами-теннисистами в зависимости от возраста и пола

Table 2. Average daily energy and macronutrient intake of tennis players depending on their age and gender

Показатель Parameter		Юноши / Boys (n=33)			Девушки / Girls (n=27)		
		7-10 лет / years (n=11)	11-14 лет / years (n=8)	15-17 лет / years (n=8)	7-10 лет / years (n=16)	11-14 лет / years (n=13)	15-17 лет / years (n=4)
ЭЦ, ккал EV, kcal	Me	1981	2567 ¹	2778 ¹	1925	1828	2376
	Q25–Q75	1746–2437	2365–2707	2410–3026	1891–2078	1654–2335	1679–3075
	MP / MR	2100	2500	2900	2100	2300	2500
ЭЦ, ккал/кг МТ EV, kcal/kg BW	Me	70 ¹	50 ^{2, 3}	42 ¹	59	38 ¹	35 ¹
	Q25–Q75	58–79	45–56	40–49	55–64	29–44	27–43
	ISSN	40–70					
Белок, г Protein, g	Me	88,1	92,9 ¹	119,0 ¹	63,5	69,1	93,5 ¹
	Q25–Q75	52,4–111,8	83,2–99,0	84,925–137,3	56,0–76,4	55,7–89,8	79,5–108,0
	MP / MR	63	75	69	63	87	75
Белок, г/кг МТ Protein, g/kg BW	Me	2,6	1,6	1,7	1,9	1,4 ¹	1,4 ¹
	Q25–Q75	2,0–3,9	1,5–2,0	1,6–1,8	1,7–2,3	1,2–1,5	1,3–1,5
	ISSN	1,2–2,0					
Белок, % от ЭЦ Protein, % of EV	Me	17,5	15,0	17,5	16,4	14,0	16,5
	Q25–Q75	13,7–18,2	11,5–15,0	13,6–18,1	12,7–17,3	12,8–16,4	14,6–18,4
	MY / MI	15–17					
Жиры, г Fats, g	Me	95,5	96,0 ¹	108,5 ¹	70,0	83,5	108,2
	Q25–Q75	75,2–105,0	90,2–109,3	102,5–116,0	59,7–86,0	76,2–104,0	73,9–140,0
	MP / MR	70	83	97	70	77	83
Жиры, г/кг МТ Fats, g/kg BW	Me	3,1	1,8	1,6 ¹	2,0	1,7 ¹	1,6
	Q25–Q75	1,9–3,5	1,7–2,3	1,5–2,1	1,9–2,6	1,2–2,0	1,3–2,0
	ISSN	–					
Жиры, % от ЭЦ Fats, % of EV	Me	39,8	36,6	35,9	39,8	40,3	40,8
	Q25–Q75	34,8–42,8	30,8–38,7	33,5–39,2	36,3–43,6	37,8–44,5	36,0–45,0
	MY / MI	27–28					
Углеводы, г Carbohydrates, g	Me	235,0	315,0 ¹	282,0 ¹	186,5	202	255,0
	Q25–Q75	199,5–242,5	258,8–337,0	262,0–350,3	143,0–231,8	141,0–224,0	184,3–319,8
	MP / MR	305	363	421	305	334	363
Углеводы, г/кг МТ Carbohydrates, g/kg BW	Me	6,8	5,9 ^{2, 3}	5,0	5,3	4,0 ¹	3,8
	Q25–Q75	5,6–9,0	5,4–6,6	4,2–5,3	4,6–6,6	2,7–4,9	3,0–4,5
	ISSN	6–10					
Углеводы, % от ЭЦ Carbohydrates, % of EV	Me	42,7	48,4	46,2	43,9	45,7	42,7
	Q25–Q75	37,6–45,7	41,9–52,0	39,9–47,3	39,0–47,4	33,2–45,8	38,0–45,7
	MY / MI	55–58					

Примечание. МР – Методические рекомендации 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации»; МУ – Методические указания по питанию юных спортсменов (рекомендуемые величины представлены для игровых видов спорта); ЭЦ – энергетическая ценность; МТ – масса тела; ISSN – Международное общество спортивного питания (рекомендуемые величины представлены для умеренного уровня физических нагрузок в объеме 1–3 ч/сут без учета возраста); статистически значимое отличие ($p < 0,05$) от показателя девушек возрастной группы: ¹ – 7–10 лет; ² – 11–14 лет; ³ – 15–17 лет.

Note. MR – Methodological Recommendations 2.3.1.0253-21 «Norms of physiological requirements in energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation»; MI – Methodological instructions for the nutrition of young athletes (recommended values are presented for team sports); EV – energy value; BW – body weight; ISSN – International Society of Sports Nutrition (recommended values are presented for a moderate level of physical activity in the amount of 1–3 hours/day, regardless of age); statistically significant difference ($p < 0.05$) from girls: ¹ – in the 7–10 age group; ² – in the 11–14 age group; ³ – in the 15–17 age group.

тов, поскольку, несмотря на то что в референтную базу и входят данные популяции детей тех же возрастов, но проживающих в других климатогеографических условиях и имеющих отличительные пищевые привычки, связанные с национальной культурой и особенностями питания (традиционного). Однако многие авторы используют при интерпретации показателей МПКТ нормативные базы прибора [8, 9].

Так, российские нормативы для детей в зависимости от возраста и пола были изложены в 2006 г. Л.А. Щеплягиной, Е.О. Самохиной, Т.Ю. Моисеевой [10]. Сравнение полученных нами данных с российскими референтными значениями показало, что нормативного уровня показателей SOS на участке предплечья среди девушек-теннисисток достигли 9 (32,1%) спортсменок из 28, а среди юношей – 10 (47,6%) теннисистов из 21. Абсолют-

ный показатель SOS по участку голени у девушек, соответствующий или превышающий диапазон нормативных значений, наблюдался у 20 (71,4%) спортсменок, а среди юношей – у 12 (57,1%) человек.

Помимо анализа состояния МПКТ была проведена оценка потребления юными теннисистами энергии и макронутриентов как важных модифицируемых факторов, имеющих влияние на костную плотность. Результаты оценки питания в виде среднесуточного потребления, исходя из данных о химическом составе рациона за 2 тренировочных и 1 выходной день, представлены в табл. 2.

Следует учитывать, что в МР 2.3.1.0253-21 не отражены уровни физической активности детей до 18 лет, что особенно важно для юных спортсменов, ведь физическая нагрузка, характерная для тренировочного процесса теннисистов, вносит дополнительный вклад в суточные энерготраты, что требует больших величин энергопотребления по сравнению с представленными для детского населения в целом. При оценке удельной ЭЦ рациона дефицит наблюдался у девушек-теннисисток 11–14 (8 из 13 спортсменок) и 15–17 лет (2 из 4).

При этом следует иметь в виду, что достаточно часто результаты, полученные при оценке рациона методом 24-часового воспроизведения питания, могут быть занижены относительно реальных данных о потреблении пищевых веществ и энергии за сутки на 15–20%. Это связано с индивидуальными факторами, такими как отношение к опросу, наличие повышенного или, наоборот, низкого ИМТ, «страх» набора МТ, что чаще проявляется среди девушек, и с прочими аспектами [11–13].

Структура ЭЦ рациона оказывает существенное влияние на компонентный состав тела спортсмена, который, в свою очередь, имеет непосредственное значение в достижении пика физической работоспособности [14]. Как было показано в работе R.L.S.F.Q. Saraiva (2022), наиболее выраженные прямые корреляционные связи были выявлены у юных теннисистов между мышечной массой и результатами таких тестов на физическую работоспособность, как высота прыжка с места, вертикального прыжка, дальность броска набивного мяча, а также с интегральными результатами анаэробного теста (Running-based Anaerobic Sprint Test, RAST) по показателям максимальной, средней и минимальной мощности и отрицательная корреляция со временем спринта на 10 м. При этом взаимосвязь с процентом жировой МТ также была достаточно выраженной, но носила противоположный характер [14].

Вместе с тем полученные нами результаты свидетельствуют о дисбалансе в структуре ЭЦ рациона, что при отсутствии своевременной коррекции может оказывать отрицательное воздействие на компонентный состав тела и, соответственно, уровень физической работоспособности. Так, в соответствии с разработанными ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» Методическими указа-

ниями по питанию юных спортсменов (2017) рекомендуемая структура ЭЦ рационов спортсменов, занятых в игровых дисциплинах, включает долю потребления белка в пределах 15–17%, жиров – 27–28%, углеводов – 55–58% от ЭЦ¹. При этом в ЭЦ фактического рациона доля белка, жиров и углеводов составила соответственно 14,8, 38,3 и 43,9%. В частности, потребление углеводного компонента оказалось недостаточным во всех группах (снижено на 10–15% по доле в ЭЦ рациона), что является существенным отклонением от нормативных значений. Наиболее выраженным оно было при расчете на 1 кг МТ у юношей из возрастной группы 15–17 лет, а также у девушек 11–14 и 15–17 лет. В данных группах потребление углеводов было недостаточным у всех спортсменов, ни у одного респондента оно не достигало нижней границы рекомендуемого диапазона.

Сопоставление фактического потребления углеводов в абсолютных единицах (г) с рекомендуемыми значениями не всегда отражает действительную ситуацию, в частности, при оценке углеводного компонента рациона юных теннисистов младшей возрастной группы. Исходя из представленного в МР 2.3.1.0253-21 рекомендуемого уровня, ни один теннисист 7–10 лет не потреблял необходимое количество углеводов. Однако при учете МТ спортсмена и уровня физической нагрузки у теннисистов младшей возрастной группы отмечалось оптимальное среднесуточное потребление углеводов по сравнению с обследованными из остальных групп, а дефицит в потреблении выявлен у 12 из 27 теннисистов. Вследствие этого, учет и сопоставление удельного и абсолютного потребления является важным аспектом в оценке и корректной интерпретации полученных данных.

Медианные значения доли белкового компонента в ЭЦ рациона находились в пределах рекомендуемых величин всех спортсменов, кроме возрастной группы 11–14 лет (девушки и юноши), в рационе которой отмечалось незначительное снижение доли белка. Вместе с тем при индивидуальном учете удельного потребления белка отмечено превышение верхней границы референтного диапазона у 15 из 60 респондентов, при этом повышенное потребление наблюдалось только среди детей 7–10 лет, а у 7 из 60 спортсменов выявлено недостаточное потребление белка (менее 1,2 г/кг МТ). При сравнении с нормами физиологической потребности (МР 2.3.1.0253-21) в абсолютных единицах (г/сут) можно отметить, что потребление белка было выше рекомендуемого во всех группах. Однако в данном случае нельзя судить о профицитном потреблении этого макронутриента респондентами всех групп в связи с тем, что спортсмены имеют повышенные потребности в восполнении белка, что не учитывается в рекомендациях для детского населения, также как и индивидуальные показатели МТ.

Согласно современным рекомендациям по питанию для детей и подростков в возрасте от 8 до 19 лет опти-

¹ Никитюк Д.Б., Мирошникова Ю.В., Бурляева Е.А. и др. Методические рекомендации по питанию юных спортсменов. Москва, 2017.

Таблица 3. Потребление кальция, фосфора и витамина D с рационом спортсменами-теннисистами в зависимости от возраста и пола

Table 3. Dietary intake of calcium, phosphorus and vitamin D by tennis players depending on age and gender

Микронутриент Micronutrient		Юноши / Boys (n=33)			Девушки / Girls (n=27)		
		7-10 лет / years (n=11)	11-14 лет / years (n=8)	15-17 лет / years (n=8)	7-10 лет / years (n=11)	11-14 лет / years (n=8)	15-17 лет / years (n=8)
Ca, мг / mg	Me	783	778	1047	690	716	1005
	Q25-Q75	490-1107	676-1086	860-1244	572-777	638-950	795-1214
	MP / MR	1100	1200		1100	1200	
P, мг / mg	Me	1482	1336	1544	1001	1162	1570
	Q25-Q75	974-1697	1238-1453	1375-1808	934-1161	877-1317	1344-1824
	MP / MR	800	900		800	900	
D, мкг / µg	Me	1,1	1,8	1,9	1,1	0,7	2,4
	Q25-Q75	0,6-1,4	1,0-2,5	0,7-2,8	0,6-1,4	0,6-1,1	1,9-4,8
	MP / MR	15					

П р и м е ч а н и е. MP – Методические рекомендации 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации».

N o t e. MR – Methodological Recommendations 2.3.1.0253-21 «Norms of physiological requirements in energy and nutrients for various population groups of the Russian Federation».

мальным считается ежедневное потребление белка в диапазоне 0,75–1,05 г/кг МТ. Однако в позициях международных ассоциаций в области питания спортсменов обычно рекомендуется потреблять 1,2–2,0 г/кг МТ в сутки для поддержания мышечной массы, восстановления и адаптации к тренировкам [15].

У юных теннисистов в возрасте 7–10 лет (мальчики), участвовавших в исследовании состояния костной ткани, уровень потребления белка превышал верхнюю границу рекомендуемого диапазона в 7 из 9 случаев, а максимальное значение по группе составило 3,9 г/кг МТ, что практически в 2 раза выше нормативных значений. При этом у них выявлялась положительная корреляция между долей белка в структуре ЭЦ и Z-индексом на участке лучевой кости ($p=0,583$; $p=0,045$). Тем временем у юношей в возрасте 15–17 лет выявлена положительная связь между МПКТ на том же участке измерения и абсолютными значениями ЭЦ рациона ($p=0,900$; $p=0,037$).

Уровень потребления жиров был повышен при сопоставлении с нормами физиологических потребностей в абсолютных единицах согласно МР 2.3.1.0253-21 у 45 из 60 спортсменов, тогда как доля жирового компонента в структуре ЭЦ рациона являлась повышенной у всех респондентов вне зависимости от возраста и пола, при учете дефицита энергии у девушек 11–14 и 15–17 лет. Отмечена статистически значимая отрицательная корреляционная связь между долей в ЭЦ рациона ($p=-0,900$; $p=0,037$), удельным ($p=-0,894$; $p=0,041$) и абсолютным ($p=-0,900$; $p=0,037$) содержанием жирового компонента и показателем МПКТ лучевой кости у юношей 15–17 лет, тогда как в остальных группах значимых взаимосвязей с потреблением жиров не выявлено.

Результаты оценки поступления с рационом микронутриентов, оказывающих максимальное влияние на состояние костной ткани – кальция, фосфора и витамина D, проведенной методом 24-часового воспроизведения питания за 3 дня опроса, представлены в табл. 3.

Медианные внутригрупповые значения потребления с пищей кальция и витамина D были снижены относительно рекомендуемых уровней у обследованных из всех групп. В свою очередь потребление фосфора во всех группах вне зависимости от возраста и пола было повышено, при этом нарушено соотношение в рационе Ca : P. Поступление фосфора с рационом превышало содержание в нем кальция в 1,5–1,9 раза. Полученные нами результаты согласуются с данными, представленными в работе по оценке потребления энергии и микронутриентов у американских студенток-спортсменок, занимающихся различными видами спорта, включая теннис, с помощью 3-дневных дневников питания, у которых среднее потребление кальция составляло 63,1% от рекомендуемого уровня, в частности 64,5% у теннисисток [16], а также данными обследования японских студентов-бейсболистов с помощью частотного метода, выявившего сниженное относительно рекомендуемой суточной нормы медианное потребление кальция (524 мг/сут) при повышенном поступлении фосфора (1126 мг/сут) [17]. Сниженное поступление кальция с рационом за счет недостаточного потребления молочных продуктов характерно и для большинства детского населения РФ [18] и выявляется при оценке региональных особенностей питания детей среднего школьного возраста (11–16 лет) [19].

Согласно федеральным клиническим рекомендациям по диагностике, лечению и профилактике остеопороза значимой составляющей в профилактике патологии скелета является оптимальная обеспеченность белком, витамином D и адекватное потребление кальция [20], основными источниками которых являются мясные, рыбные и молочные продукты. Статистически значимых различий в потреблении групп продуктов – основных источников белка, кальция и витамина D – среди спортсменов с низкой и нормальной костной плотностью не выявлено. Количество порций этих продуктов в рационе спортсменов с низкой МПКТ (<-2 SD) на участках пред-

плечья и голени было ниже всего на 0,12 и 0,41 порции в сутки соответственно для мяса, на 0,09 и 0,10 для рыбы и 0,08 и 0,59 для молочных продуктов ($p > 0,05$).

Поддержание оптимального уровня кальция зависит от интенсивности его абсорбции в кишечнике, которая контролируется активными метаболитами витамина D. Отрицательный баланс кальция может возникать в связи с его недостаточным потреблением с пищей, а также из-за низкого содержания витамина D, основным источником которого является рыба (жирные сорта рыбы, печень трески, икра). Рекомендуемое количество порций рыбы составляет 2–3 в неделю². Потребление рыбы было недостаточным у спортсменов во всех группах, индивидуальное максимальное потребление рыбы составляло 1,12 порции в неделю, а минимальное – 0. Полученные результаты можно связать с пищевыми привычками исследуемого контингента спортсменов, а также недостаточным уровнем знаний в аспектах оптимизации рациона и важности потребления рыбы.

Заключение

По результатам исследования были выявлены нарушения структуры ЭЦ рациона, выражающиеся в избыточном потреблении жирового компонента и дефиците углеводной составляющей. Отмечена положительная роль сопоставления абсолютных и удельных величин энергопотребления с целью наиболее корректной интерпретации полученных данных с учетом МТ и уровня физической нагрузки.

Изучена распространенность снижения МПКТ и ее корреляции с фактическим питанием (потребление энергии и макронутриентов). Для спортсменов группы риска рекомендовано дополнительное обследование у профильного специалиста и проведение рентгеновской остеоденситометрии.

Разработаны индивидуальные рекомендации по коррекции рациона с учетом данных об уровне физической нагрузки и состоянии МПКТ. Для профилактики развития остеопении рекомендуется потребление низкожирных молочных и кисломолочных продуктов – источников белка и кальция (2–3 порции в сутки), а также рыбы как основного источника витамина D, влияющего на усвоение кальция. В питании рекомендуется использовать мясopодукты с низким содержанием жира (постные сорта говядины, свинины, нежирное мясо птицы), ограничить потребление колбасных изделий, сосисок и копченостей, а также расширить в рационе ассортимент продуктов, содержащих сложные (медленные) углеводы, т.е. крупяных блюд. Потребление жиров и добавленного сахара (в составе кондитерских изделий, фастфуда, снеков) необходимо ограничить.

За счет комплексного и своевременного анализа фактического питания и показателей физического развития можно избежать нарушений в состоянии здоровья юных спортсменов, в частности снижения МПКТ, добиться улучшения исследуемых показателей и общей работоспособности. В дальнейших исследованиях актуальной является оценка различий в МПКТ доминантной и недоминантной руки с целью анализа влияния специфической тренировочной нагрузки на состояние костной ткани.

Сведения об авторах

Мезенцева Юлия Андреевна (Yulia A. Mezentseva) – младший научный сотрудник лаборатории антропнyтpициологии и спортивного питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: yuliaseledkova0304@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0349-1688>

Шурова Злата Михайловна (Zlata M. Shurova) – младший научный сотрудник лаборатории антропнyтpициологии и спортивного питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: zlata.shurova@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0000-7270-198X>

Баландин Михаил Юрьевич (Mikhail Yu. Balandin) – научный сотрудник ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (Москва, Российская Федерация)

E-mail: balandinm87@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3137-9880>

Солнцева Татьяна Николаевна (Tatyana N. Solntseva) – кандидат медицинских наук, научный сотрудник лаборатории иммунологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: t_solntseva@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7450-8873>

Вржесинская Оксана Александровна (Oksana A. Vrzhesinskaya) – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: vr.oksana@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8973-8153>

² Приказ Минздрава России «Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания» от 30.12.2022 № 821.

Андропова Мария Сергеевна (Maria S. Andronova) – аспирант, лаборант-исследователь лаборатории демографии и эпидемиологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: andronova@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1214-7344>

Компайнцева Дарья Михайловна (Daria M. Kompaintseva) – аспирант ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: pestrolistay@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0006-5232-8659>

Никитюк Дмитрий Борисович (Dmitry B. Nikityuk) – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», профессор кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФGAOY BO Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), профессор кафедры экологии и безопасности пищи Института экологии ФGAOY BO РУДН им. П. Лумумбы (Москва, Российская Федерация)

E-mail: dimitrynik@mail.ru

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

Литература

1. Никитина К.И., Выходец И.Т., Абрамова Т.Ф., Никитина Т.М. Влияние профессиональной спортивной деятельности на минеральную плотность кости (обзор литературы) // Российский остеопатический журнал. 2024. № 1. С. 106–117. DOI: <https://doi.org/10.32885/2220-0975-2024-1-106-117>
2. Adamczyk P., Pluskiewicz W. Karate training improves skeletal status assessed by quantitative ultrasound in girls and premenopausal women // J. Clin. Densitom. 2020. Vol. 23, N 2. P. 314–321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2018.07.008>
3. Schreiber V.M. Stress fractures and overuse injuries in children and adolescents // J. Pediatr. Orthop. Soc. North Am. 2024. Vol. 7. Article ID 100029. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jposna.2024.100029>
4. Kopiczko A. Factors affecting bone mineral density in young athletes of different disciplines: a cross-sectional study // Arch. Budo Sci. Martial Art Extreme Sport. 2023. Vol. 19. P. 75–84.
5. 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>
6. Ferjani H.L., Cherif I., Nessib D.B., Kaffel D., Maatallah K., Hamdi W. Pediatric and adult osteoporosis: a contrasting mirror // Ann. Pediatr. Endocrinol. Metab. 2024. Vol. 29, N 1. P. 12–18. DOI: <https://doi.org/10.6065/apem.2346114.057>
7. Jonvik K.L., Torstveit M.K., Sundgot-Borgen J., Mathisen T.F. Do we need to change the guideline values for determining low bone mineral density in athletes? // J. Appl. Physiol. 2022. Vol. 132, N 5. P. 1320–1322. DOI: <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00851.2021>
8. Василевска В.А., Маринич Т.В. Влияние специфической двигательной нагрузки на минеральную плотность костной ткани у спортсменов 16–20 лет // Здоровье для всех. 2023. № 1. С. 11–15.
9. Конь И.Я., Сафронова А.И., Коростелева М.М., Тоболева М.А., Алешина И.В., Куркова В.И. и др. Костная прочность у московских детей дошкольного возраста: возможное влияние алиментарных факторов // Вопросы детской диетологии. 2016. Т. 14, № 3. С. 5–9. DOI: <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2016-3-5-9>
10. Самохина Е.О., Щеплягина Л.А., Моисеева Т.Ю. Количественная ультрасонометрия в оценке возрастных показателей костной прочности у детей // Российский педиатрический журнал. 2006. № 4. С. 12–16.
11. Saravia L., Moliterno P., Skapino E., Moreno L.A. Food diary, food frequency questionnaire, and 24-hour dietary recall // Basic Protocols in Foods and Nutrition (Series: Methods and Protocols in Food Science) / ed. C.B. Betim Cazarin. New York, NY : Springer, 2022. P. 223–247. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2345-9> ISBN: 978-1-0716-2344-2.
12. Martinho D.V., Gonzalo-Skok O., Chamari K., Field A., Clemente F.M., Rebelo A. et al. Nutrition as a missing piece in the development of youth male soccer players: a scoping review and future directions // Biol. Sport. 2026. Vol. 43. P. 291–317. DOI: <https://doi.org/10.5114/biolSport.2025.151654>
13. Hopkins M., Michalowska J., Whybrow S., Horgan G.W., Stubbs R.J. Identification of psychological correlates of dietary misreporting under laboratory and free-living environments // Br. J. Nutr. 2021. Vol. 126, N 2. P. 264–275. DOI: <https://doi.org/10.1017/S000711452000389X>
14. Saraiva R.L. Body Composition, Dietary Intake and Physical Performance in Young Female and Male Tennis and Padel Players. 2022. DOI: <https://doi.org/10.216/144149>
15. Everett S. Optimizing performance nutrition for adolescent athletes: a review of dietary needs, risks, and practical strategies // Nutrients. 2025. Vol. 17, N 17. P. 2792. DOI: <https://doi.org/10.3390/nul17172792>
16. Victor R.L., Nishisaka M.M., McGrath A.F., Gladding M.K., Grosskopf L., Ben-Moshe H. et al. Suboptimal caloric and micronutrient intakes in female student athletes across several division 1 collegiate sports // Nutrients. 2025. Vol. 17, N 22. P. 3625. DOI: <https://doi.org/10.3390/nul17223625>
17. Iio Y., Kozai H., Tanaka M., Mori Y., Seguchi M., Aoyama Y., Ito M. Survey of nutritional intake status in college baseball players // J. Int. Soc. Sports Nutr. 2025. Vol. 22, N 1. Article ID 2459090. DOI: <https://doi.org/10.1080/15502783.2025.2459090>
18. Мартинчик А.Н., Кешабянц Э.Э., Камбаров А.О., Пескова Е.В., Брянцева С.А., Базарова Л.Б. и др. Кальций в рационе детей дошкольного и школьного возраста: основные пищевые источники и факторы, влияющие на потребление // Вопросы питания. 2018. Т. 87, № 2. С. 24–33. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10015>
19. Зеленковская Е.Е., Даукаев Р.А., Ларионова Т.К., Мусабилов Д.Э., Аллаурова Г.Р., Аухадиева Э.А. и др. Региональные особенности питания детей среднего школьного возраста // Якутский медицинский журнал. 2025. № 1. С. 40–44. DOI: <https://doi.org/10.25789/YMJ.2024.85.11>
20. 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>

References

1. Nikitina K.I., Vykhodets I.T., Abramova T.F., Nikitina T.M. Influence of professional sports activities on bone mineral density (literature review). Rossiyskiy osteopatcheskij zhurnal [Russian Osteopathic Journal]. 2024; (1): 106–117. DOI: <https://doi.org/10.32885/2220-0975-2024-1-106-117> (in Russian)
2. Adamczyk P., Pluskiewicz W. Karate training improves skeletal status assessed by quantitative ultrasound in girls and premenopausal women. J Clin Densitom. 2020; 23 (2): 314–21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2018.07.008>
3. Schreiber V.M. Stress fractures and overuse injuries in children and adolescents. J Pediatr Orthop Soc North Am. 2024; 7: 100029. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jposna.2024.100029>
4. Kopiczko A. Factors affecting bone mineral density in young athletes of different disciplines: a cross-sectional study. Arch Budo Sci Martial Art Extreme Sport. 2023; 19: 75–84.
5. 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)

6. Ferjani H.L., Cherif I., Nessib D.B., Kaffel D., Maatallah K., Hamdi W. Pediatric and adult osteoporosis: a contrasting mirror. *Ann Pediatr Endocrinol Metab.* 2024; 29 (1): 12–8. DOI: <https://doi.org/10.6065/apem.2346114.057>
7. Jonvik K.L., Torstveit M.K., Sundgot-Borgen J., Mathisen T.F. Do we need to change the guideline values for determining low bone mineral density in athletes? *J Appl Physiol.* 2022; 132 (5): 1320–2. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00851.2021>
8. Vasilevska V.A., Marinich T.V. The influence of specific motor load on bone mineral density in athletes aged 16–20. *Zdorov'e dlya vseh [Health for All].* 2023; (1): 11–15. (in Russian)
9. Kon' I.Ya., Safronova A.I., Korosteleva M.M., Toboleva M.A., Aleshina I.V., Kurkova V.I., et al. Bone strength in Moscow pre-school children: possible influence of alimentary factors. *Voprosy detskoy dietologii [Problems of Pediatric Nutrition].* 2016; 14 (3): 5–9. DOI: <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2016-3-5-9> (in Russian)
10. Samokhina E.O., Shcheplyagina L.A., Moiseeva T.Yu. Quantitative ultrasonometry in the assessment of age-related bone strength parameters in children. *Rossiyskiy pediatricheskiy zhurnal [Russian Journal of Pediatrics].* 2006; (4): 12–6. (in Russian)
11. Saravia L., Moliterno P., Skapino E., Moreno L.A. Food diary, food frequency questionnaire, and 24-hour dietary recall. In: C.B. Betim Cazarin 9ed.). *Basic Protocols in Foods and Nutrition (Series: Methods and Protocols in Food Science).* New York, NY: Springer, 2022: 223–47. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2345-9> ISBN: 978-1-0716-2344-2.
12. Martinho D.V., Gonzalo-Skok O., Chamari K., Field A., Clemente F.M., Rebelo A., et al. Nutrition as a missing piece in the development of youth male soccer players: a scoping review and future directions. *Biol Sport.* 2026; 43: 291–317. DOI: <https://doi.org/10.5114/biol-sport.2025.151654>
13. Hopkins M., Michalowska J., Whybrow S., Horgan G.W., Stubbs R.J. Identification of psychological correlates of dietary misreporting under laboratory and free-living environments. *Br J Nutr.* 2021; 126 (2): 264–75. DOI: <https://doi.org/10.1017/S000711452000389X>
14. Saraiva R.L. Body Composition, Dietary Intake and Physical Performance in Young Female and Male Tennis and Padel Players. 2022. DOI: <https://doi.org/10.216/144149>
15. Everett S. Optimizing performance nutrition for adolescent athletes: a review of dietary needs, risks, and practical strategies. *Nutrients.* 2025; 17 (17): 2792. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu17172792>
16. Victor R.L., Nishisaka M.M., McGrath A.F., Gladding M.K., Grosskopf L., Ben-Moshe H., et al. Suboptimal caloric and micronutrient intakes in female student athletes across several division 1 collegiate sports. *Nutrients.* 2025; 17 (22): 3625. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu17223625>
17. Iio Y., Kozai H., Tanaka M., Mori Y., Seguchi M., Aoyama Y., Ito M. Survey of nutritional intake status in college baseball players. *J Int Soc Sports Nutr.* 2025; 22 (1): 2459090. DOI: <https://doi.org/10.1080/15502783.2025.2459090>
18. Martinchik A.N., Keshabyants E.E., Kambarov A.O., Peskova E.V., Bryantseva S.A., Bazarova L.B., et al. Dietary intake of calcium in pre-school and school children in Russia: main food sources and eating occasions. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition].* 2018; 87 (2): 24–33. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10015> (in Russian)
19. Zelenkovskaya E.E., Daukaev R.A., Larionova T.K., Musabirov D.E., Allayarova G.R., Aukhadieva E.A., et al. Regional nutritional characteristics of middle school age children. *Yakutskiy meditsinskiy zhurnal [Yakut Medical Journal].* 2025; (1): 40–4. DOI: <https://doi.org/10.25789/YMJ.2024.85.11> (in Russian)
20. Nikitina K.I., Strel'nikova 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)

Для корреспонденции

Детинкин Илья Александрович (Ilya A. Detinkin) – магистрант кафедры биотехнологии и биоорганического синтеза ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ»

Адрес: 125080, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11

Телефон: (499) 750-01-11

E-mail: detinkin02@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-0985-9505>

Фоменко В.В.¹, Детинкин И.А.¹, Чернуха И.М.², Машенцева Н.Г.¹, Большев Н.А.¹

Изучение протеолиза соевого белка пищеварительными ферментами и описание пептидного профиля полученных гидролизатов

A study of soy protein proteolysis by digestive enzymes and description of the peptide profile of the obtained hydrolysates

Fomenko V.V.¹, Detinkin I.A.¹, Chernukha I.M.², Mashentseva N.G.¹, Bolshev N.A.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», 125080, г. Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, 109316, г. Москва, Российская Федерация

¹ Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), 125080, Moscow, Russian Federation

² V.M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of RAS, 109316, Moscow, Russian Federation

Исследование протеолиза растительных белков привлекает все большее внимание. При воздействии протеолитических ферментов на растительные белки могут выделяться пептиды, проявляющие различную биологическую активность. Являясь естественным механизмом переваривания белков в организме, протеолитический гидролиз успешно адаптирован для применения в пищевых технологиях с целью модификации функциональных и биологических свойств белковых ингредиентов.

Цель настоящей работы – исследование действия пищеварительных ферментов на соевый белок in vitro и анализ пептидного профиля полученных гидролизатов с применением инструментов in silico.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Вклад авторов. Дизайн исследования – Чернуха И.М., Машенцева Н.Г.; сбор и обработка результатов исследований – Фоменко В.В., Детинкин И.А.; проведение эксперимента – Детинкин И.А., Большев Н.А.; написание текста – Фоменко В.В., Детинкин И.А., Большев Н.А.; редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Фоменко В.В., Детинкин И.А., Чернуха И.М., Машенцева Н.Г., Большев Н.А. Изучение протеолиза соевого белка пищеварительными ферментами и описание пептидного профиля полученных гидролизатов // Вопросы питания. 2026. Т. 95, № 2. С. 70–91. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-70-91>

Статья поступила в редакцию 18.12.2025. **Принята в печать** 06.04.2026.

Funding. The study was not sponsored.

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

Contribution. Research design – Chernukha I.M., Mashentseva N.G.; collection and processing of the research results – Fomenko V.V., Detinkin I.A.; experiment – Detinkin I.A., Bolshev N.A.; writing text – Fomenko V.V., Detinkin I.A., Bolshev N.A.; editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Fomenko V.V., Detinkin I.A., Chernukha I.M., Mashentseva N.G., Bolshev N.A. A study of soy protein proteolysis by digestive enzymes and description of the peptide profile of the obtained hydrolysates. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2026; 95 (2): 70–91. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-70-91> (in Russian)

Received 18.12.2025. **Accepted** 06.04.2026

Материал и методы. Протеолиз изолята соевого белка (с содержанием белка 89%) проводили с применением ферментов трипсина (при pH $7,8 \pm 0,1$), пепсина (при pH $2,0 \pm 0,1$), а также их последовательного действия – гидролиза сначала пепсином (в течение 2 ч), а затем трипсином (2 ч). Степень гидролиза рассчитывали как соотношение концентрации выделившегося в процессе протеолиза аминного азота к содержанию общего азота в суспензии до гидролиза. Идентификацию доминирующих пептидов проводили методом наножидкостной хроматографии с тандемной масс-спектрометрией. Для прогнозирования биологической активности доминирующих пептидных последовательностей в гидролизатах использовали базы данных BIOPEP-UWM, AntiBP3, Antifp, AntiCP 2.0, AntiTbPred. Токсичность пептидов оценивали при помощи ToxinPred3.0. Для молекулярного докинга использовали программное обеспечение AutoDock Vina 1.2.7.

Результаты. При обработке трипсином (200 ед. ПС/г) в течение 4 ч при дозировке фермента 4% степень гидролиза составила 5,38%, при обработке пепсином (420 ед. ПС/г) и той же дозировке фермента в течение 4 ч с учетом оптимальных значений pH удалось достигнуть степени гидролиза 7,06%. При последовательном протеолизе этими ферментами была достигнута степень гидролиза 7,71%. На основе масс-спектрометрических данных были проанализированы *in silico* 37 наиболее распространенных пептидных последовательностей, присутствующих в гидролизатах. Доминирующими свойствами, спрогнозированными для обнаруженных пептидных последовательностей, были способность к ингибированию ангиотензин-превращающего фермента (АПФ) и дипептидилпептидазы 4 (ДПП-4), а также онкостатические свойства. С помощью молекулярного докинга была оценена энергия связывания некоторых пептидов с ферментами ДПП-4 и АПФ. Низкая энергия связывания с ДПП-4 ($-8,154$ ккал/моль) была отмечена у пептида ATISDQPRGSY, а пептиды LAIPVKNKPGRF, TTVPPHSVQVHTTTHRYEAGVVPARF, AQGRINEATQGTU, ATISDQPRGSY и VSIHDTNSLENQLDQMPRRF обладали низким показателем связывания с АПФ ($<-8,5$ ккал/моль), что указывает на потенциально высокую ингибирующую активность этих пептидов в отношении ДПП-4 и АПФ.

Заключение. Настоящее исследование описывает ряд новых биологически активных пептидов из сои, которые могут образовываться при протеолизе пепсином и трипсином. Полученные данные представляют основу для дальнейшего исследования биологической активности полученных гидролизатов и идентифицированных пептидов, что может быть полезно для будущей разработки технологий функциональных продуктов и компонентов из соевого белка. Другим направлением исследований (ввиду происхождения исследуемых ферментов) может служить поиск идентифицированных пептидов в условиях, приближенных к пищеварению человека, что позволит расширить знания о механизмах физиологического действия соевого белка при употреблении в пищу. Дальнейшие исследования целесообразно направить на химический синтез пептидов, обнаруженных в настоящем исследовании, для изучения их свойств *in vitro* и *in vivo*.

Ключевые слова: биологически активные пептиды; гидролизаты соевого белка; антигипертензивные пептиды; ингибиторы дипептидилпептидазы 4; пепсин; трипсин; молекулярный докинг

The study of proteolysis of plant proteins is attracting increasing attention. When proteolytic enzymes act on plant proteins, peptides with different biological activities can be released. Proteolytic hydrolysis, being a natural mechanism of protein digestion in the body, has been successfully adapted for use in food technology in order to modify the functional and biological properties of protein ingredients.

The purpose of this work was to study the effect of digestive enzymes on soy protein *in vitro* and analyze the peptide profile of the obtained hydrolysates using *in silico* instruments.

Material and methods. The proteolysis of soy protein isolate (with a protein content of 89%) was carried out using the enzymes trypsin (at pH 7.8 ± 0.1), pepsin (at pH 2.0 ± 0.1), as well as their sequential action – hydrolysis first with pepsin (for 2 hours), and then with trypsin (2 hours). The degree of hydrolysis was calculated as the ratio of the concentration of amine nitrogen released during proteolysis to the total nitrogen content in the suspension before hydrolysis. The dominant peptides were identified using the nano-LC-MS/MS method. The databases BIOPEP-UWM, AntiBP3, Antifp, AntiCP 2.0, and AntiTbPred were used to predict the biological activity of the dominant peptide sequences in hydrolysates. The toxicity of the peptides was assessed using ToxinPred3.0. AutoDock Vina 1.2.7 software was used for molecular docking.

Results. When treated with trypsin (200 U/g) at an enzyme dosage of 4% for 4 hours, the degree of hydrolysis was 5.38%, when treated with pepsin (420 U/g) at the same enzyme dosage for 4 hours, taking into account optimal pH values, the degree of hydrolysis was 7.06%. With sequential proteolysis by these enzymes, a hydrolysis rate of 7.71% was achieved. Based on mass spectrometric data, 37 of the most common peptide sequences present in hydrolysates were analyzed *in silico*. The dominant properties predicted for the discovered peptide sequences were the ability to inhibit angiotensin-converting enzyme (ACE) and dipeptidyl peptidase IV (DPP-IV), as well as oncostatic properties. The binding energy of some peptides to DPP-IV and ACE enzymes was also estimated using molecular docking. A low binding energy to DPP-IV (-8.154 kcal/mol) was observed in the ATISDQPRGSY peptide, while the LAIPVNKPGRF, TTVPPHSVQVHTTTTHRYEAGVPPARF and VSIIDTNSLENQLDQMPRRF peptides had a low binding index to ACE (<-8.5 kcal/mol), indicating a potentially high inhibitory activity of these peptides against DPP-IV and ACE.

Conclusion. The present study describes a number of new bioactive peptides from soy that can be formed during proteolysis by pepsin and trypsin. The data obtained form the basis for further investigation of the biological activity of the obtained hydrolysates and the identified peptides, which in the future may be useful for the development of technologies for functional products and components from soy protein. Another area of further research (in view of the origin of the enzymes under study) may be the search for identified peptides in conditions close to human digestion, which will expand knowledge about the mechanisms of the physiological effect of soy protein when consumed. It is advisable to direct further research to the chemical synthesis of the peptides found in this research in order to study their properties *in vitro* and *in vivo*.

Keywords: bioactive peptides; soy protein hydrolysates; antihypertensive peptides; dipeptidyl peptidase IV; inhibitors; pepsin; trypsin; molecular docking

В последнее время все больше внимания уделяется натуральным ингредиентам и продуктам из растительного сырья, которые могут способствовать укреплению здоровья, а также профилактике и лечению ряда заболеваний. Известно, что характер питания оказывает существенное влияние на патогенез многих заболеваний человека [1]. Например, в контексте онкозаболеваний подчеркивается, что их развитие имеет причинную связь с факторами образа жизни, в том числе и с рационом питания [2–4]. Одними из кандидатов на роль натуральных ингредиентов, способных оказывать положительное влияние на здоровье, являются биологически активные пептиды (БАП), изучение которых представляет интерес для современной диетологии и нутрициологии [5, 6]. Данные молекулы, встроенные в первичную структуру белка-предшественника, высвобождаются в процессе его расщепления и способны проявлять широкий спектр биологической активности [5–7]. Они могут образовываться в процессе пищеварения *in vivo*, ферментативного гидролиза *in vitro* или при обработке пищевых продуктов, такой как ферментация микроорганизмами. Эти соединения зачастую безопасны для человека, а также способны быстро проникать в кровеносную систему из тонкой кишки [7]. Высвобождение и последующее взаимодействие пептидов с конкретными рецепторными системами организма (например, с рецепторами GLP-1, регулирующими аппетит и метаболизм глюкозы) лежат в основе их позитивного влияния на некоторые ключевые физиологические процессы в организме [8, 9].

Перспективность БАП закономерно ставит вопрос о выборе подходящего сырья для их промышленного получения. Известны пептиды с различной биологической активностью, обнаруженные в гидролизатах растительных белков: конопли [10], рапса [11], нута [12]. Смещение научного и практического интереса в сторону растительных источников белка обусловлено экономическими предпосылками, экологичностью, а также возможностью решить задачу комплексной переработки побочных продуктов агропромышленного комплекса. В данном контексте особый интерес представляет соя [13–15]. Она является лидирующей масличной культурой и основным источником растительного белка со сбалансированным аминокислотным профилем. Динамичный рост рынка соевых продуктов стимулирует постоянное наращивание объемов переработки соевых бобов [15, 16]. Эта тенденция ярко выражена и в России, где, по данным Росстата, посевные площади сои в 2025 г. увеличились на 10%¹.

Ключевым фактором, определяющим целесообразность использования сои для получения и исследования БАП, является доступность и высокое качество белковых продуктов из нее, в частности изолята белка, получаемого из обезжиренной соевой муки или шрота и содержащего свыше 90% белка. Его производство является важным этапом в малоотходной переработке соевых бобов, следующим за отжимом или экстракцией масла [15]. Высокая степень очистки и стандартизированный состав изолята соевого белка делают его подходящим сырьем для направленного фермен-

¹ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Официальная статистика Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 16.11.2025).

тативного гидролиза, позволяя получать воспроизводимые по составу и активности пептидные фракции, что имеет ключевое значение для фундаментальных исследований и последующего внедрения в практику. Методы *in silico* предоставляют инструмент для предварительного скрининга и прогнозирования биологической активности полученных после гидролиза пептидов. С помощью специализированных биоинформационных баз данных можно с высокой долей вероятности предсказать специфические свойства пептидных последовательностей [17, 18].

Цель настоящего исследования – изучение действия пищеварительных ферментов на соевый белок и исследование пептидного профиля полученных гидролизатов. В работе была предпринята попытка оценить перспективы производства биологически активных гидролизатов и пептидов соевого белка с применением пищеварительных ферментов – трипсина и пепсина. Кроме того, по результатам работы можно оценить потенциальную возможность образования БАП при расщеплении соевого белка в условиях пищеварения человека, однако для полноты этих данных требуются дополнительные эксперименты в физиологически релевантных условиях расщепления.

Материал и методы

Для исследования протеолиза соевого белка использовали изолят соевого белка (Linyi Shansong Biological Products Co., Ltd, КНР) с содержанием сырого протеина 89,03%. Содержание абсолютно сухого вещества (АСВ) в белковом изоляте определяли согласно ГОСТ 31640-2012 «Корма. Методы определения содержания сухого вещества», общего белка – методом Кьельдаля (N-5,71) по ГОСТ 30648.2-99 «Продукты молочные для детского питания. Методы определения общего белка». Для протеолиза использовали ферменты: трипсин из поджелудочной железы быка и пепсин из слизистой оболочки желудка свиней (HiMedia, Индия; артикулы: трипсин – RM618, пепсин – RM712). Активность ферментов определяли по ГОСТ 34430-2018 «Ферментные препараты для пищевой промышленности. Метод определения протеолитической активности» с использованием гемоглобина (Sigma-Aldrich, США) в качестве субстрата.

Гидролиз проводили в конических колбах при постоянном перемешивании 200 об/мин на орбитальном шейкере при поддержании постоянной температуры 37 °C и соотношении фермент/субстрат 1/15. Фермент вносили в количестве 2,0 и 4,0% от массы субстрата. Протеолиз трипсином проводили при pH 7,8±0,1, пепсином – при pH 2,0±0,1. Уровень pH регулировали добавлением 10% раствора соляной кислоты и 10% раствора гидроксида натрия. При последовательном гидролизе пепсином и трипсином изначально вели процесс при pH 2,0 в течение 2 ч при дозировке фермента 2% от массы субстрата, после чего pH суспензии доводили до 7,8 и вносили трипсин также в количестве 2% от массы субстрата.

Для оценки степени гидролиза (СГ) вычисляли соотношение концентрации выделившегося в процессе протеолиза аминного азота к содержанию общего азота в суспензии до гидролиза. Содержание аминного азота определяли методом Серенсена (ОФС.1.2.3.0022.15), а общего азота – методом Кьельдаля согласно ГОСТ 30648.2-99.

Для образцов гидролизатов был проведен электрофорез в полиакриламидном геле в присутствии додецилсульфата натрия (SDS-PAGE) с целью дополнительной оценки степени гидролиза белка. Для проведения анализа использовали камеру для вертикального электрофореза Mini-PROTEAN® Tetra (Bio-Rad, США) и маркер молекулярной массы белков 10–200 кДа (Servicebio, КНР).

Обессоливание образцов перед разделением и идентификацией пептидов выполняли с использованием микроколонок SDB-RPS StageTip (3M, США). Колонки активировали при помощи 100 мкл метанола и уравнивали 50 мкл 0,2% раствора трифторуксусной кислоты (ТФУ). Образцы гидролизатов центрифугировали при 13 000 об/мин в течение 5 мин, после чего загружали на колонки и промывали 50 мкл 0,2% ТФУ. Пептиды элюировали при помощи 60 мкл раствора, содержащего 40% ацетонитрила и 0,1% ТФУ. Полученный элюат высушивали при помощи лиофильной сушилки BK-FD10S (BIOBASE, КНР). Перед дальнейшим анализом образцы растворяли в 40 мкл раствора с 2% ацетонитрила и 0,1% ТФУ.

Разделение и идентификацию пептидов проводили при помощи наножидкостной хроматографии с tandem-масс-спектрометрией (нано-ЖХ-МС/МС) на системе, включающей хроматограф UltiMate 3000 Nano LC System и масс-спектрометр Orbitrap Lumos Tribrid (Thermo Fisher Scientific, США). 2 мкл обессоленных проб загружали на колонку ReproSil-Pur 200 C18-AQ 5 мкм (Dr. Maisch, ФРГ) при скорости потока 4,2 мкл/мин в 2% растворе ацетонитрила с добавлением 0,1% ТФУ. Дальнейшее разделение пептидов осуществляли на колонке ReproSil-Pur C18AQ 1,9 мкм (Dr. Maisch, ФРГ) с использованием двухкомпонентной подвижной фазы при скорости потока 0,5 мкл/мин. В качестве фаз использовали 0,1% муравьиную кислоту (фаза 1) и раствор, содержащий 80% ацетонитрила и 0,1% муравьиной кислоты (фаза 2). Элюирование проводили по линейному градиенту: от 3 до 4% фазы 2 за 5 мин, от 4 до 40% фазы 2 за 53 мин, от 40 до 60% фазы 2 за 7 мин, от 60 до 99% фазы 2 за 6 с, выдерживание при 99% фазы 2 в течение 6 мин, от 99 до 3% фазы 2 за 6 с.

Для масс-спектрометрического анализа использовали режим DDA (Data-Dependent Acquisition). В сканировании MS1 применялось разрешение 60 000 при диапазоне m/z 350–1600. Были установлены стандартный уровень AGC (Automatic Gain Control), время накопления ионов устанавливалось автоматически. В сканировании MS2 применялось разрешение 15 000. Уровень AGC также поддерживался на стандартном уровне. Фрагментацию проводили методом HCD (Higher-Energy Collision Dissociation) с нормализованной энергией столкнове-

ния 30% с ограничением по времени инъекции ионов в 80 мс. Дальнейшую идентификацию пептидных последовательностей проводили с использованием программного обеспечения Peaks Studio 11.0 (Bioinformatics Solutions Inc., Канада) путем поиска в базе данных белковых последовательностей *Glycine max* (база данных UniProt, период обращения: октябрь–декабрь 2025 г.) с допустимой погрешностью массы предшественника ± 10 ppm и массы фрагментов $\pm 0,05$ Да. Также учитывали карбамидометилирование цистеина, окисление метионина, деамидирование аспарагина и глутамина, а также ацетилирование N-конца пептида.

Для выявления наиболее распространенных пептидов в гидролизатах соевого белка проводили анализ относительного содержания пептидов на основе интегрированной площади хроматографических пиков, полученных при нано-ЖХ-МС/МС. Отбор доминирующих пептидных последовательностей осуществляли в программе Microsoft Excel по критерию максимальной площади под пиком, что позволило определить наиболее распространенные и стабильно образующиеся фрагменты при действии каждого протеолитического фермента. Были отобраны пептиды, чье содержание превышало 1% (мажорные пептиды) от общего числа пептидов для каждого гидролизата.

Профиль биологической активности полученных пептидных последовательностей оценивали при помощи базы данных BIOPEP-UWM [19]. Для каждого пептида оценивали коэффициент А (частоту встречаемости биоактивных фрагментов в аминокислотной последовательности, относящихся к определенной активности). Дополнительно оценивали антибактериальные, антигрибковые, онкостатические и противотуберкулезные свойства при помощи баз данных AntiBP3 [20], Antifp [21], AntiCP 2.0 [22] и AntiTbPred [23]. Токсичность пептидов оценивали при помощи ToxinPred3.0 [24]. Пороги вероятности для используемых моделей прогнозирования были выбраны по рекомендациям авторов сервисов (значения по умолчанию). Информация, полученная из используемых баз данных и инструментов, актуальна на ноябрь–декабрь 2025 г. (период проведения и написания работы).

Для наиболее распространенных пептидов в гидролизатах был дополнительно проведен молекулярный докинг. Для визуализации пептидов использовали онлайн-инструмент PepDraw (<https://pepdraw.com/>, период обращения: декабрь 2025 г.). Для молекулярного докинга использовали взаимодействие пептида (лиганда) с белком (рецептором). Структура и последовательность белков-рецепторов были получены в формате PDB на сайте Protein Data Bank (<https://www.rcsb.org/>, период обращения: декабрь 2025 г.). Для рецептора дипептидилпептидазы 4 (ДПП-4) был использован номер в базе – 1J2E (pdb_00001j2e), а для ангиотензин-превращающего фермента (АПФ) – 1O8A (pdb_00001o8a). Подготовку лиганда проводили в программном обеспечении PyMOL (<https://pymol.org/>). Подготовку белка-рецептора осуществляли с использованием программного обеспечения AutoDockTools 1.5.7. В рамках подготовки из

структуры удаляли лишние молекулы, добавляли атомы водорода, необходимые для корректного описания геометрии и взаимодействий, а также присваивали атомам соответствующие частичные заряды. Затем в том же программном пакете настраивали пространство стыковки (докинг-область): определяли координаты центра активного участка белка-рецептора и задавали размеры грид-бокса, охватывающего область связывания лиганда. Процесс стыковки исследуемых пептидов проводили в программном обеспечении AutoDock Vina 1.2.7 (<http://vina.scripps.edu/>). Моделирование процесса стыковки проводили в программе Discovery Studio 2025 Client (<https://www.3ds.com/>). В данной программе избавлялись от лишних молекул и присваивали файлам свойства лиганда и рецептора соответственно. После чего в Discovery Studio 2025 Client анализировали образовавшиеся взаимодействия пептид–белок.

Результаты и обсуждение

Кинетика ферментативного гидролиза изолята соевого белка

В ходе работы были изучены зависимости степени гидролиза белка от времени (рис. 1). Оценка протеолитической активности используемых для проведения гидролиза ферментных препаратов (при использовании гемоглобина в качестве субстрата) показала, что активность трипсина составила 200 ед. ПС/г; пепсина – 420 ед. ПС/г.

Протеолиз трипсином при дозировке 4% позволил достигнуть 5,38% СГ, пепсином в той же дозировке – 7,06%. Известно, что соевые белки содержат большое количество ингибиторов трипсина, чем и может быть обусловлена разница в значениях СГ. Ингибиторы трипсина сои – это низкомолекулярные белки, которые подавляют активность трипсина и широко встречаются в белке сои. Их ингибирующая активность в основном обусловлена 2 полипептидами: ингибитором трипсина типа Кунитца и ингибитором трипсина типа Боумена–Бирка [25, 26]. При последовательном гидролизе пепсином и трипсином в дозировках 2% для каждого фермента удалось достигнуть СГ в 7,71%. Предварительная обработка пепсином перед триптическим гидролизом, вероятно, приводит к частичному расщеплению ингибиторов трипсина, что позволяет получить высокую СГ при аналогичной суммарной дозировке ферментных препаратов (по 2% для каждого фермента).

С. Yin и соавт. сообщили о достижении СГ около 2% при гидролизе изолята соевого белка трипсином (с активностью 250 ед. ПС/мг) при дозировке 0,5% от массы субстрата в течение 30 мин [27]. В настоящей работе наблюдалась СГ 2,57% при гидролизе трипсином в течение 30 мин при дозировке 2% от массы субстрата. Полученные данные в целом коррелируют с данными С. Yin и соавт. с учетом того, что нами был использован фермент с меньшей активностью (около 200 ед. ПС/мг), а также не проводилось предварительное длительное растворение изо-

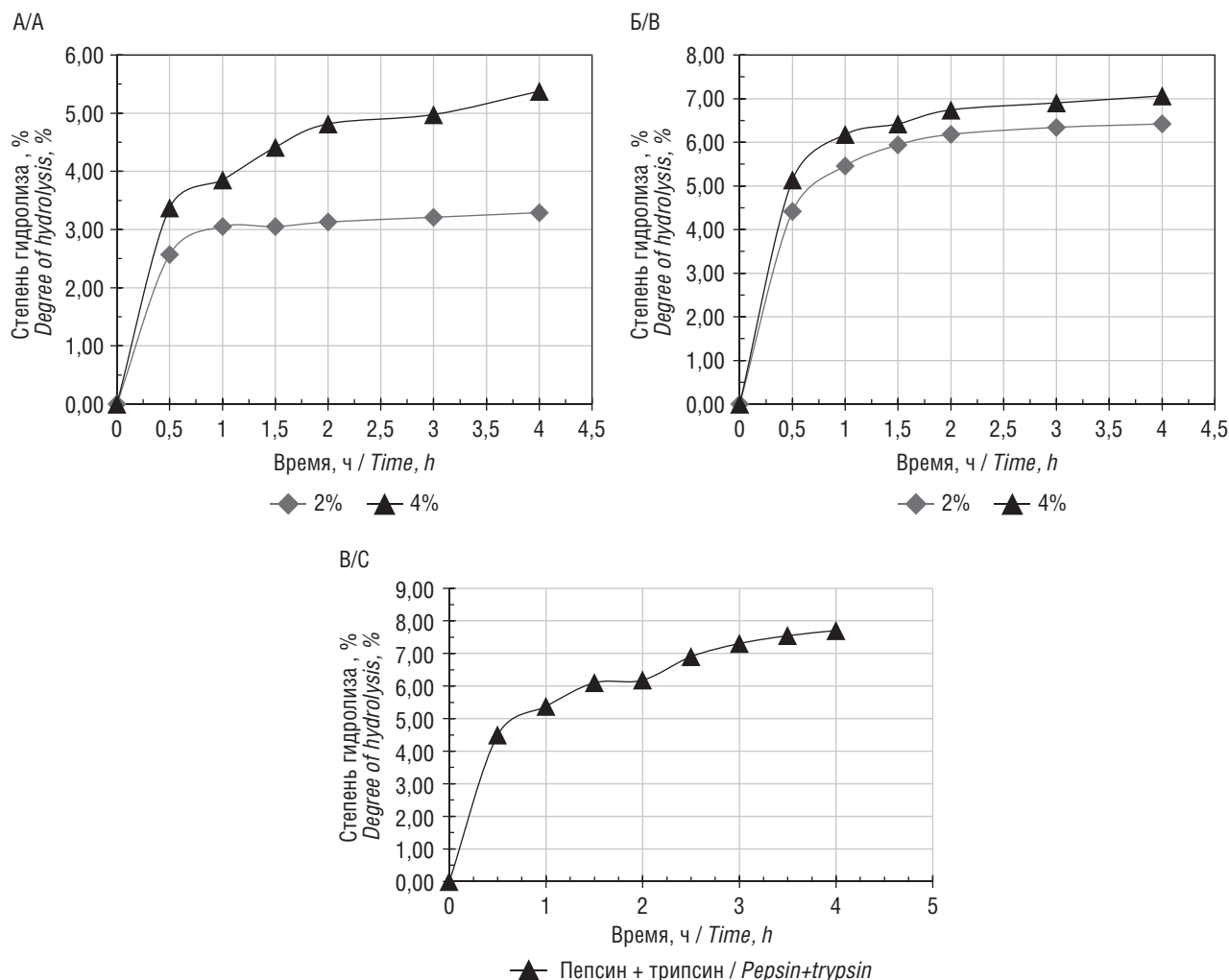


Рис. 1. Динамика протеолиза изолята соевого белка: А – трипсином; Б – пепсином; В – последовательный гидролиз пепсином и трипсином

Fig. 1. Dynamics of proteolysis of soy protein isolate: А – by trypsin; Б – by pepsin; С – sequential hydrolysis by pepsin and trypsin

лята белка в течение 2 ч. Y. Yang и соавт. сообщали о достижении СГ 6,9–8,75% при воздействии пепсина (в виде раствора, имитирующего желудочно-кишечный сок) на различные изоляты соевого белка при дозировке фермента 1% от массы субстрата в течение 2 ч [28]. В настоящем исследовании были получены более низкие значения СГ – 6,18% (дозировка 2%, 2 ч) и 6,74% (дозировка 4%, 2 ч). Кроме того, известна работа, в которой изучали действие пепсина и трипсина на изолят соевого белка при дозировке ферментного препарата 3,33–10% в течение 5 ч протеолиза. Были получены значения СГ в 48–60% после 5 ч гидролиза, что существенно выше, чем в настоящем исследовании и чем в работах других авторов. При этом при действии пепсина СГ была выше, чем при использовании трипсина, что коррелирует с нашими данными. Также был изучен процесс двухстадийного гидролиза пепсином и трипсином и получены значения СГ более 80% после 3 ч гидролиза [14], что также намного выше полученных нами данных.

Существует большое количество факторов, которые могут оказывать влияние на процесс протеолитиче-

ского гидролиза – субстратная специфичность ферментного препарата, различная пробоподготовка. Кроме того, не существует общепринятой методики определения СГ белков, чем также могут быть обусловлены различия между полученными нами и уже опубликованными данными [29]. Настоящее исследование демонстрирует один из возможных вариантов протеолиза соевого белка пищеварительными ферментами и открывает возможности для дальнейшего научного обсуждения вопроса его деструкции.

На рис. 2 представлены результаты SDS-PAGE образцов гидролизатов, полученных в ходе исследования.

Для изолята соевого белка видны полосы в диапазоне молекулярных масс от 45 до 80 кДа (субъединицы β -конглицинина) и полосы в диапазоне от 20 до 45 кДа (различные кислотные и основные субъединицы глицинина) [30]. Гидролиз трипсином не позволил получить высокую степень расщепления белка – на электрофореграмме видны полосы нативных белков сои. Также для этих гидролизатов видны полосы олигопептидов молекулярной массой менее 18 кДа, которые

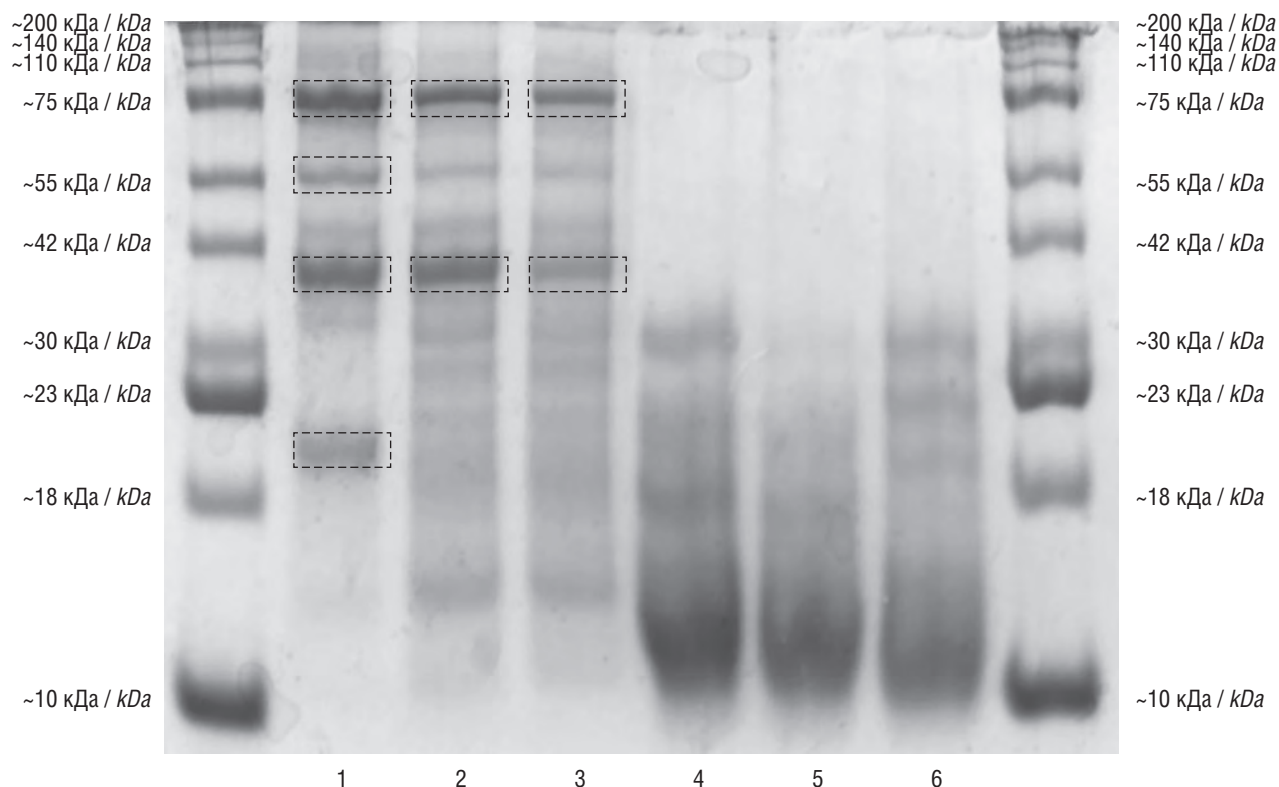


Рис. 2. Электрофореграммы (SDS-PAGE) суспензии нативного изолята белка сои и его гидролизатов

1 – изолят белка сои; 2 – трипсин, 2%; 3 – трипсин, 4%; 4 – пепсин, 2%; 5 – пепсин, 4%; 6 – последовательная обработка пепсином и трипсином.

Fig. 2. SDS-PAGE of native soy protein isolate and its hydrolysate suspensions

1 – soy protein isolate; 2 – trypsin, 2%; 3 – trypsin, 4%; 4 – pepsin, 2%; 5 – pepsin, 4%; 6 – sequential treatment with pepsin and trypsin.

практически отсутствуют у нативного изолята белка. Для гидролизатов, полученных под действием пепсина и последовательной обработки пепсином и трипсином, не обнаружены полосы белков более 42 кДа, а наиболее отчетливо видны полосы олигопептидов молекулярной массой 10–18 кДа.

Идентификация пептидов в гидролизатах

В образцах гидролизатов, полученных под действием трипсина (дозировка 4%, 4 ч гидролиза), пепсина (дозировка 4%, 4 ч гидролиза) и последовательного гидролиза этими ферментами (сначала пепсином, потом трипсином) был проанализирован пептидный профиль методом нано-ЖХ/МС-МС. На рис. 3 представлены масс-спектры изучаемых образцов.

Показанные на рис. 3 масс-спектры демонстрируют различную картину в количестве и интенсивности пиков, что свидетельствует о разной степени и специфичности расщепления белковых молекул. В образцах гидролизатов, полученных под действием трипсина, было идентифицировано 2564 пептида, пепсина – 9993 пептида, при последовательном протеолизе – 10 316 пептидов. Для дальнейшего анализа биологических

свойств были отобраны пептиды, относительное содержание которых в гидролизате составляло более 1% в сравнении с общим количеством пептидов. Для трипсина это 20 пептидов, пепсина – 9, последовательного гидролиза – 12 пептидов. 3 пептида (LRVPSGTTY, LAIPVKNKPGRF и LAFPGSAKDLENL) были идентифицированы как в гидролизатах, полученных под действием пепсина, так и при последовательном гидролизе, а 1 (TTVPPHSVQVHTTTHRYEAGVVPPARF) был обнаружен при последовательной обработке этими ферментами и в гидролизатах, полученных под действием трипсина. Таким образом, среди отобранных мажорных пептидов было обнаружено 37 уникальных аминокислотных последовательностей.

In silico анализ биологической активности идентифицированных пептидов

Первоначально оценивали потенциальную токсичность пептидов при помощи инструмента ToxinPred3.0. В результате анализа не было выявлено пептидов с мотивами, ассоциированными с известными токсинами, что говорит о потенциальной безопасности применения гидролизатов соевого белка в пищевой, фар-

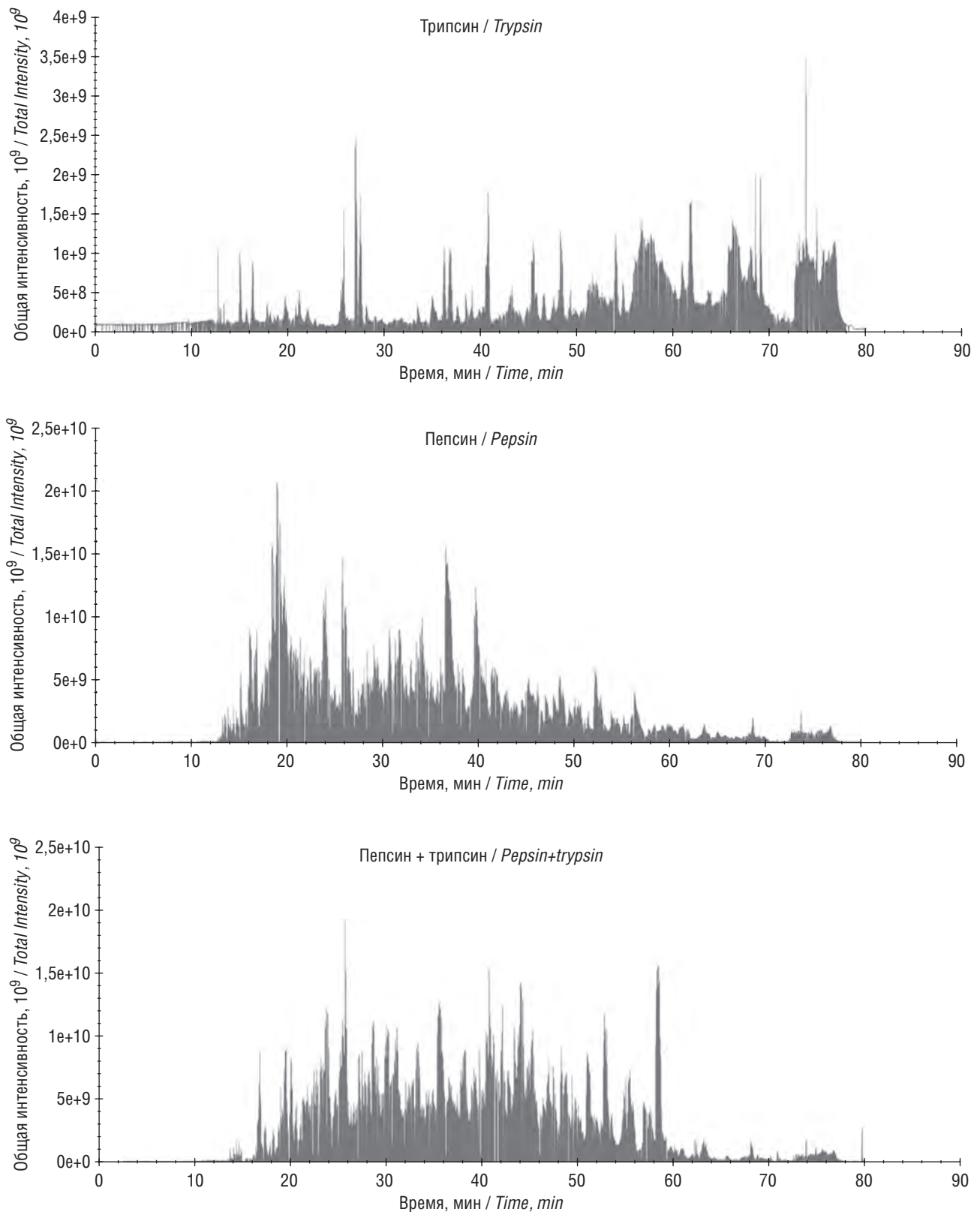


Рис. 3. Масс-спектры образцов гидролизатов изолята соевого белка

Fig. 3. Mass spectra of soy protein isolate hydrolysate samples

мацевтической и других областях промышленности. Для окончательной верификации безопасности выявленных пептидов и гидролизатов целесообразно дополнительное тестирование их цитотоксичности на клеточных линиях в рамках будущих исследований.

Для анализа биологической активности пептидов при помощи инструмента BIOPEP-UWM оценивали коэффициент А. Для каждого пептида оценивали профили активности со значениями А выше 0,5 (большое количество аминокислотных мотивов, ассоциированных с конкретной биологической активностью относительно длины пептида) и выше 0,1 (присутствие аминокислотных мотивов, ассоциированных с конкретной биологической активностью). Дополнительно у всех идентифицированных пептидов были оценены антибактериальные, антигрибковые, онкостатические и противотуберкулезные свойства. Результаты *in silico* прогнозирования представлены в табл. 1–3, отдельно для гидролизатов трипсина, пепсина и последовательного протеолиза. В исследуемых образцах было идентифицировано 37 уникальных пептидов, чье относительное содержание в гидролизатах составляло более 1% от количества всех пептидов. По результатам анализа при помощи BIOPEP-UWM были найдены различные биологические свойства у всех пептидов. В табл. 1–3 также представлены белки-предшественники, в которых обнаружены исследуемые пептидные последовательности (в виде буквенно-цифрового идентификатора для базы данных UniProt, данные актуальны на декабрь 2025 г.). В табл. 1–3: G+ – антибактериальные свойства в отношении грамположительных микроорганизмов, G- – грамотрицательных, GV – грамвариабельных.

В гидролизатах, полученных под действием трипсина, было проанализировано 20 пептидов. При оценке их биологической активности при помощи инструмента BIOPEP-UWM у всех пептидов были обнаружены свойства ингибировать АПФ и ДПП-4 (при значении А>0,1). Эти 2 свойства сильно распространены среди пептидов, полученных из растительного сырья. Гипертония является важным фактором развития сердечно-сосудистых заболеваний, а ингибиторы АПФ, такие как синтетические препараты, широко используются для ее контроля [31]. Ингибиторы ДПП-4 в настоящее время используются для лечения пациентов с сахарным диабетом 2 типа, чтобы стимулировать секрецию инсулина за счет продления активности инкретинных – глюкагоноподобного пептида 1 и глюкозозависимого инсулиноотропного полипептида [32]. Натуральные пептиды, полученные в том числе при гидролизе растительного сырья, – перспективная замена синтетическим препаратам.

У некоторых пептидов также были спрогнозированы способность ингибировать дипептидилпептидазу 3 (ДПП-3), неприлизин и α -глюкозидазу, антиоксидантные и гипоурикемические свойства. Сообщается, что фермент ДПП-3 участвует в деградации БАП ренин-ангиотензиновой системы, защите от окислительного стресса и регуляции болевых ощущений [33]. Разработка эффективных ингибиторов этого фермента – важная

задача в дальнейшем исследовании его патологических и физиологических функций [33]. Ингибиторы неприлизина могут применяться при лечении сердечной недостаточности и сахарного диабета 2 типа [34]. Ингибиторы α -глюкозидазы предотвращают расщепление полисахаридов в тонкой кишке, что снижает уровень глюкозы в крови и также благоприятно для пациентов с сахарным диабетом 2 типа [35]. В последние десятилетия изменения в образе жизни и питании привели к заметному росту распространенности гиперурикемии – хронического заболевания, связанного с нарушением пуринового обмена и являющегося вторым по распространенности нарушением обмена веществ после диабета. Некоторые пептиды обладают гипоурикемическим эффектом, что делает их перспективными средствами для лечения и профилактики нарушений регуляции синтеза и выведения мочевой кислоты [36, 37]. Ценность антиоксидантных пептидов обусловлена эффективностью их применения в качестве пищевых консервантов, а также в профилактике, лечении и ведении пациентов с заболеваниями, ассоциированными с окислительным стрессом [38].

Для пептидов SFLVPPQESQRR и SFLVPPQESQRRR были спрогнозированы свойства нейропептидов, а для пептида LADKARDVKERAKDYGSY – способность активировать убиквитин-зависимый протеолиз. Нарушения в регуляции убиквитин-протеасомной системы являются распространенными признаками различных видов рака. Изучение регуляторов этой системы привлекает внимание исследователей для разработки онкопротекторных стратегий, хотя чаще речь заходит о различных ингибиторах ферментов убиквитин-протеасомной системы [39].

Для исследуемых пептидов коэффициент А>0,5 был получен только для свойств ингибировать АПФ и ДПП-4. Особое внимание целесообразно уделить пептидам TTVPPHSVQVHTTTHRYEAGVVPARF и AQGRINEATQGTU, так как эти последовательности были самыми распространенными в гидролизате, полученном под действием трипсина.

Олигопептиды NLRQSQVSELKYEGNWGPLVNPESQQ GSP и NLRQSQVSELKYEGNWGPLVNPESQQGSPR уже были обнаружены в гидролизатах соевого белка при действии пепсина и панкреатина. Было выдвинуто предположение, что участок NWGPLV в составе этих соединений может проявлять АПФ-ингибирующие свойства при пищеварении в желудочно-кишечном тракте [40].

В гидролизате, полученном под действием пепсина, было идентифицировано 9 пептидов с относительным содержанием более 1%. Так же как и для пептидов в составе гидролизата, полученного под действием трипсина, у всех пептидов были обнаружены свойства ингибировать АПФ и ДПП-4 (при значении А>0,1). У некоторых пептидов были обнаружены свойства, которые не были выявлены у пептидов, полученных под действием трипсина. Это антибактериальные, противовирусные, гемолитические, нейропротекторные, гипотензивные и противовоспалительные свойства.

На сегодняшний день известно большое количество пептидов с антимикробными и противовирус-

Таблица 1. Прогнозирование биологически активных свойств пептидов из гидролизатов трипсина

Table 1. Prediction of bioactive properties of peptides from trypsin hydrolysates

Пептид <i>Peptide</i>	Относительное содержание, % <i>Relative content, %</i>	Биологическая активность при A>0,1 <i>Biological activity at A>0,1</i>	Биологическая активность при A>0,5 <i>Biological activity at A>0,5</i>	Прогнозирование в AntiBP3, Antifp, AntiCP 2.0 и AntiTbPred <i>Prediction in AntiBP3, Antifp, AntiCP 2.0 and AntiTbPred</i>	Белки-пред- шественники <i>Precursor proteins</i>
ATISDQPRGSY	1,758	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Ингибитор ДПП-4	—	C3VHQ8; I1JUP4
KFLVPPQESQKR	3,601	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Онкостатический	A0A0R0KKD6; P04776; Q6LBP7; Q7M1N5
SFLVPPQESQRR	3,630	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, ингибитор ДПП-3, нейропептид	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Онкостатический	A0A0R0KK84; A0A0R0KRW0; P04405
AQGRINEATQGAY	1,415	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Противотуберкулезный	C3VHQ8
AQGRINEATQGTY	8,623	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Ингибитор ДПП-4	Противотуберкулезный	K7KTR9
KFLVPPQESQKRA	1,809	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Онкостатический, антибактериальный (G-)	A0A0R0KKD6; P04776; Q6LBP7; Q7M1N5
SFLVPPQESQRRRA	1,234	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, ингибитор ДПП-3, нейропептид	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Онкостатический	A0A0R0KK84; A0A0R0KRW0; P04405
TTVPPHSVQVHTTTHRY	1,482	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант, гипоурикемические свойства	Ингибитор ДПП-4	Онкостатический	A0A0R0FZF4; P29531
LADKARDVKERAK- DYGSY	3,556	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, ингибитор ДПП-3, ингибитор несприлизина, активатор убиквитин- зависимого протеолиза	Ингибитор АПФ	Онкостатический, противотуберкулезный	C3VHQ8; I1JUP4
LTDKARDVKERAK- DYGSY	1,251	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, ингибитор ДПП-3, ингибитор несприлизина, антиоксидант	Ингибитор АПФ	Противотуберкулезный	K7KTR9
TTQVPPHS- VQVHTTTHRY	2,457	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант, гипоурикемические свойства	Ингибитор ДПП-4	Онкостатический	I1N747
NLGQSQVRQLKYQGNS- GPLVNP	3,077	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	—	Q7M211; P04347
DTLDYAKGYLADKARDV- KERAKDYGSY	1,522	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, ингибитор ДПП-3, ингибитор несприлизина, антиоксидант	Ингибитор АПФ	Онкостатический, противотуберкулезный	C3VHQ8; I1JUP4
TTVPPHSVQVHTTTHR- YEAGVPPARF	12,512	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант, гипоурикемические свойства, ингибитор несприлизина, ингибитор α -глюкозидазы	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Онкостатический	A0A0R0FZF4; P29531

Пептид <i>Peptide</i>	Относительное содержание, % <i>Relative content, %</i>	Биологическая активность при A>0,1 <i>Biological activity at A>0,1</i>	Биологическая активность при A>0,5 <i>Biological activity at A>0,5</i>	Прогнозирование в AntiBP3, AntiIfp, AntiCP 2.0 и AntiTbPred <i>Prediction in AntiBP3, AntiIfp, AntiCP 2.0 and AntiTbPred</i>	Белки-пред- шественники <i>Precursor proteins</i>
NLRQSQVSELKYEKNW- GPLVNPESQQGSP	2,277	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант	Ингибитор ДПП-4	–	P02858
KTNDRPSIGNLAG- ANSLNALPEEVIQHTF	1,127	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Ингибитор ДПП-4	–	A0A0R0KK84; A0A0R0KRW0; P04405
NLRQSQVSELKYEKNW- GPLVNPESQQGSPR	4,413	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, ингибитор ДПП-3, антиоксидант	Ингибитор ДПП-4	–	P02858
LAGNQEQE- FLKYQQEQGGHQSQKG- KHQQEEENEGGSILSGF	5,693	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Ингибитор ДПП-4	–	A0A0R0KKD6; P04776
YLAGNQEQE- FLKYQQEQGGHQSQKG- KHQQEEENEGGSILSGF	1,725	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант	Ингибитор ДПП-4	–	A0A0R0KKD6; P04776
TTQVPPHSVQVHTTTTHR- YEAGVVPPGARFEPPR- YEAGVKAPSIY	1,820	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант, ингибитор α-глюкозидазы	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	–	I1N747

П р и м е ч а н и е. Здесь и в табл. 2, 3: АПФ – ангиотензин-превращающий фермент; ДПП-4 – дипептидилпептидаза 4; ДПП-3 – дипептидилпептидаза 3; GCP II – глутаматкарбоксипептидаза II.

Таблица 2. Прогнозирование биологически активных свойств пептидов из гидролизатов пепсина

Table 2. Prediction of the bio active properties of peptides from pepsin hydrolysates

Пептид <i>Peptide</i>	Относительное содержание, % <i>Relative content, %</i>	Биологическая активность при A>0,1 <i>Biological activity at A>0,1</i>	Биологическая активность при A>0,5 <i>Biological activity at A>0,5</i>	Прогнозирование в AntiBP3, AntiIfp, AntiCP 2.0 и AntiTbPred <i>Prediction in AntiBP3, AntiIfp, AntiCP 2.0 and AntiTbPred</i>	Белки-пред- шественники <i>Precursor proteins</i>
DQMPRRF	1,502	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антибактериальный, антивирусный, гемолитический, нейропептид, ингибитор ДПП-3, ингибитор лейцилтрансферазы	Отсутствуют	Онкостатический	A0A0R0KK84; A0A0R0KRW0; A0A0R0EZ76; P04405; A0A0R0KKD6; P04776; P11828
VIQHTFNL	2,460	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, ингибитор ДПП-3, ингибитор панкреатической липазы, ингибитор ренина, гипотензивный	Ингибитор ДПП-4	Онкостатический, анти- бактериальный (GV)	A0A0R0KRW0; A0A0R0KK84; P04405; A0A0R0KKD6; P04776
IAVPTGVAV	1,199	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант, ингибитор трипепти- дилпептидазы II, гипоурикемические свойства, ингибитор HMG-CoA-редуктазы	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Онкостатический	A0A0R0KK84; A0A0R0KRW0; P04405; A0A0R0KKD6; P04776
LRVPSGTTY	1,175	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, ингибитор ДПП-3, ингибитор ренина, нейропротекторный,	Отсутствуют	Онкостатический	Q4LER5; P0D015; Q948X9; Q3V5S6; P0D016;

Окончание табл. 2

Пептид <i>Peptide</i>	Относительное содержание, % <i>Relative content, %</i>	Биологическая активность при A>0,1 <i>Biological activity at A>0,1</i>	Биологическая активность при A>0,5 <i>Biological activity at A>0,5</i>	Прогнозирование в AntiBP3, Antifp, AntiCP 2.0 и AntiTbPred <i>Prediction in AntiBP3, Antifp, AntiCP 2.0 and AntiTbPred</i>	Белки-пред- шественники <i>Precursor proteins</i>
		ингибитор α-глюкозидазы, антиоксидант, гипоурикемические свойства			I1NGH2; O22120; F7J075
LVPPQESQRR	1,473	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, ингибитор АПФ-2, антибактериальный, антивирусный, гемолитический, нейропептид, ингибитор ДПП-3, ингибитор лейцилтрансферазы, ингибитор α-глюкозидазы, противовоспалительный	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Онкостатический	A0A0R0KK84; A0A0R0KRW0; P04405
LAIPVNKPGRF	7,162	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, ингибитор ДПП-3	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Антибактериальный (G-), противогрибковый	Q4LER5; Q3V5S6; Q948X9; P11827; Q948Y0; P0D016; Q84UB3; F7J075; P0D015; Q39816; Q0MUU5; Q9FZP9; I1NGH2; O22120
IVTVKGGLRVTA	1,707	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, ингибитор ДПП-3	Ингибитор ДПП-4	Антибактериальный (G-, GV)	A0A0R0KK84; A0A0R0KRW0; P04405
LAFPGSAKDLENL	1,408	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант	Ингибитор АПФ	Онкостатический	P11827; Q0MUU5; Q84UB3; Q9FZP9
VIPPGVPYWTYNT	1,048	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант, противовоспалительный, ингибитор α-глюкозидазы	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Онкостатический, антигрибковый	P02858; A0A0R0GMV1

Таблица 3. Прогнозирование биологически активных свойств пептидов, обнаруженных в гидролизате, полученном при последовательном действии пепсина и трипсина

Table 3. Prediction of the bioactive properties of peptides found in the hydrolysate obtained by sequential action of pepsin and trypsin

Пептид <i>Peptide</i>	Относительное содержание, % <i>Relative content, %</i>	Биологическая активность при A>0,1 <i>Biological activity at A>0,1</i>	Биологическая активность при A>0,5 <i>Biological activity at A>0,5</i>	Прогнозирование в AntiBP3, Antifp, AntiCP 2.0 и AntiTbPred <i>Prediction in AntiBP3, Antifp, AntiCP 2.0 and AntiTbPred</i>	Белки-пред- шественники <i>Precursor proteins</i>
DQMPPRF	1,480	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антибактериальный, антивирусный, гемолитический,	Отсутствуют	Онкостатический	A0A0R0KK84; A0A0R0KRW0; A0A0R0EZ76; P04405; A0A0R0KKD6;

Пептид <i>Peptide</i>	Относительное содержание, % <i>Relative content, %</i>	Биологическая активность при A>0,1 <i>Biological activity at A>0,1</i>	Биологическая активность при A>0,5 <i>Biological activity at A>0,5</i>	Прогнозирование в AntiBP3, AntiIp, AntiCP 2.0 и AntiTbPred <i>Prediction in AntiBP3, AntiIp, AntiCP 2.0 and AntiTbPred</i>	Белки-пред- шественники <i>Precursor proteins</i>
		нейропептид, ингибитор ДПП-3, ингибитор лейцитилтрансферазы			P04776; P11828
LRVPSGTTY	1,039	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, ингибитор ДПП-3, ингибитор ренина, нейропротекторный, ингибитор α -глюкозидазы, антиоксидант, гипоурикемические свойства	Отсутствуют	Онкостатический	Q4LER5; P0D015; Q948X9; Q3V5S6; P0D016; I1NGH2; Q22120; F7J075
IYIQQGKGF	1,106	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант, ингибитор ДПП-3, нейропептид, гипотензивный	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Антибактериальный (G+, G-), противогрибковый	A0A0R0KK84; A0A0R0KKD6; P04776
NIARPSRADF	1,056	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант, нейропептид, ингибитор α -глюкозидазы, активатор убиквитин- зависимого протеолиза, ингибитор GCPH, ингибитор неприлизина, ингибитор нейролизина	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Онкостатический, антибактериальный (GV)	P02858; Q39858; I2E8D7; P04347; I2E8E1; A0A0R0GMV1
LAIPVNKPGRF	3,092	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, ингибитор ДПП-3	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Онкостатический, противотуберкулезный, антибактериальный (G-)	Q4LER5; Q3V5S6; Q948X9; P11827; Q948Y0; P0D016; Q84UB3; F7J075; P0D015; Q39816; Q0MUU5; Q9FZP9; I1NGH2; Q22120
IIVVQKGKGAIGF	2,016	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, ингибитор трипептидилпептидазы II	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Антибактериальный (G-)	P04347; A0A0R0GMV1
LAFPGSAKDLENL	1,907	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант	Ингибитор АПФ	Онкостатический	P11827; Q0MUU5; Q84UB3; Q9FZP9
VSIIDTNSLENQL	2,383	Ингибитор ДПП-4	Ингибитор ДПП-4	—	A0A0R0KK84; A0A0R0KRW0; P04405; A0A0R0KKD6; P04776
NALEPDHRVESEGL	1,276	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант, ингибитор неприлизина	Ингибитор ДПП-4	—	P02858; P04347; A0A0R0GMV1

Окончание табл. 3

Пептид <i>Peptide</i>	Относительное содержание, % <i>Relative content, %</i>	Биологическая активность при A>0,1 <i>Biological activity at A>0,1</i>	Биологическая активность при A>0,5 <i>Biological activity at A>0,5</i>	Прогнозирование в AntiBP3, AntiIp, AntiCP 2.0 и AntiTbPred <i>Prediction in AntiBP3, AntiIp, AntiCP 2.0 and AntiTbPred</i>	Белки-пред- шественники <i>Precursor proteins</i>
VSIIDTNSLENQLDQM- PRRF	3,632	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, ингибитор ДПП-3, антивирусный, ингибитор лейцитрансферазы	Ингибитор ДПП-4	–	A0A0R0KRW0; A0A0R0KK84; P04405; A0A0R0KKD6; P04776
LAFPGSAQAVE- KLLKNQRESY	2,868	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	–	Q4LER5; P0D015; Q3V5S6; P0D016; F7J075; Q22120; Q39853
TTVPPHSVQVHTTTHR- YEAGVVPARF	1,344	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ, антиоксидант, ингибитор α -глюкозидазы, ингибитор неприлизина, гипоурикемические свойства	Ингибитор ДПП-4, ингибитор АПФ	Онкостатический	A0A0R0FZF4; P29531

ными свойствами, которые обладают широким спектром механизмов действия. Эти соединения являются многообещающими средствами борьбы с различными инфекционными заболеваниями [41]. Гемолитическая активность пептидов может свидетельствовать как об их цитотоксических, так и о противомикробных свойствах [42]. Нейропротекторные пептиды могут применяться при лечении и профилактике нейродегенеративных заболеваний, таких как болезни Альцгеймера и Паркинсона [43]. Также растения являются многообещающими источниками противовоспалительных пептидов, которые могут стать альтернативой широко распространенным нестероидным растительным препаратам [44]. В гидролизатах, изучаемых в настоящем исследовании, было выявлено большое количество пептидов с прогнозируемыми вышеперечисленными свойствами.

Также были обнаружены потенциальные ингибиторы АПФ-2, лейцитрансферазы, панкреатической липазы, HMG-CoA-редуктазы, ренина и трипептидилпептидазы II. Ингибиторы АПФ-2 пока не нашли своего терапевтического применения при сердечно-сосудистых заболеваниях или других патологических состояниях, так как вместо ингибирования этого фермента чаще требуется усиление его экспрессии или активности. Известен ряд селективных ингибиторов АПФ-2, а их дальнейшая разработка может принести пользу с точки зрения исследования структуры, механизма действия и селективности этого фермента [45]. Ингибирование панкреатической липазы может эффективно снижать всасывание триглицеридов, помогая предотвратить развитие ожирения [46]. Известно, что ингибирование HMG-CoA-редуктазы

снижает концентрацию холестерина в сыворотке крови, что делает пептиды с этой активностью перспективными средствами для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний в качестве альтернативы статинам [47]. Пептиды, ингибирующие ренин, способны контролировать повышение артериального давления [48]. Ингибиторы трипептидилпептидазы II вызывают интерес исследователей как потенциальные средства для применения при расстройствах пищевого поведения и онкологических заболеваниях, хотя на данный момент не используются в клинической практике [49]. Насколько нам известно, о применении ингибиторов лейцитрансферазы ранее не сообщалось, однако их исследование может стать актуальным в будущем.

Для исследуемых пептидов коэффициент A был выше 0,5 только для свойств ингибировать АПФ и ДПП-4, так же как это было с пептидами из гидролизатов трипсина. Пептиды DQMPRRF и LRVPSGTTY не имели биологически активных свойств с A>0,5. Наиболее распространенным пептидом в гидролизате был LAIPVNKPGRF – потенциальный ингибитор АПФ и ДПП-4.

О некоторых идентифицированных в гидролизате, полученном под действием пепсина, пептидах уже сообщалось в научной литературе [50]. Пептиды VIQHTFNL, IAVPTGVAV, LRVPSGTTY, LAIPVNKPGRF и IVTVKGGLRVTA были обнаружены в гидролизате соевого белка, полученном под действием пепсина. Была проверена способность данных соединений ингибировать панкреатическую липазу, однако *in vitro* эксперименты этого не подтвердили. В той же работе был обнаружен и пептид NALEPDHRVESEGGL, идентифицированный в настоящем исследовании при после-

довательном действии пищеварительных ферментов (см. табл. 3), однако он также не был активен в отношении панкреатической липазы *in vitro* [50].

В гидролизате, полученном последовательным гидролизом пепсином и трипсином, были идентифицированы 12 пептидов с относительным содержанием более 1%, при этом DQMPRRF, LRVPSGTTY, LAIPVKNKGRF и LAFPGSAKDIEHL были также обнаружены в гидролизате, полученном под действием пепсина, а пептид TTVPPHSVQVHTTTTHRYEAGVVPPARF был идентифицирован также в гидролизате, полученном под действием трипсина. Для пептида NIARPSRADF было спрогнозировано свойство ингибировать глутаматкарбоксипептидазу II (GCP II) и нейролизин, которые не были обнаружены у пептидов из других гидролизатов. Ингибирование GCP II предотвращает высвобождение глутамата во внеклеточное пространство и тем самым может оказывать нейропротекторное действие, так как избыточное накопление глутамата приводит к ряду неврологических расстройств [51]. Металлопептидаза нейролизин играет важную роль во многих биологических процессах, регулируя уровень биоактивных олигопептидов в центральной нервной системе. Ингибиторы этого фермента имеют терапевтический потенциал в лечении некоторых опухолевых заболеваний и снижении болевой чувствительности [52].

Наиболее часто у идентифицированных пептидов в гидролизате, полученном последовательным гидролизом пепсином и трипсином, были спрогнозированы способности к ингибированию АПФ и ДПП-4.

Сообщалось о потенциальных антимикробных свойствах пептида IIVVQGKGALGF, обнаруженного в гидролизате соевого белка под действием пепсина и панкреатина [40]. Пептиды VSIIDTNSLENQLDQMPPRRF и NALEPDHRVESEGGL уже были обнаружены в гидролизате соевого белка после воздействия пепсина, однако их конкретная биологическая активность не изучалась [53]. Пептид LAFPGSAQAVEKLLKNQRESY образовывался при ферментации соевого молока различными штаммами молочнокислых бактерий, однако о его конкретной биологической активности также не сообщалось [54]. Пептид NALEPDHRVESEGGL был ранее обнаружен в гидролизате соевого молока при имитации желудочно-кишечного пищеварения, и для него были предсказаны антиоксидантные свойства [55].

По результатам анализа при помощи баз данных AntiBP3, Antifp, AntiCP 2.0 и AntiTbPred 25 пептидов из всех гидролизатов проявляли различную биологическую активность: 18 – онкостатические свойства, 6 – противотуберкулезные свойства, 2 – противогрибковую активность, 6 – антибактериальные свойства в отношении грамотрицательных микроорганизмов, 2 – антибактериальные свойства в отношении грамположительных микроорганизмов, для пептида IYIQQKGKIF (гидролизат, полученный при последовательном протеолитическом гидролизе) также были спрогнозированы антибактериальные свойства в отношении грамположительных микроорганизмов.

Таким образом, изучаемые гидролизаты могут потенциально обладать целым рядом различных биологически активных свойств, среди которых особое внимание следует уделить способностям ингибировать ДПП-4 и АПФ, а также онкостатическим свойствам, поскольку было обнаружено большое количество пептидов с подобными свойствами в каждом гидролизате.

Пептиды LAIPVKNKGRF, TTVPPHSVQVHTTTTHRYEAGVVPPARF, AQGRINEATQGTU и VSIIDTNSLENQLDQMPPRRF были подвергнуты молекулярному докингу с молекулами АПФ и ДПП-4 в зависимости от предсказанных свойств. Выбор этих пептидов был обусловлен их высоким содержанием в пептидном профиле гидролизатов относительно общего содержания пептидов. TTVPPHSVQVHTTTTHRYEAGVVPPARF и AQGRINEATQGTU были в разном количестве идентифицированы во всех гидролизатах. Дополнительно докинг с молекулой ДПП-4 был проведен для пептида ATISDQPRGSY, который также был обнаружен во всех изучаемых гидролизатах.

Визуализация белков и пептидов, используемых для подтверждения их биологической активности, была выполнена с помощью онлайн-инструментов и представлена на рис. 4.

Молекулярный докинг представляет собой метод биомолекулярного моделирования, основанный на комплексном биоинформационном анализе. Он может выступать одним из инструментов *in silico* в оценке потенциальной биологической активности исследуемых пептидов [56]. По результатам молекулярного докинга с помощью программы AutoDock Vina были рассчитаны необходимые энергии связывания пептидов с исследуемыми рецепторами (табл. 4).

Более низкое значение энергии указывает на более стабильную конформацию молекулярного связывания [57]. Пептид ATISDQPRGSY обладал энергией связывания менее -8 ккал/моль, что говорит о его хорошей способности связываться с ДПП-4. Пептиды LAIPVKNKGRF, AQGRINEATQGTU, VSIIDTNSLENQLDQMPPRRF и TTVPPHSVQVHTTTTHRYEAGVVPPARF связывались с ДПП-4 хуже. Значения энергии связывания менее -7 ккал/моль для растительных пептидов ассоциируются с потенциально высокими свойствами ингибирования ДПП-4 [58]. Пептиды LAIPVKNKGRF, TTVPPHSVQVHTTTTHRYEAGVVPPARF, AQGRINEATQGTU, ATISDQPRGSY и VSIIDTNSLENQLDQMPPRRF обладали низкой энергией связывания с АПФ (<-8,5 ккал/моль), что говорит о вероятном наличии у них антигипертензивных свойств. Визуальное моделирование пептид-белкового взаимодействия проводили для пептидов, чья энергия связывания с целевым белком составляла менее -8 ккал/моль. Результаты визуального моделирования представлены на рис. 5.

Для пептида LAIPVKNKGRF было обнаружено 15 водородных связей, 14 гидрофобных и 4 электростатических взаимодействия. В образовании связей участвовали Glu403, Arg124, Tyr360, Tyr62, Arg402, Asp358, Glu411, Val399, Thr92, His387, His410, Trp59, Leu139, Leu140, Val518, Ala63, Ile88, Trp357, Phe512. В случае пептида

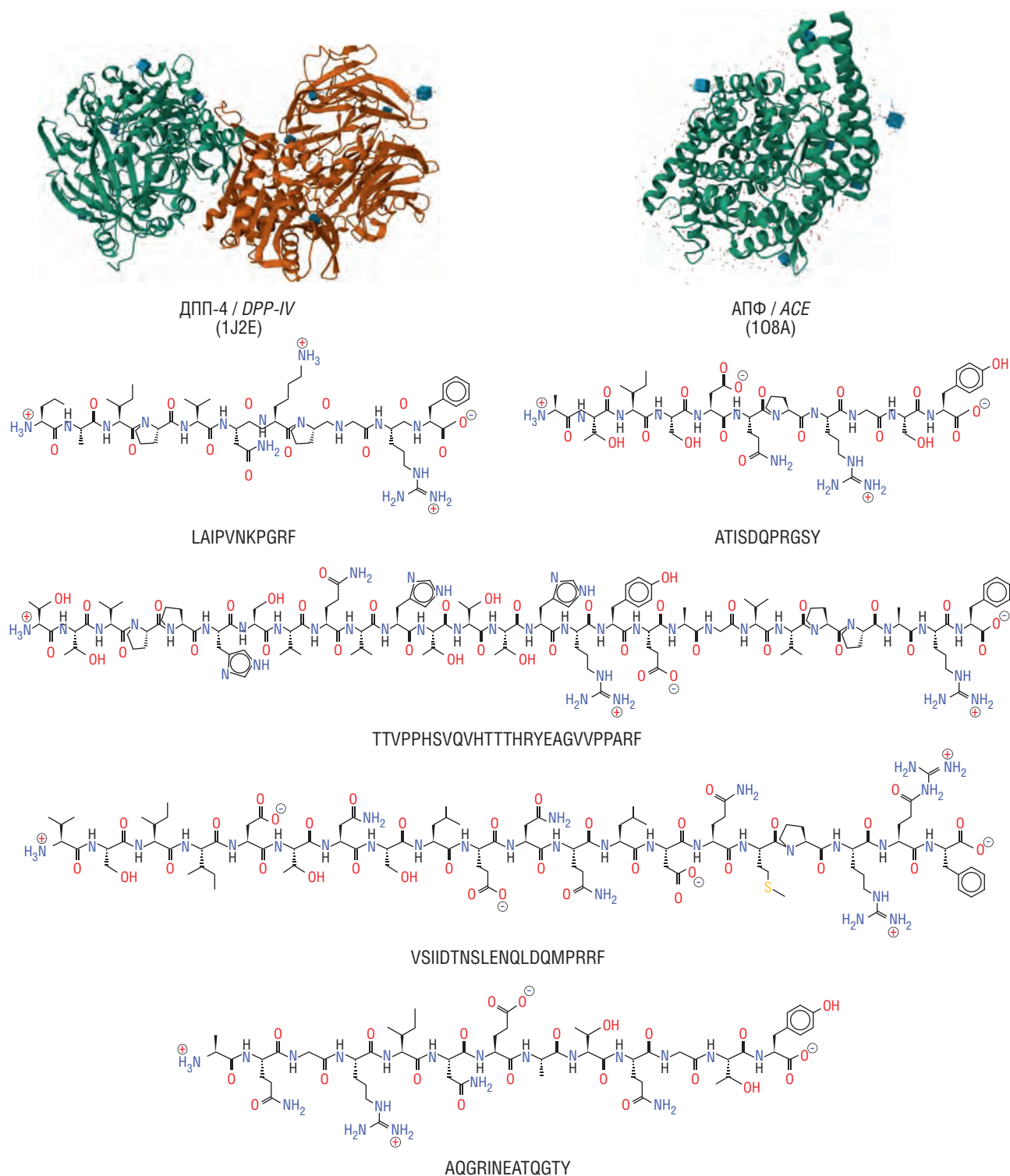


Рис. 4. Визуализация используемых рецепторов и лигандов

Здесь и на рис. 5: расшифровка аббревиатур дана в тексте.

Fig 4. Visualization of used receptors and ligands

Here and in fig. 5: the abbreviations are explained in the text.

Таблица 4. Результаты молекулярного докинга некоторых пептидов

Table 4. Results of molecular docking of some peptides

Пептид Peptide	Гидролизат Hydrolysate	Относительное содержание, % Relative content, %	Энергия связывания с ДПП-4, ккал/моль Binding energy to DPP-IV, kcal/mol	Энергия связывания с АПФ, ккал/моль Binding energy to ACE, kcal/mol
LAIPVNKPGRF	Пепсин	7,162	-6,484	-9,253
	Пепсин + трипсин	3,092		
TTVPPHSVQVHTTTTHRYEAGVPPARF	Трипсин	12,512	-5,932	-9,498
	Пепсин	0,614		
	Пепсин + трипсин	1,344		
AQGRINEATQGTY	Трипсин	8,623	-6,696	-9,654
	Пепсин	0,001		
	Пепсин + трипсин	0,008		
VSIIDTNSLENQLDQMPPRF	Пепсин	0,002	-5,448	-9,703
	Пепсин + трипсин	3,632		
ATISDQPRGSY	Трипсин	1,759	-8,154	-8,760
	Пепсин	0,001		
	Пепсин + трипсин	0,006		

ATISDQPRGSY выявлено 19 водородных связей при связывании с ДПП-4, преимущественно с остатками аспарагиновой кислоты – Asp737, Asp739, Asp725, Asp709, Asp192 и Asp171. Помимо этого, были идентифицированы взаимодействия с молекулами Glu738, Lys250, Gln123, Thr129, Asn169, Arg184, Tyr238, Arg253, Asn170, Gln123, Glu191, Gly189, Phe240. При докинге с АПФ ATISDQPRGSY также образовал 19 водородных связей (Ala356, Arg402, Asn70, Glu143, Glu411, Tyr360, Arg124, Asn66, His410, Gly404, Arg522, Tyr62, Glu123) и продемонстрировал 9 гидрофобных взаимодействий (с атомами Trp357, His387, His383, His410, Arg124, Tyr62, Ile88). Пептид AQGRINEATQGTY образовывал 29 водородных связей, 9 гидрофобных и 6 электростатических контактов. Наибольшее количество взаимодействий было обнаружено с атомами Tyr360, Asp377, Tyr523, Arg522, Gln281, His513, Ala354, His383 и His353. Пептид TTVPPHSVQVHTTTTHRYEAGVPPARF образовал с рецептором 25 водородных связей. Также были обнаружены 22 гидрофобных взаимодействия. Больше всего связей было образовано с аминокислотами Asp218, Tyr213, Thr92 (по 3 связи); с аминокислотами Asp415, Tyr360, Tyr135, Ser517, Lys117, Tyr523, His383, Phe570 по 2 связи. АПФ образовал с пептидом VSIIDTNSLENQLDQMPPRF 38 водородных связей и продемонстрировал 15 гидрофобных и 9 электростатических взаимодействий. С аминокислотой Tyr523 образовано больше всего связей – 4. Также у аминокислот Glu162, Glu123, His513, Ala353, His387, Trp357, Leu139, Trp59 было обнаружено по 2 связи.

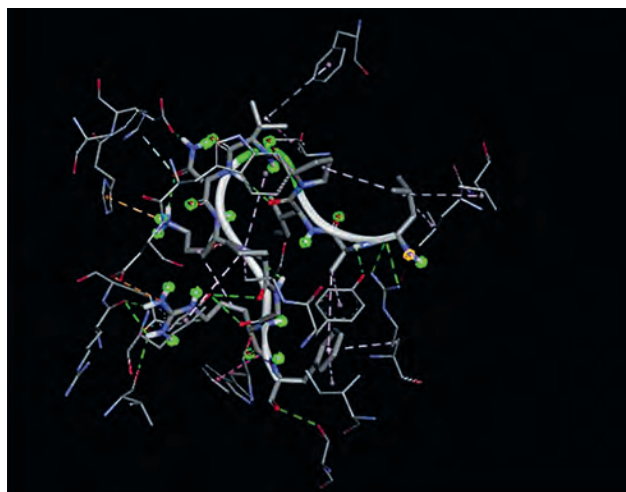
Молекула человеческого АПФ содержит 3 активных участка – S1, S2 и S'. В нашем исследовании было обнаружено, что отобранные пептиды вступают в различные контакты с аминокислотами из этих участков: Ala354, Tyr523 в S1, Gln281, His353, His513 в S2, Glu162 в S'. Также были обнаружены взаимодействия пептидов в цинк-связывающем мотиве: His387, His383 и Glu411 [59–61]. Кроме того, обнаружены взаимодействия с аминокислотными остатками АПФ Leu139, Leu140, Glu143,

Arg124 и другие, которые упоминаются в исследованиях, посвященных моделированию взаимодействий пептидов с этим ферментом [62]. Для ДПП-4 выделяют следующие аминокислоты, формирующие его активный центр: Tyr547, Ser630, Tyr631, Val656, Trp659, Tyr662, Asn710, Val711 и His740 (участок S1) Glu205, Glu206 и Tyr662 (S2), Ser 209, Arg358 и Phe357 (S3) [63]. Для пептида ATISDQPRGSY не обнаружено связывания с данными аминокислотами, однако были найдены взаимодействия, находящиеся в близости к ним: Asp739 и Glu738 возле His740, Asp709 возле Asn710 и Val711. Исследование молекулярного взаимодействия данного пептида с ДПП-4 требует дальнейшего изучения.

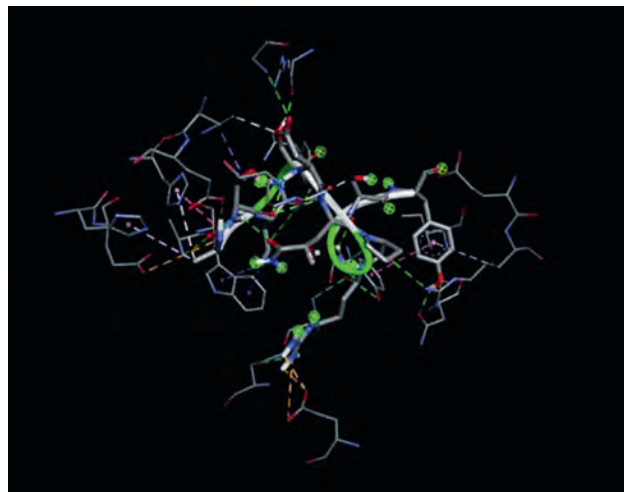
Обнаруженные взаимодействия могут приводить к ингибированию ферментов через блокировку доступа субстрата к каталитическому центру и нарушение координации кофактора. Однако следует отметить, что данные молекулярного докинга носят прогностический характер и требуют экспериментального подтверждения в условиях *in vitro*.

Заключение

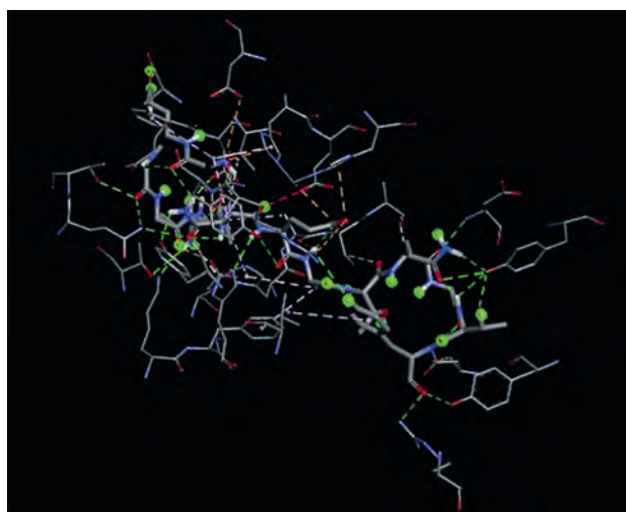
В ходе исследования было изучено действие на изолят соевого белка пищеварительных ферментов: трипсина и пепсина по отдельности, а также последовательного протеолиза этими ферментами при изначальном воздействии пепсина, а потом трипсина. При воздействии трипсина в дозировке 4% были получены гидролизаты со степенью гидролиза около 5% после 4 ч, при действии пепсина – около 7% при той же дозировке и времени проведения гидролиза. При последовательном гидролизе этими ферментами в дозировке 2% для каждого была получена степень гидролиза более 7,5%. Методом нано-ЖХ/МС-МС был получен пептидный профиль гидролизатов, а пептидные последовательно-



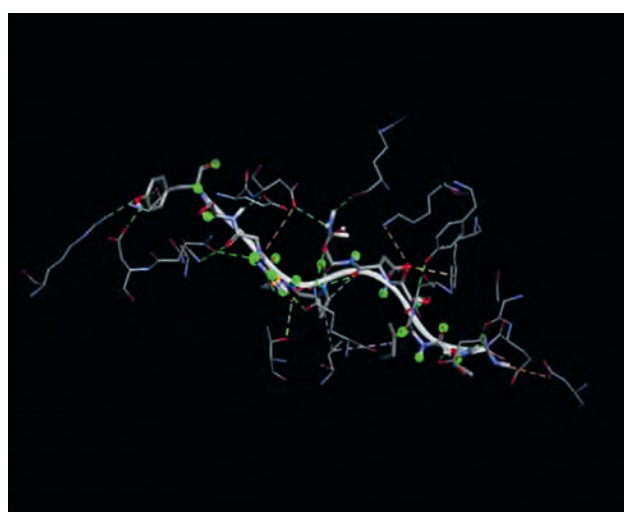
LAIPVNKGRF с АПФ / *LAIPVNKGRF and ACE*



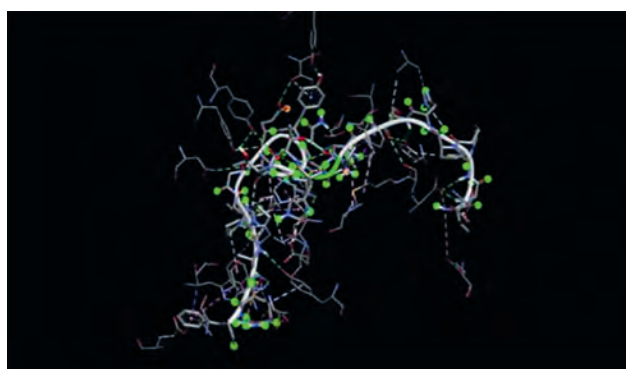
ATISDQPRGSY с АПФ / *ATISDQPRGSY and ACE*



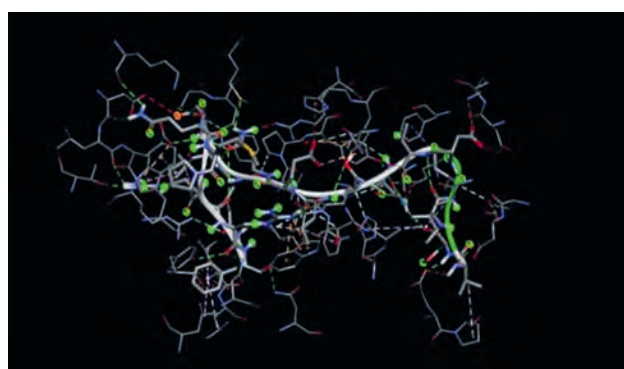
AQGRINEATQGTY с АПФ / *AQGRINEATQGTY and ACE*



AQGRINEATQGTY с ДПП-4 / *AQGRINEATQGTY and DPP-IV*



TTVPPHSVQVHTTTTHRYEAGVVPPARF с АПФ
TTVPPHSVQVHTTTTHRYEAGVVPPARF and ACE



VSIIDTNSLENQLDQMPPRF с АПФ
VSIIDTNSLENQLDQMPPRF and ACE

Рис. 5. Визуальное моделирование процесса молекулярного докинга

Fig. 5. Visual modeling of the molecular docking process

сти, содержание которых превышало 1% относительно всех пептидов в гидролизате, были *in silico* изучены на предмет биологической активности. Для этого анализа было отобрано 37 уникальных пептидных последовательностей, о большинстве из которых ранее не сообщалось. Для всех пептидов была спрогнозирована различная биологическая активность. Доминирующими свойствами были способность к ингибированию АПФ и ДПП-4, а также онкостатические свойства. Пептиды LAIPVNKPGRF, TTVPPHSVQVHTTTTHRYEAGVVPPARF, AQGRINEATQGTU, ATISDQPRGSY и VSIIDTNSLENQLDQMPRRF, которые присутствовали в гидролизатах в значительном количестве, были дополнительно подвергнуты молекулярному докингу с молекулами АПФ и ДПП-4 в зависимости от прогнозируемой активности. Пептид ATISDQPRGSY, обладающий низкой энергией связывания с ДПП-4, перспективен для его дальнейшего синтеза и изучения свойств *in vitro* и *in vivo*. Потенциально высокие антигипертензивные свойства могут оказывать пептиды LAIPVNKPGRF, TTVPPHSVQVHTTTTHRYEAGVVPPARF, AQGRINEATQGTU, ATISDQPRGSY и VSIIDTNSLENQLDQ

MPRRF, которые по результатам докинга обладали энергией связывания с молекулой АПФ менее -8,5 ккал/моль.

Таким образом, соевый белок может быть перспективным источником биологически активных гидролизатов, свойства которых обусловлены наличием различных пептидов в составе. Подобные гидролизаты могут быть получены в промышленных условиях и служить функциональными компонентами пищевых продуктов. Также результаты исследования создают предпосылки для дальнейшего поиска идентифицированных пептидных последовательностей и биологической активности идентифицированных пептидов на клеточных моделях и в условиях, максимально приближенных к физиологии пищеварения человека, что позволит расширить знания о потенциальных эффектах на здоровье при употреблении в пищу продуктов с соевым белком. Дальнейшие исследования планируется направить на получение идентифицированных пептидных последовательностей химическим синтезом и подтверждение их биологической активности в экспериментах *in vitro* и *in vivo*, а также подтверждение отсутствия цитотоксичности.

Сведения об авторах

Фоменко Виктория Валерьевна (Victoria V. Fomenko) – аспирант кафедры биотехнологии и биоорганического синтеза ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: Victoria-96@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8677-0927>

Детинкин Илья Александрович (Ilya A. Detinkin) – магистрант кафедры биотехнологии и биоорганического синтеза ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: detinkin02@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-0985-9505>

Чернуха Ирина Михайловна (Irina M. Chernukha) – академик РАН, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (Москва, Российская Федерация)

E-mail: i.chernuha@fncps.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4298-0927>

Машенцева Наталья Геннадьевна (Natalia G. Mashentseva) – доктор технических наук, профессор, профессор РАН, профессор кафедры биотехнологии и биоорганического синтеза ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: natali-mng@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9287-0585>

Большев Николай Алексеевич (Nikolaj A. Bolshev) – магистрант кафедры биотехнологии и биоорганического синтеза ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» (Москва, Российская Федерация)

E-mail: nickolai.bolshev@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0007-3781-4410>

Литература

1. Fedacko J., Takahashi T., Singh R.B., Pella D., Chibisov S., Hristova K. et al. Globalization of diets and risk of noncommunicable diseases / In: The role of functional food security in global health. Editor(s): Singh R.B., Watson R.R., Takahashi T. Academic Press, 2019. P. 87–107. ISBN 9780128131480, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813148-0.00006-2>
2. Koene R.J., Prizment A.E., Blaes A., Konety S.H. Shared risk factors in cardiovascular disease and cancer // *Circulation*. 2016. Vol. 133, N 11. P. 1104–1114. DOI: <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.020406>
3. Yu X., Pu H., Voss M. Overview of anti-inflammatory diets and their promising effects on non-communicable diseases // *Br. J. Nutr.* 2024. Vol. 132, N 7. P. 898–918. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114524001405>
4. Xiao S., Dong Y., Xia Y., Xu H., Weng F., Liang G. et al. Current trends in chronic non-communicable disease management: A bibliometric analysis of the past two decades // *J. Multidiscip. Healthc.* 2024. Vol. 17. P. 5001–5017. DOI: <https://doi.org/10.2147/JMDH.S482427>
5. Peighambardoust S.H., Karami Z., Pateiro M., Lorenzo J.M. A review on health-promoting, biological, and functional aspects of bioactive peptides in food applications // *Biomolecules*. 2021. Vol. 11, N 5. P. 631. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom11050631>
6. Habinshuti I., Nsengumuremyi D., Muhoza B., Ebenezer F., Aregbe A.Y., Ndisanze M.A. et al. Recent and novel processing technologies coupled with enzymatic hydrolysis to enhance the production of antioxidant peptides from food proteins: A review // *Food Chem.* 2023. Vol. 423. P. 136313. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136313>
7. Prodić I., Krstić Ristivojević M., Smiljanić K. Antioxidant properties of protein-rich plant foods in gastrointestinal digestion – peanuts as our antioxidant friend or foe in allergies // *Antioxidants*. 2023. Vol. 12, N 4. P. 886. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox12040886>

8. Zakir S.K., Jawed B., Esposito J.E., Kanwal R., Pulcini R., Martiniotti R. et al. The role of peptides in nutrition: insights into metabolic, musculoskeletal, and behavioral health: A systematic review // *Int. J. Mol. Sci.* 2025. Vol. 26, N 13. P. 6043. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms26136043>
9. Nemati M., Shahosseini S.R., Ariati P. Review of fish protein hydrolysates: production methods, antioxidant and antimicrobial activity and nanoencapsulation // *Food. Sci. Biotechnol.* 2024. Vol. 33, N 8. P. 1789–1803. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-024-01554-8>
10. Алексаночкин Д.И., Фоменко И.А., Алексеева Е.А., Чернуха И.М., Машенцева Н.Г. Получение растительного белка из семян и жмыха промышленной конопли: обзор способов переработки для использования в пищевой промышленности // *Пищевые системы.* 2024. Т. 7, № 2. P. 188–197. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-188-197>
11. Yao M., Xu F., Yao Y., Wang H., Ju X., Wang L. Assessment of novel oligopeptides from rapeseed napin (*Brassica napus*) in protecting HepG2 cells from insulin resistance and oxidative stress // *J. Agric. Food Chem.* 2022. Vol. 70, N 39. P. 1218–12429. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c03718>
12. Gharaviri M., Aleksanochkin D.I., Ahangaran M., Fomenko I.A., Kovalev L.I., Kovaleva M.A. et al. Chickpea protein hydrolysates: Production, bioactivity, functional profile, and technological properties // *Foods Raw Mater.* 2026. Vol. 14, N 1. P. 198–213. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2026-1-666>
13. Sui X., Zhang T., Jiang L. Soy protein: molecular structure revisited and recent advances in processing technologies // *Annu. Rev. Food Sci.* 2021. Vol. 12. P. 119–147. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-062220-104405>
14. Соколов Д.В., Болхонов Б.А., Жамсаранова С.Д., Лебедева С.Н., Баженова Б.А. Ферментативный гидролиз соевого белка // *Техника и технология пищевых производств.* 2023. Т. 53. № 1. С. 86–96. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2418>
15. Qin P., Wang T., Luo Y. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development // *J. Agric. Food Res.* 2022. Vol. 7. P. 100265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265>
16. Singh P., Krishnaswamy K. Sustainable zero-waste processing system for soybeans and soy by-product valorization // *Trends Food Sci. Technol.* 2022. Vol. 128. P. 331–344. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.015>
17. Wang Z., Li Y., Fu W., Wu J. Unraveling the mechanisms of action of food-derived bioactive peptides: Insights from Omics approaches // *Food and Nutr.* 2025. Vol. 1, N 2. P. 100019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fnutr.2025.100019>
18. Chakrabarti S., Guha S., Majumder K. Food-derived bioactive peptides in human health: challenges and opportunities // *Nutrients.* 2018. Vol. 10, N 11. P. 1738. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10111738>
19. Minkiewicz P., Iwaniak A., Darewicz M. BIOPEP-UWM database of bioactive peptides: Current opportunities // *Int. J. Mol. Sci.* 2019. Vol. 20, N 23. P. 5978. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20235978>
20. Bajiya N., Choudhury S., Dhall A., Raghava G.P. AntiBP3: A method for predicting antibacterial peptides against Gram-positive/negative/variable bacteria // *Antibiotics.* 2024. Vol. 13, N 2. P. 168. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics13020168>
21. Agrawal P., Bhalla S., Chaudhary K., Kumar R., Sharma M., Raghava G.P. In silico approach for prediction of antifungal peptides // *Front. Microbiol.* 2018. Vol. 9. P. 323. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00323>
22. Agrawal P., Bhagat D., Mahalwal M., Sharma N., Raghava G.P. AntiCP 2.0: an updated model for predicting anticancer peptides // *Briefings Bioinf.* 2021. Vol. 22, N 3. DOI: <https://doi.org/10.1101/2020.03.23.003780>
23. Usmani S.S., Bhalla S., Raghava G.P. Prediction of antitubercular peptides from sequence information using ensemble classifier and hybrid features // *Front. Pharmacol.* 2018. Vol. 9. P. 954. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00954>
24. Rathore A.S., Choudhury S., Arora A., Tijare P., Raghava G.P.S. ToxinPred 3.0: An improved method for predicting the toxicity of peptides // *Comput. Biol. Med.* 2024. Vol. 179. P. 108926. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2024.108926>
25. Zhang Y., Zhang Y., Ying Z., Li W., Li H., Liu X. Trypsin inhibitor from soybean whey wastewater: isolation, purification and stability // *Appl. Sci.* 2022. Vol. 12, N 19. P. 10084. DOI: <https://doi.org/10.3390/app121910084>
26. Wu Y., Li W., Martin G.J., Ashokkumar M. Mechanism of low-frequency and high-frequency ultrasound-induced inactivation of soy trypsin inhibitors // *Food Chem.* 2021. Vol. 360. P. 130057. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130057>
27. Yin C., Zhang X., Xu B., Zhao Q., Zhang S., Li Y. Effect of limited hydrolysis on the structure and gel properties of soybean isolate proteins: A comparative study of papain or/and trypsin // *Int. J. Biol. Macromol.* 2024. Vol. 282. P. 137398. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137398>
28. Yang Y., Wang Z., Wang R., Sui X., Qi B., Han F. et al. Secondary structure and subunit composition of soy protein in vitro digested by pepsin and its relation with digestibility // *BioMed Res. Int.* 2016. Vol. 2016, N 1. P. 5498639. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/5498639>
29. Vogelsang-O'Dwyer M., Sahin A.W., Arendt E.K., Zannini E. Enzymatic hydrolysis of pulse proteins as a tool to improve techno-functional properties // *Foods.* 2022. Vol. 11, N 9. P. 1307. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11091307>
30. Dent T., Campanella O., Maleky F. Enzymatic hydrolysis of soy and chickpea protein with Alcalase and Flavourzyme and formation of hydrogen bond mediated insoluble aggregates // *Curr. Res. Food Sci.* 2023. Vol. 6. P. 100487. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100487>
31. Daskaya-Dikmen C., Yucetepe A., Karbancioglu-Guler F., Daskaya H., Ozcelik B. Angiotensin-I-converting enzyme (ACE)-inhibitory peptides from plants // *Nutrients.* 2017. Vol. 9, N 4. P. 316. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu9040316>
32. Шестакова Е.А., Галстян Г.Р. Ингибиторы дипептидилпептидазы-4: сравнительный анализ представителей группы // *Проблемы эндокринологии.* 2012. Т. 58, № 1. С. 61–66.
33. Abramic M., Agic D. Survey of dipeptidyl peptidase III inhibitors: From small molecules of microbial or synthetic origin to aprotinin // *Molecules.* 2022. Vol. 27, N 9. P. 3006. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27093006>
34. Esser N., Zraika S. Neprilysin inhibition: a new therapeutic option for type 2 diabetes? // *Diabetologia.* 2019. Vol. 62, N 7. P. 1113–1122. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00125-019-4889-y>
35. Lu H., Xie T., Wu Q., Hu Z., Luo Y., Luo F. Alpha-glucosidase inhibitory peptides: Sources, preparations, identifications, and action mechanisms // *Nutrients.* 2023. Vol. 15, N 19. P. 4267. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15194267>
36. Qiao K., Huang Q., Sun T., Chen B., Huang W., Su Y. et al. Preparation and efficacy evaluation of antihyperuricemic peptides from marine sources // *Nutrients.* 2024. Vol. 16, N 24. P. 4301. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16244301>
37. Wang Y., Wu J., Lu L., Fang B., Zhao M., Feng F. et al. The hypouricemic effect and mechanism of tuna (*Thunnus albacares*) peptide and screening its functional peptide segments // *Food Res. Int.* 2025. Vol. 221, Pt 1. P. 117181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.117181>
38. Zhu Y., Lao F., Pan X., Wu J. Food protein-derived antioxidant peptides: Molecular mechanism, stability and bioavailability // *Biomolecules.* 2022. Vol. 12, N 11. P. 1622. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom12111622>
39. Liu F., Chen J., Li K., Li H., Zhu Y., Zhai Y. et al. Ubiquitination and deubiquitination in cancer: from mechanisms to novel therapeutic approaches // *Mol. Cancer.* 2024. Vol. 23, N 1. P. 148. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12943-024-02046-3>
40. Capriotti A.L., Caruso G., Cavaliere C., Samperi R., Ventura S., Chiozzi R.Z. et al. Identification of potential bioactive peptides generated by simulated gastrointestinal digestion of soybean seeds and soy milk proteins // *J. Food Compos. Anal.* 2015. Vol. 44. P. 205–213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.08.007>
41. Vanzolini T., Bruschi M., Rinaldi A.C., Magnani M., Fraternali A. Multitalented synthetic antimicrobial peptides and their antibacterial, antifungal and antiviral mechanisms // *Int. J. Mol. Sci.* 2022. Vol. 23, N 1. P. 545. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms23010545>
42. In I.H., Zhao C., Nguyen T., Menzel L., Waring A.J., Lehrer R.I. et al. Clavaspilin, an antibacterial and haemolytic peptide from *Styela clava* // *J. Pept. Res.* 2001. Vol. 58, N 6. P. 445–456. DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1399-3011.2001.10975.x>
43. Lee S.Y., Hur S.J. Mechanisms of neuroprotective effects of peptides derived from natural materials and their production and assessment // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2019. Vol. 18, N 4. P. 923–935. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12451>
44. Liu W., Chen X., Li H., Zhang J., An J., Liu X. Anti-inflammatory function of plant-derived bioactive peptides: A review // *Foods.* 2022. Vol. 11, N 15. P. 2361. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11152361>
45. Turner A.J. ACE2 cell biology, regulation, and physiological functions // In: *The protective arm of the renin angiotensin system (RAS).* Editor(s): Unger T., Steckelings U.M., dos Santos R.A.S., Academic Press, 2015. P. 185. ISBN 9780128013649. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801364-9.00025-0>
46. Wang X., Ai X., Zhu Z., Zhang M., Pan F., Yang Z. et al. Pancreatic lipase inhibitory effects of peptides derived from sesame proteins: *in silico* and *in vitro* analyses // *Int. J. Biol. Macromol.* 2022. Vol. 222. P. 1531–1537. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.259>
47. Santos-Sánchez G., Álvarez-López A.I., Ponce-España E., Lardone P.J., Carrillo-Vico A., Cruz-Chamorro I. Food-derived peptides with inhibitory capacity for HMG-CoA reductase activity: a potential nutraceutical for hypercholesterolemia // *Food Sci. Hum. Wellness.* 2024. Vol. 13, N 6. P. 3083–3094. DOI: <https://doi.org/10.26599/FSHW.2023.9250001>

48. Li Y., Gu M., Shi F., Zhou L., Huang J. Identification of novel renin inhibitory peptides from tartary buckwheat albumin hydrolysates by molecular docking // *Process Biochem.* 2024. Vol. 138. P. 120–129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2024.01.014>
49. Tomkinson B. Tripeptidyl-peptidase II: Update on an oldie that still counts // *Biochimie.* 2019. Vol. 166. P. 27–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2019.05.012>
50. Ishii Y., Matsunaga Y., Akiyama H., Shimizu K., Honda H. Enrichment of soy protein-derived peptides that decrease pancreatic lipase activity using heat-treated porous silica gel and their relationship with bile acid binding activity // *J. Biosci. Bioeng.* 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2025.09.002>
51. Tsukamoto T., Wozniak K.M., Slusher B.S. Progress in the discovery and development of glutamate carboxypeptidase II inhibitors // *Drug Discovery Today.* 2007. Vol. 12, N 17–18. P. 767–776. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2007.07.010>
52. Qi J., Yao L. Modulators of neurolysin: promising agents for the treatment of tumor and neurological diseases // *Med. Chem. Res.* 2021. Vol. 30, N 7. P. 1328–1333. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00044-021-02761-2>
53. Margatan W., Ruud K., Wang Q., Markowski T., Ismail B. Angiotensin converting enzyme inhibitory activity of soy protein subjected to selective hydrolysis and thermal processing // *J. Agric. Food Chem.* 2013. Vol. 61, N 14. P. 3460–3467. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf4001555>
54. Fadlillah H.N., Nuraida L., Sitanggang A.B., Palupi N.S. Antioxidant peptides produced by *Pediococcus acidilactici* YKP4 and *Lactocaseibacillus rhamnosus* BD2 in fermented soymilk made from germinated soybeans // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2025. Vol. 60, N 1. P. vvae002. DOI: <https://doi.org/10.1093/ijfood/vvae002>
55. Zhang J., Li M., Lv Y., Guo S., Yang B. Protein aggregation impacts in vitro protein digestibility, peptide profiling and potential bioactive peptides of soymilk and dry-heated soybeans // *LWT.* 2023. Vol. 182. P. 114857. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114857>
56. Vidal-Limon A., Aguilar-Toalá J.E., Liceaga A.M. Integration of molecular docking analysis and molecular dynamics simulations for studying food proteins and bioactive peptides // *J. Agric. Food Chem.* 2022. Vol. 70, N 4. P. 934–943. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c06110>
57. Dang K., Lan J., Wang Y., Pan D., Du L., Suo S. et al. Screening and evaluation of novel DPP-IV inhibitory peptides in goat milk based on molecular docking and molecular dynamics simulation // *Food Chem. X.* 2025. Vol. 25. P. 102217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102217>
58. Gu H., Gao J., Shen Q., Gao D., Wang Q., Tangyu M. et al. Dipeptidyl peptidase-IV inhibitory activity of millet protein peptides and the related mechanisms revealed by molecular docking // *LWT.* 2021. Vol. 138. P. 110587. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110587>
59. Zheng S.L., Luo Q.B., Suo S.K., Zhao Y.Q., Chi C.F., Wang B. Preparation, identification, molecular docking study and protective function on HUVECs of novel ACE inhibitory peptides from protein hydrolysate of skipjack tuna muscle // *Mar. Drugs.* 2022. Vol. 20, N 3. P. 176. DOI: <https://doi.org/10.3390/md20030176>
60. Wu F., Luo X., Zhang Y., Wang P., Chang Y., He, Z. et al. Purification, identification, and inhibitory mechanisms of a novel ACE inhibitory peptide from *Torreya grandis* // *Nutrients.* 2023. Vol. 15, N 10. P. 2374. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15102374>
61. Jiang Q., Chen Q., Zhang T., Liu M., Duan S., Sun X. The antihypertensive effects and potential molecular mechanism of microalgal angiotensin I-converting enzyme inhibitor-like peptides: A mini review // *Int. J. Mol. Sci.* 2021. Vol. 22, N 8. P. 4068. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22084068>
62. Liu W., Liu R., Qin Q., Wang H., Wu H., Ren J. et al. Interaction mechanisms of ACE inhibitory peptides: molecular docking and molecular dynamics simulation studies on five wheat gluten derived peptides // *Eur. Food Res. Technol.* 2024. Vol. 250, N 8. P. 2133–2146. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04526-8>
63. Liu R., Cheng J., Wu H. Discovery of food-derived dipeptidyl peptidase IV inhibitory peptides: A review // *Int. J. Mol. Sci.* 2019. Vol. 20, N 3. P. 463. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20030463>

References

1. Fedacko J., Takahashi T., Singh R.B., Pella D., Chibisov S., Hristova K., et al. Globalization of diets and risk of noncommunicable diseases. In: *The role of functional food security in global health.* Editor(s): Singh R.B., Watson R.R., Takahashi T. Academic Press, 2019. P. 87–107. ISBN 9780128131480. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813148-0.00006-2>
2. Koene R.J., Prizment A.E., Blaas A., Konety S.H. Shared risk factors in cardiovascular disease and cancer. *Circulation.* 2016; 133 (11): 1104–14. DOI: <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.020406>
3. Yu X., Pu H., Voss M. Overview of anti-inflammatory diets and their promising effects on non-communicable diseases. *Br J Nutr.* 2024; 132 (7): 898–918. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114524001405>
4. Xiao S., Dong Y., Xia Y., Xu H., Weng F., Liang G., et al. Current trends in chronic non-communicable disease management: A bibliometric analysis of the past two decades. *J Multidiscip Healthc.* 2024; 17: 5001–17. DOI: <https://doi.org/10.2147/JMDH.S482427>
5. Peighambari S.H., Karami Z., Pateiro M., Lorenzo J.M., Barba F.J., Zhang H., et al. A review on health-promoting, biological, and functional aspects of bioactive peptides in food applications. *Biomolecules.* 2021; 11 (5): 631. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom11050631>
6. Habinshuti I., Nsengumuremyi D., Muhoza B., Ebenezer F., Aregbe A.Y., Ndisanze M.A., et al. Recent and novel processing technologies coupled with enzymatic hydrolysis to enhance the production of antioxidant peptides from food proteins: A review. *Food Chem.* 2023; 423: 136313. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136313>
7. Prodić I., Krstić Ristivojević M., Smiljanić K. Antioxidant properties of protein-rich plant foods in gastrointestinal digestion – peanuts as our antioxidant friend or foe in allergies. *Antioxidants.* 2023; 12 (4): 886. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox12040886>
8. Zakir S.K., Jawed B., Esposito J.E., Kanwal R., Pulcini R., Martinotti R., et al. The role of peptides in nutrition: insights into metabolic, musculoskeletal, and behavioral health: A systematic review. *Int J Mol Sci.* 2025; 26 (13): 6043. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms26136043>
9. Nemati M., Shahosseini S.R., Ariaii P. Review of fish protein hydrolysates: production methods, antioxidant and antimicrobial activity and nanoencapsulation. *Food Sci Biotechnol.* 2024; 33 (8): 1789–803. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-024-01554-8>
10. Aleksanochkin D.I., Fomenko I.A., Alekseeva E.A., Chernukha I.M., Mashentseva N.G. Obtaining vegetable protein from industrial hemp seeds and oilcake: an overview of processing methods for use in the food industry. *Food Systems.* 2024; 7 (2): 188–97. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-188-197> (in Russian)
11. Yao M., Xu F., Yao Y., Wang H., Ju X., Wang L. Assessment of novel oligopeptides from rapeseed napin (*Brassica napus*) in protecting HepG2 cells from insulin resistance and oxidative stress. *J Agric Food Chem.* 2022; 70 (39): 12418–29. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c03718>
12. Gharaviri M., Aleksanochkin D.I., Ahangaran M., Fomenko I.A., Kovalev L.I., Kovaleva M.A., et al. Chickpea protein hydrolysates: Production, bioactivity, functional profile, and technological properties. *Foods Raw Mater.* 2026; 14 (1): 198–213. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2026-1-666>
13. Sui X., Zhang T., Jiang L. Soy protein: Molecular structure revisited and recent advances in processing technologies. *Annu Rev Food Sci Technol.* 2021; 12: 119–47. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-062220-104405>
14. Sokolov D.V., Bolkhonov B.A., Zhamsaranova S.D., Lebedeva S.N., Bazhenova B.A. Enzymatic hydrolysis of soy protein. *Food Processing: Techniques and Technology.* 2023; 53 (1): 86–96. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2418> (in Russian)
15. Qin P., Wang T., Luo Y. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. *J Agric Food Res.* 2022; 7: 100265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265>
16. Singh P., Krishnaswamy K. Sustainable zero-waste processing system for soybeans and soy by-product valorization. *Trends Food Sci Technol.* 2022; 128: 331–44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.015>
17. Wang Z., Li Y., Fu W., Wu J. Unraveling the mechanisms of action of food-derived bioactive peptides: Insights from Omics approaches. *Food Nutr.* 2025; 1 (2): 100019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fnutr.2025.100019>
18. Chakrabarti S., Guha S., Majumder K. Food-derived bioactive peptides in human health: challenges and opportunities. *Nutrients.* 2018; 10 (11): 1738. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10111738>
19. Minkiewicz P., Iwaniak A., Darewicz M. BIOPEP-UWM database of bioactive peptides: Current opportunities. *Int J Mol Sci.* 2019; 20 (23): 5978. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20235978>
20. Bajja N., Choudhury S., Dhall A., Raghava G.P., Agrawal P., Usmani S.S., et al. AntiBP3: A method for predicting antibacterial peptides against Gram-positive/negative/variable bacteria. *Antibiotics.* 2024; 13 (2): 168. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics13020168>
21. Agrawal P., Bhalla S., Chaudhary K., Kumar R., Sharma M., Raghava G.P. In silico approach for prediction of antifungal peptides. *Front Microbiol.* 2018; 9: 323. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00323>
22. Agrawal P., Bhagat D., Mahalwal M., Sharma N., Raghava G.P. AntiCP 2.0: an updated model for predicting anticancer peptides. *Briefings Bioinf.* 2021; 22 (3): bbab153. DOI: <https://doi.org/10.1093/bib/bbaa153>
23. Usmani S.S., Bhalla S., Raghava G.P. Prediction of antitubercular peptides from sequence information using ensemble classifier and hybrid

- features. *Front Pharmacol.* 2018; 9: 954. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00954>
24. Rathore A.S., Choudhury S., Arora A., Tijare P., Raghava G.P.S. ToxinPred 3.0: An improved method for predicting the toxicity of peptides. *Comput Biol Med.* 2024; 179: 108926. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2024.108926>
25. Zhang Y., Zhang Y., Ying Z., Li W., Li H., Liu X. Trypsin inhibitor from soybean whey wastewater: isolation, purification and stability. *Appl Sci.* 2022; 12 (19): 10084. DOI: <https://doi.org/10.3390/app121910084>
26. Wu Y., Li W., Martin G.J., Ashokkumar M. Mechanism of low-frequency and high-frequency ultrasound-induced inactivation of soy trypsin inhibitors. *Food Chem.* 2021; 360: 130057. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130057>
27. Yin C., Zhang X., Xu B., Zhao Q., Zhang S., Li Y. Effect of limited hydrolysis on the structure and gel properties of soybean isolate proteins: A comparative study of papain or/and trypsin. *Int J Biol Macromol.* 2024; 282: 137398. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137398>
28. Yang Y., Wang Z., Wang R., Sui X., Qi B., Han F., et al. Secondary structure and subunit composition of soy protein in vitro digested by pepsin and its relation with digestibility. *Biomed Res Int.* 2016; 2016: 5498639. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/5498639>
29. Vogelsang-O'Dwyer M., Sahin A.W., Arendt E.K., Zannini E. Enzymatic hydrolysis of pulse proteins as a tool to improve techno-functional properties. *Foods.* 2022; 11 (9): 1307. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11091307>
30. Dent T., Campanella O., Maleky F. Enzymatic hydrolysis of soy and chickpea protein with Alcalase and Flavourzyme and formation of hydrogen bond mediated insoluble aggregates. *Curr Res Food Sci.* 2023; 6: 100487. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crf.2023.100487>
31. Daskaya-Dikmen C., Yucetepe A., Karbancioglu-Guler F., Daskaya H., Ozelik B. Angiotensin-I-converting enzyme (ACE)-inhibitory peptides from plants. *Nutrients.* 2017; 9 (4): 316. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu9040316>
32. Shestakova E.A., Galstyan G.R. Dipeptidyl peptidase-4 inhibitors: a comparative analysis of the group representatives. *Problemi Endocrinologii [Problems of Endocrinology]*. 2012; 58 (1): 61–6. (in Russian)
33. Abramic M., Agic D. Survey of dipeptidyl peptidase III inhibitors: From small molecules of microbial or synthetic origin to aprotinin. *Molecules.* 2022; 27 (9): 3006. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27093006>
34. Esser N., Zraika S. Neprilysin inhibition: a new therapeutic option for type 2 diabetes? *Diabetologia.* 2019; 62 (7): 1113–22. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00125-019-4889-y>
35. Lu H., Xie T., Wu Q., Hu Z., Luo Y., Luo F. Alpha-glucosidase inhibitory peptides: Sources, preparations, identifications, and action mechanisms. *Nutrients.* 2023; 15 (19): 4267. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15194267>
36. Qiao K., Huang Q., Sun T., Chen B., Huang W., Su Y., et al. Preparation and efficacy evaluation of antihyperuricemic peptides from marine sources. *Nutrients.* 2024; 16 (24): 4301. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16244301>
37. Wang Y., Wu J., Lu L., Fang B., Zhao M., Feng F., Wang J. The hypouricemic effect and mechanism of tuna (*Thunnus albacares*) peptide and screening its functional peptide segments. *Food Res Int.* 2025; 221: 117181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.117181>
38. Zhu Y., Lao F., Pan X., Wu J. Food protein-derived antioxidant peptides: Molecular mechanism, stability and bioavailability. *Biomolecules.* 2022; 12 (11): 1622. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom12111622>
39. Liu F., Chen J., Li K., Li H., Zhu Y., Zhai Y., et al. Ubiquitination and deubiquitination in cancer: from mechanisms to novel therapeutic approaches. *Mol Cancer.* 2024; 23 (1): 148. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12943-024-02046-3>
40. Capriotti A.L., Caruso G., Cavaliere C., Samperi R., Ventura S., Chiozzi R.Z., et al. Identification of potential bioactive peptides generated by simulated gastrointestinal digestion of soybean seeds and soy milk proteins. *J Food Compos Anal.* 2015; 44: 205–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.08.007>
41. Vanzolini T., Bruschi M., Rinaldi A.C., Magnani M., Fraternali A. Multitalented synthetic antimicrobial peptides and their antibacterial, antifungal and antiviral mechanisms. *Int J Mol Sci.* 2022; 23 (1): 545. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms23010545>
42. In I.H., Zhao C., Nguyen T., Menzel L., Waring A.J., Lehrer R.I., et al. Clavaspirin, an antibacterial and haemolytic peptide from *Styela clava*. *J Pept Res.* 2001; 58 (6): 445–56. DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1399-3011.2001.10975.x>
43. Lee S.Y., Hur S.J. Mechanisms of neuroprotective effects of peptides derived from natural materials and their production and assessment. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2019; 18 (4): 923–35. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12451>
44. Liu W., Chen X., Li H., Zhang J., An J., Liu X. Anti-inflammatory function of plant-derived bioactive peptides: A review. *Foods.* 2022; 11 (15): 2361. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11152361>
45. Turner A.J. ACE2 cell biology, regulation, and physiological functions. In: *The protective arm of the renin angiotensin system (RAS)*. Editor(s): Unger T., Steckelings U.M., dos Santos R.A.S. Academic Press, 2015: 185 p. ISBN 9780128013649. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801364-9.00025-0>
46. Wang X., Ai X., Zhu Z., Zhang M., Pan F., Yang Z., et al. Pancreatic lipase inhibitory effects of peptides derived from sesame proteins: *In silico* and *in vitro* analyses. *Int J Biol Macromol.* 2022; 222: 1531–7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.259>
47. Santos-Sánchez G., Álvarez-López A.I., Ponce-España E., Lardone P.J., Carrillo-Vico A., Cruz-Chamorro I. Food-derived peptides with inhibitory capacity for HMG-CoA reductase activity: a potential nutraceutical for hypercholesterolemia. *Food Sci Hum Wellness.* 2024; 13 (6): 3083–94. DOI: <https://doi.org/10.26599/FSHW.2023.9250001>
48. Li Y., Gu M., Shi F., Zhou L., Huang J. Identification of novel renin inhibitory peptides from tartary buckwheat albumin hydrolysates by molecular docking. *Process Biochem.* 2024; 138: 120–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2024.01.014>
49. Tomkinson B. Tripeptidyl-peptidase II: Update on an oldie that still counts. *Biochimie.* 2019; 166: 27–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2019.05.012>
50. Ishii Y., Matsunaga Y., Akiyama H., Shimizu K., Honda H. Enrichment of soy protein-derived peptides that decrease pancreatic lipase activity using heat-treated porous silica gel and their relationship with bile acid binding activity. *J Biosci Bioeng.* 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2025.09.002>
51. Tsukamoto T., Wozniak K.M., Slusher B.S. Progress in the discovery and development of glutamate carboxypeptidase II inhibitors. *Drug Discovery Today.* 2007; 12 (17–18): 767–76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2007.07.010>
52. Qi J., Yao L. Modulators of neurolysin: promising agents for the treatment of tumor and neurological diseases. *Med Chem Res.* 2021; 30 (7): 1328–33. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00044-021-02761-2>
53. Margatan W., Ruud K., Wang Q., Markowski T., Ismail B. Angiotensin converting enzyme inhibitory activity of soy protein subjected to selective hydrolysis and thermal processing. *J Agric Food Chem.* 2013; 61 (14): 3460–7. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf4001555>
54. Fadlillah H.N., Nuraida L., Sitanggang A.B., Palupi N.S. Antioxidant peptides produced by *Pediococcus acidilactici* YKP4 and *Lactocaseibacillus rhamnosus* BD2 in fermented soymilk made from germinated soybeans. *Int J Food Sci Technol.* 2025; 60 (1): vvae002. DOI: <https://doi.org/10.1093/ijfood/vvae002>
55. Zhang J., Li M., Lv Y., Guo S., Yang B. Protein aggregation impacts in vitro protein digestibility, peptide profiling and potential bioactive peptides of soymilk and dry-heated soybeans. *LWT.* 2023; 182: 114857. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114857>
56. Vidal-Limon A., Aguilar-Toalá J.E., Liceaga A.M. Integration of molecular docking analysis and molecular dynamics simulations for studying food proteins and bioactive peptides. *J Agric Food Chem.* 2022; 70 (4): 934–43. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c06110>
57. Dang K., Lan J., Wang Y., Pan D., Du L., Suo S., et al. Screening and evaluation of novel DPP-IV inhibitory peptides in goat milk based on molecular docking and molecular dynamics simulation. *Food Chem X.* 2025; 25: 102217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102217>
58. Gu H., Gao J., Shen Q., Gao D., Wang Q., Tangyu M., et al. Dipeptidyl peptidase-IV inhibitory activity of millet protein peptides and the related mechanisms revealed by molecular docking. *LWT.* 2021; 138: 110587. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110587>
59. Zheng S.L., Luo Q.B., Suo S.K., Zhao Y.Q., Chi C.F., Wang B. Preparation, identification, molecular docking study and protective function on HUVECs of novel ACE inhibitory peptides from protein hydrolysate of skipjack tuna muscle. *Mar Drugs.* 2022; 20 (3): 176. DOI: <https://doi.org/10.3390/md20030176>
60. Wu F., Luo X., Zhang Y., Wang P., Chang Y., He Z., et al. Purification, identification, and inhibitory mechanisms of a novel ACE inhibitory peptide from *Torreya grandis*. *Nutrients.* 2023; 15 (10): 2374. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15102374>
61. Jiang Q., Chen Q., Zhang T., Liu M., Duan S., Sun X. The antihypertensive effects and potential molecular mechanism of microalgal angiotensin I-converting enzyme inhibitor-like peptides: A mini review. *Int J Mol Sci.* 2021; 22 (8): 4068. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22084068>
62. Liu W., Liu R., Qin Q., Wang H., Wu H., Ren J., et al. Interaction mechanisms of ACE inhibitory peptides: Molecular docking and molecular dynamics simulation studies on five wheat gluten derived peptides. *Eur Food Res Technol.* 2024; 250 (8): 2133–46. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04526-8>
63. Liu R., Cheng J., Wu H. Discovery of food-derived dipeptidyl peptidase IV inhibitory peptides: A review. *Int J Mol Sci.* 2019; 20 (3): 463. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20030463>

Для корреспонденции

Коляскина Мария Михайловна (Mariya M. Kolyaskina) – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории медико-биологических исследований
Адрес: 105275, Российская Федерация, г. Москва, пр-т Буденного, д. 31
Телефон: (495) 365-59-41
E-mail: kolaskina_m@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5356-1598>

Пилат Т.Л., Кузьмина Л.П., Хотулева А.Г., Коляскина М.М.

Новые возможности диетической коррекции массы тела и липидного обмена у пациентов с ожирением

New possibilities for dietary correction of body weight and lipid metabolism in patients with obesity

Pilat T.L., Kuzmina L.P., Khotuleva A.G., Kolyaskina M.M.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», 105275, г. Москва, Российская Федерация

Izmerov Research Institute of Occupational Health, 105275, Moscow, Russian Federation

Избыточная масса тела, ожирение и дислипидемия вносят существенный вклад в развитие сердечно-сосудистых заболеваний атеросклеротического генеза. Среди немедикаментозных методов лечения наибольшей эффективностью обладает диетотерапия с использованием специализированных пищевых продуктов.

Цель исследования – оценить возможности диетической коррекции массы тела и липидного обмена у пациентов с избыточной массой тела и ожирением при применении программы питания «Снижение веса и холестерина» (СВХ).

Материал и методы. Выполнено наблюдательное когортное исследование с участием 20 женщин в возрасте от 25 до 50 лет с исходно высоким уровнем общего холестерина в сыворотке крови ($>6,2$ ммоль/л), имеющих индекс массы тела (ИМТ) свыше $25,0$ кг/м². Эффективность программы питания СВХ оценивали по динамике антропометрических показателей, липидного профиля крови [концентрация общего холестерина, триглицеридов, липопротеинов низкой (ЛПНП) и высокой (ЛПВП) плотности], уровня глюкозы крови натощак, а также по изменению функционального состояния печени (по активности органоспецифических ферментов печени и уровням общего и прямого билирубина). Проведена оценка органолептических свойств и переносимости продуктов программы СВХ с использованием опросника.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования – Кузьмина Л.П., Пилат Т.Л.; сбор и статистическая обработка данных – Хотулева А.Г.; написание текста – Пилат Т.Л., Кузьмина Л.П., Коляскина М.М.; редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Для цитирования: Пилат Т.Л., Кузьмина Л.П., Хотулева А.Г., Коляскина М.М. Новые возможности диетической коррекции массы тела и липидного обмена у пациентов с ожирением // Вопросы питания. 2026. Т. 95, № 2. С. 92–100. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-92-100>

Статья поступила в редакцию 18.03.2026. **Принята в печать** 13.04.2026.

Funding. The study has no sponsorship.

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

Contribution. Study conception and design – Kuzmina L.P., Pilat T.L.; data collection and statistical processing – Khotuleva A.G.; text writing – Kuzmina L.P., Pilat T.L., Kolyaskina M.M.; editing, adoption of the final article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For citation: Pilat T.L., Kuzmina L.P., Khotuleva A.G., Kolyaskina M.M. New possibilities for dietary correction of body weight and lipid metabolism in patients with obesity. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2026; 95 (2): 92–100. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2026-95-2-92-100> (in Russian)

Received 18.03.2025. **Accepted** 13.04.2026.

Результаты. После 2-недельного применения программы питания СВХ снижение массы тела обследованных достигло 4,7 кг (с $82,4 \pm 5,7$ до $77,7 \pm 5,4$ кг), концентрация в сыворотке крови общего холестерина уменьшилась на 12,1% (с $7,12 \pm 0,43$ до $6,26 \pm 0,36$ ммоль/л), триглицеридов – на 17,0% (с $2,18 \pm 0,45$ до $1,81 \pm 0,38$ ммоль/л), ЛПНП – на 8,7% (с $4,42 \pm 0,38$ до $4,03 \pm 0,35$ ммоль/л) ($p < 0,05$), что обосновано снижением калорийности рациона и потребления жиров, исключением из рациона продуктов, богатых холестерином, и включением в рацион пектина, хлорогеновой кислоты и β -глюканов, способствующих улучшению липидного профиля. Отмечено улучшение функционирования печени: активность аланин- и аспаратаминотрансферазы снизилась ($p > 0,05$) соответственно на 14,2% (с $48,2 \pm 17,1$ до $41,4 \pm 14,2$ Ед/л) и 7,7% (с $41,6 \pm 12,9$ до $38,4 \pm 11,5$ Ед/л), уровень билирубина уменьшился [общего – на 16% (с $14,2 \pm 3,6$ до $11,9 \pm 3,1$ мкмоль/л), прямого – на 17,4% (с $3,9 \pm 1,2$ до $3,2 \pm 1,0$ мкмоль/л)]. Выявлено улучшение углеводного обмена: уровень глюкозы в крови снизился на 9,5% (с $5,95 \pm 0,42$ до $5,38 \pm 0,38$ Ед/л) ($p < 0,05$).

Заключение. Программа питания СВХ может служить эффективным средством для снижения массы тела, нормализации показателей липидного и углеводного обмена у лиц с ожирением и гиперлипидемией.

Ключевые слова: ожирение; снижение массы тела; холестерин; липопротеины низкой плотности; дислипидемия; жировая болезнь печени; низкокалорийный рацион питания

Overweight, obesity, and dyslipidemia significantly contribute to the development of atherosclerotic cardiovascular disease. Among non-drug treatments, dietary therapy using foods for special dietary uses is the most effective.

The purpose of the study was to evaluate the possibilities of dietary correction of body weight and lipid metabolism in patients with overweight and obesity using the “Weight and Cholesterol Reduction” (WCR) nutrition program.

Material and methods. An observational cohort study was conducted involving 20 women aged 25 to 50 years with initially high total serum cholesterol (> 6.2 mmol/L) and a body mass index (BMI) over 25.0 kg/m². The effectiveness of the WCR nutrition program was assessed based on changes in anthropometric parameters, blood lipid profile [total cholesterol, triglycerides, low-density lipoprotein (LDL) and high-density lipoprotein (HDL) level], fasting blood glucose level, and changes in liver function (the activity of organ-specific liver enzymes and level of total and direct bilirubin). The organoleptic properties and tolerability of the WCR program products were assessed using a questionnaire.

Results. After two weeks of using the WCR nutrition program, the body weight of the subjects decreased to 4.7 kg (from 82.4 ± 5.7 to 77.7 ± 5.4 kg), blood serum level of total cholesterol decreased by 12% (from 7.12 ± 0.43 to 6.26 ± 0.36 mmol/L), triglycerides – by 17% (from 2.18 ± 0.45 to 1.81 ± 0.38 mmol/L), LDL – by 8.7% (from 4.42 ± 0.38 to 4.03 ± 0.35 mmol/L) ($p < 0.05$), which is justified by a decrease in the diet calorie intake and fat consumption, the exclusion of cholesterol-rich foods from the diet, and the inclusion of pectin, chlorogenic acid and β -glucans in the diet, which contribute to lipid profile improvement. Enhancing liver function was noted: the activity of alanine and aspartate aminotransferase decreased ($p > 0.05$) by 14.2% (from 48.2 ± 17.1 to 41.4 ± 14.2 U/L) and 7.7% (from 41.6 ± 12.9 to 38.4 ± 11.5 U/L), respectively, the bilirubin level decreased [total by 16% (from 14.2 ± 3.6 to 11.9 ± 3.1 μ mol/L), direct by 17.4% (from 3.9 ± 1.2 to 3.2 ± 1.0 μ mol/L)]. Improvement in carbohydrate metabolism was revealed: the blood glucose level decreased by 9.5% (from 5.95 ± 0.42 to 5.38 ± 0.38 U/l) ($p < 0.05$).

Conclusion. The WCR nutrition program can serve as an effective mean for weight loss and normalization of lipid and carbohydrate metabolism in individuals with obesity and hyperlipidemia.

Keywords: obesity; weight loss; cholesterol; low-density lipoproteins; dyslipoproteinemia; fatty liver disease; low-calorie diet

Во всем мире около 2 млрд людей старше 18 лет имеют избыточную массу тела, из них свыше 650 млн страдают ожирением. По данным Многоцентрового наблюдательного исследования ЭССЕ-РФ, распространенность ожирения среди взрослого населения в возрасте 25–64 лет составляет почти 30% [1–3].

Исследования последних лет демонстрируют, что параллельно с ростом случаев ожирения увеличивается распространенность метаболически ассоциирован-

ной жировой болезни печени (МАЗБП). Высокий индекс массы тела (ИМТ) является независимым предиктором развития жировой инфильтрации печени: ИМТ > 30 кг/м² почти в 100% случаев сопровождается развитием стеатоза печени и почти в половине случаев – неалкогольного стеатогепатита [4–6].

Несомненно, печень также играет важнейшую роль в развитии атерогенной дислипидемии, одновременно являясь и органом-мишенью. Дислипидемия, т.е.

нарушение соотношения атерогенных и антиатерогенных липопротеинов, имеет большое значение в формировании метаболического симптомокомплекса при ожирении и других ассоциированных с ожирением заболеваниях, в том числе гастроэнтерологических. У пациентов с ожирением характерными особенностями нарушения липидного обмена, помимо высокого уровня липопротеинов низкой плотности (ЛПНП), являются повышенный уровень триглицеридов (ТГ) и сниженная фракция липопротеинов высокой плотности (ЛПВП) в сыворотке крови. Длительная дислипидотеинемия является звеном в патогенезе жировой болезни печени [7–10].

Избыточная масса тела и ожирение, в свою очередь, влияют на функциональную активность печени. В 2020–2021 гг. в Иране было проведено клиническое исследование с участием более 350 практически здоровых женщин в возрасте от 35 до 65 лет [11]. Оценивали связь ожирения с повышением уровней печеночных ферментов – аланинаминотрансферазы (АЛТ), аспартатаминотрансферазы (АСТ), β -глютамилтранспептидазы (ГГТ), щелочной фосфатазы. У женщин, страдающих ожирением ($n=140$), активность АЛТ, щелочной фосфатазы и ГГТ была выше на 9,2–15,7% ($p<0,05$) по сравнению с уровнем у лиц без ожирения ($\text{ИМТ} < 29,9 \text{ кг/м}^2$), несмотря на отсутствие существенных различий по таким параметрам, как возраст, рост, физическая активность, потребление энергии, белков, углеводов и жиров. Однако после поправки на потребление калорий и макронутриентов значимой связи между ИМТ и активностью ферментов не выявлено. Данное наблюдение показало очевидный высокий риск развития патологии печени при избыточном поступлении энергии и пищевых веществ с рационом [11].

Основной задачей в терапии ожирения и коррекции дислипидемии является постепенная поведенческая модификация, в том числе нормализация пищевого поведения с закреплением правильного пищевого стереотипа [1, 2].

Во всех рекомендациях отмечается необходимость снижения калорийности пищевого рациона, а также максимального снижения в нем содержания насыщенных и трансизомеров жирных кислот, увеличения доли овощей, фруктов, зерновых, бобовых, обезжиренных молочных и белковых продуктов, растительных масел, чтобы сделать содержание эссенциальных микронутриентов максимальным и способствовать укреплению здоровья [1–3, 6].

Снижение массы тела при ожирении на 5–7%, как было показано в канадском исследовании, позволяет улучшить показатели липидного профиля и смертность от сердечно-сосудистых заболеваний [1].

В большинстве клинических рекомендаций уменьшение массы тела на 3–10% в течение 6 мес и ее удержание в течение длительного времени является необходимым целевым эффектом с точки зрения снижения последствий ассоциированных с ожирением заболеваний [1, 2].

Согласно американским рекомендациям (АНА/ACC/TOS и AND), диета для снижения массы тела должна

иметь калорийность (с поправкой на исходную массу тела): для женщин – 1200–1500 ккал/сут, для мужчин – 1500–1800 ккал/сут с учетом среднесуточного дефицита около 700 калорий от потребности, тогда как, по данным австралийских рекомендаций NHMRC, среднесуточный дефицит должен составлять от 580 до 600 ккал/сут [1].

В нашей стране всем пациентам с ожирением для снижения массы тела рекомендуется гипокалорийная диета с дефицитом 500–700 ккал от физиологической потребности, сбалансированная по пищевым ингредиентам, а на этапе поддержания достигнутой массы тела – сбалансированная по содержанию пищевых веществ эукалорийная диета [2].

Для снижения содержания жира в печени рекомендована сбалансированная диета с соблюдением принципов средиземноморского типа питания. Преимуществом такого типа рациона служит возможность следовать ему без ущерба здоровью на протяжении неограниченно длительного периода времени и адаптировать его к любому географическому региону и личным пищевым предпочтениям пациента [6].

Для облегчения контроля за калорийностью и сбалансированностью рациона рекомендуется использование специализированных пищевых продуктов для диетического лечебного и профилактического питания в виде гипокалорийных продуктов, сбалансированных по составу пищевых ингредиентов [2].

Снижение массы тела за счет значительного ограничения содержания в рационе жиров может сопровождаться изменением метаболизма холестерина и увеличением риска желчнокаменной болезни. Риск образования камней в желчном пузыре снижает медленная потеря массы тела в пределах около 1,0 кг/нед по сравнению с быстрыми темпами потери массы тела [1].

В настоящее время Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», а также Национальные центры прогнозирования окружающей среды (NCEP) США рекомендуют гипохолестериновую диету, характеризующуюся рядом особенностей: сбалансированное дробное питание, сниженная калорийность рациона, ограниченное употребление холестерина, насыщенных жиров, трансизомеров жирных кислот, поваренной соли, свободных сахаров, не приводящие к дефициту незаменимых нутриентов [12].

В результате научного поиска были специально подобраны атерогенные компоненты пищи, которые, по данным доказательной медицины, направлены на значительное улучшение липидного профиля: пектин, хлорогеновые кислоты и β -глюканы [12].

Пектин – растительный полисахарид, в большом количестве содержащийся в яблоках. Он очень важен для стабилизации обмена веществ, улучшает перистальтику кишечника, способствует снижению содержания холестерина в организме, обладает пробиотическими свойствами [13]. Пектин активно участвует в процессе всасывания пищевых веществ в тонкой кишке, ускоряет выведение из организма нейтральных стероидов

и фекальных желчных кислот [12]. В рамках оценки клинической эффективности киселя с пектином, проведенной в ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», было показано, что при соблюдении диеты, включающей в себя эти продукты, уровень ЛПНП в сыворотке крови пациентов снижался на 17% [14]. Пектин также замедляет рост уровня глюкозы в крови после приема пищи. Его включение в рацион обеспечивает чувство быстрого насыщения, что способствует снижению аппетита и уменьшению объема потребляемой пищи [12].

β -Глюканы – полисахариды, присутствующие в значительном количестве в овсе и ячмене. Проведенные исследования подтверждают, что потребление β -глюканов способствует снижению уровня холестерина в сыворотке крови на 5–10% за счет замедления реабсорбции желчных кислот и холестерина и увеличения объема каловых масс, замедления повышения уровня глюкозы в крови, уменьшения секреции инсулина и выработки холестерина печенью. β -Глюканы овса также улучшают моторно-эвакуаторную функцию кишечника и контролируют аппетит, стимулируя насыщение [12, 15].

Хлорогеновая кислота – соединение, содержащееся в большой концентрации в необжаренном кофе. Она оказывает противовоспалительное и антиоксидантное действие, способствует снижению массы тела и уровня холестерина в крови [12, 16, 17].

Принимая во внимание значительную распространенность избыточной массы тела и ожирения в Российской Федерации, а также повышенный риск развития целого ряда тяжелых заболеваний, ассоциированных с ожирением и нарушением липидного профиля, актуальной задачей является поиск новых возможностей коррекции питания для снижения массы тела и нормализации липидного обмена у пациентов с ожирением.

С учетом изложенного для расширения возможностей коррекции питания и нарушений липидного обмена у пациентов с ожирением был разработан низкокалорийный рацион «Снижение веса и холестерина» (СВХ), включающий специализированные пищевые продукты диетического профилактического питания.

Цель исследования – оценка возможностей коррекции массы тела и липидного обмена у пациентов с избыточной массой тела или ожирением при применении программы питания СВХ. В задачи исследования входила оценка динамики спектра липидов крови (концентрация холестерина общего, ТГ, ЛПНП, ЛПВП), антропометрических показателей и функционального состояния печени по активности органоспецифических ферментов и уровню общего и прямого билирубина у пациентов с избыточной массой тела или ожирением при применении программы питания СВХ.

Материал и методы

Проведено наблюдательное когортное исследование с участием 20 женщин в возрасте от 25 до 50 лет, с исходно высоким уровнем холестерина в крови, име-

ющих ИМТ свыше 25 кг/м². Эффективность программы питания «Худеем за неделю» СВХ для снижения массы тела и нормализации липидного обмена оценивали по динамике антропометрических показателей, липидного профиля крови, уровня глюкозы крови натощак, а также по изменению функционального состояния печени (активность органоспецифических ферментов печени и уровень общего и прямого билирубина). Помимо этого, проведена оценка органолептических свойств и переносимости продуктов программы «Худеем за неделю» СВХ у женщин с избыточной массой тела или ожирением с использованием опросника.

Рекомендуемая структура питания по программе СВХ выглядит следующим образом:

1. Фиксированный рацион пониженной энергетической ценности в течение 5 дней: 6 приемов пищи, включающих входящие в кейс программы питания СВХ концентраты блюд и специализированные пищевые продукты диетического (лечебного и профилактического) питания (ООО «ЛЕОВИТ нутрио», РФ), с учетом дополнительного питания. Суммарная суточная энергетическая ценность составляет 1200–1500 ккал, объем потребляемой жидкости – 1,5–2 л в день. С учетом соблюдения рекомендаций по дополнительному питанию, количество поступающего с пищей холестерина – менее 120 мг/сут, что соответствует рекомендациям NCEP ATP III (табл. 1).

2. Свободный рацион пониженной энергетической ценности рекомендованного состава (энергетическая ценность – 1800 ккал; пищевая ценность: белок – 85 г, жиры – 60 г, углеводы – 228 г, холестерин – не более 120 мг) в течение 2 дней: 4–6 приемов пищи в день, объем потребляемой жидкости – 1,5–2 л в день.

При выборе дополнительного питания в рамках программы необходимо было руководствоваться следующими рекомендациями (табл. 2).

Критерии включения:

- пациенты с избыточной массой тела и ожирением, но не имеющие серьезных проблем со здоровьем и других противопоказаний (беременность, прием препаратов для снижения массы тела, потеря массы тела более 6 кг за полгода, предшествующие исследованию, и др.), в возрасте от 25 до 50 лет;
- женщины с ИМТ 30–40 кг/м² (ожирение);
- женщины с ИМТ 25–30 кг/м² (избыточная масса тела).

Критерии исключения:

- перенесенные инсульт, инфаркт миокарда, коронарная ангиопластика, операция аортокоронарного шунтирования в течение 3 мес, предшествующих исследованию;
- острая коронарная недостаточность (нестабильная стенокардия) в течение 3 мес, предшествующих исследованию;
- почечная или печеночная недостаточность;
- обострение хронических заболеваний;
- ожирение IV степени;
- ИМТ <25 кг/м² (нормальная масса тела);
- уровень общего холестерина в сыворотке крови ниже 5,5 ммоль/л.

Таблица 1. Состав суточного рациона питания «Снижение веса и холестерина» и рекомендованного дополнительного питания

Table 1. Daily diet composition for «Weight and Cholesterol Reduction» and recommended supplemental nutrition

Прием пищи <i>Meal</i>	Наименование продукта или блюда <i>Food or dish</i>	Назначение/характеристика <i>Purpose/characteristics</i>
За 30 мин до завтрака	«ЛимфоSlim» лимфодренажный напиток со вкусом ананаса*	В качестве специализированного пищевого продукта диетического лечебного и диетического профилактического питания, в том числе диабетического питания, предназначенного для уменьшения и снятия отеков, улучшения работы лимфатической системы (витамин С – 32 мг, витамин В ₂ – 2 мг, β-каротин – 0,3 мг)
Завтрак	«Капучино» кофе для похудения жиросжигающий комплекс*	В качестве специализированного пищевого продукта диетического профилактического питания для снижения риска развития ожирения и метаболического синдрома, ускорения жирового обмена, источника антиоксиданта (витамин С – 70 мг, L-карнитин – 70 мг, хром – 9,8 мкг, хлорогеновая кислота – 50 мг)
	Обезжиренный творог (100 г) или обезжиренный йогурт (150 г)	–
	ORSO MegaSlim жиросжигающий комплекс для похудения (2 капсулы)	В качестве биологически активной добавки к пище для улучшения метаболизма и ускорения жирового обмена, при похудении, источник L-карнитина и хрома (L-карнитин – 75 мг, хром – 7,6 мкг)
Второй завтрак	Несладкие фрукты и ягоды на выбор (100 г) или Коктейль белковый детоксикационный*, (200 мл)	Яблоко, слива, апельсин, грейпфрут, черника, голубика, земляника, малина. В качестве специализированного пищевого продукта диетического лечебного и диетического профилактического питания для снижения интоксикации организма, укрепления иммунитета и улучшения общефизического статуса (витамин А – 0,86 мг, витамин В ₂ – 1 мг, ниацин – 7,8 мг, витамин С – 18 мг, витамин В ₆ – 0,6 мг, витамин Е – 0,6 мг, таурин – 60 мг, кофеин – 7,6 мг, янтарная кислота – 20 мг, кальций – 91 мг, натрий – 44 мг, марганец – 0,1 мг, селен – 3,6 мкг, цинк – 0,6 мг)
Обед	Суп*	–
	Салат из свежих овощей (200 г), заправленный 2 ст.л. маложирного йогурта или 1 ч.л. оливкового масла	–
	Второе блюдо*	–
	Чай (очищающий комплекс)*	В качестве специализированного пищевого продукта диетического профилактического питания для снижения риска развития ожирения и метаболического синдрома, улучшения моторно-эвакуаторной функции кишечника (витамин С – 70 мг, витамин В ₆ – 1 мг)
	MULTI MegaSlim витаминно-минеральный комплекс, 2 капсулы	В качестве биологически активной добавки (биотин – 150 мкг, ниацин – 18 мг, витамин Е – 10 мг, витамин С – 60 мг, витамин В ₁ – 1,4 мг, витамин В ₂ – 1,6 мг, витамин В ₆ – 2 мг, витамин В ₉ – 200 мкг, витамин В ₁₂ – 1 мкг, пантотеновая кислота – 5,8 мг, хром – 50 мкг, селен – 60 мкг, цинк – 11 мг, L-карнитин – 200 мг, бромелайн – 100 мг)
Полдник	Несладкие фрукты, ягоды, овощи на выбор (100 г)	–
Ужин	Суп с β-глюканом*, **	β-Глюканы – от 12,6 до 29 мг
	Приготовленная на пару говядина, рыба или куриная грудка с добавлением пряностей, зелени по вкусу (150 г)	–
	Кисель с пектином витаминизированный*	Пектин – 1 г, витамин С – 73 мг
	DETOX MegaSlim очищающий комплекс, 2 капсулы	В качестве биологически активной добавки к пище – источника магния, для детоксикации организма (магний – 92 мг)
На ночь	Кефир обезжиренный (100 мл) и хлеб отрубной или отруби (25 г)	–

Примечание. * – ассортимент продуктов, входящих в кейс программы питания «Снижение веса и холестерина»; ** – β-глюканы входят в состав супов: «Суп-пюре со злаками и шпинатом», «Суп-пюре со злаками и вишней», «Суп-пюре со злаками и малиной», «Суп-пюре со злаками и тыквой», «Суп-пюре со злаками и яблоком».

Дизайн исследования

Под наблюдением находились 20 женщин с избыточной массой тела и ожирением с уровнем холестерина в сыворотке крови выше 6,2 ммоль/л. Участники были проинформированы об ингредиентном составе предлагаемых продуктов. От каждого участника получено информированное согласие на проведение оценки про-

дуктов компании рациона питания CBX, включающего в себя специализированные продукты диетического и профилактического питания, первые и вторые блюда, биологически активные добавки к пище, а также рекомендации по правильному питанию. Участникам необходимо было придерживаться полученных рекомендаций в течение 2 нед.

Таблица 2. Рекомендации по выбору дополнительного питания

Table 2. Recommendations for choosing supplemental nutrition

Группа продуктов Product group	Рекомендуются / Recommended	Исключаются / Excluded
Хлеб, крупы и прочие мучные изделия	Хлеб ржаной (из сеяной обдирной муки), пшеничный (из муки 1-го и 2-го сорта), с отрубями, рассыпчатые каши, запеканки, пудинги из гречневой (ядрицы), овсяной, ячневой и других круп	Изделия из сдобного и слоеного теста, пироги, блины, торты, пирожные
Мясо и птица	Нежирные сорта (говядина, телятина, куры) в отварном или запеченном виде, рубленые или куском. Заливное из отварной курицы или мяса на овощном отваре. Нежирная ветчина	Жирные сорта, гусь, утка, жареное мясо без предварительного отваривания, мозги, печень, почки, копчености, колбасы, консервы
Рыба	Нежирные виды, запеченная или отварная, рубленая или куском. Заливная на овощном отваре	Жирные виды, копченая, соленая, икра, консервы
Яйца	Белок	Желток, целное яйцо
Молочные продукты	Молоко, молочнокислые напитки, нежирный творог, нежирный и несоленый сыр	Жирные сливки, творог, соленый и жирный сыр
Жиры	Растительные (преимущественно нерафинированные) масла	Мясные и кулинарные жиры
Овощи	Сырые, в запеченном и отварном виде	Жареные, приготовленные с сыром, в сливочном соусе
Фрукты	Ягоды и фрукты в сыром виде, сухофрукты, компоты, кисели, муссы, желе	Приготовленные с кремом или маслом

Дважды (до начала исследования и через 2 нед) проводили определение биохимических показателей крови (концентрация общего холестерина, ТГ, ЛПНП, ЛПВП, глюкозы, общего и прямого билирубина, активность АСТ, АЛТ, ГГТ), а также фиксировали массу тела и рост с дальнейшим расчетом ИМТ и относительного содержания жира в организме.

В течение 2 нед добровольцы питались по программе питания СВХ: 5 дней фиксированного рациона с дополнительным питанием плюс 2 дня свободного рациона рекомендованного состава. Суммарно в данной оценке было использовано 2 полных курса без перерыва.

Методы исследования

Комплексное обследование включало в себя оценку динамики биохимических показателей, а также оценку антропометрических показателей (расчет ИМТ).

Биохимические показатели состояния липидного и углеводного обмена, а также активность органоспецифических ферментов печени и уровень общего и прямого билирубина определяли спектрофотометрическим методом на автоматическом биохимическом анализаторе Konelab 30i (Thermo Fisher Scientific, Финляндия) с использованием тест-систем Thermo Electron Corporation.

ИМТ рассчитывали по формуле:

$$\text{ИМТ} = \text{масса тела (кг)} / \text{рост (м)}^2.$$

Оценку самочувствия, переносимости и органолептических свойств продуктов проводили анкетно-опросным методом. Органолептической оценке подвергались все компоненты программы, для анализа использовали средние значения полученных оценок (по 5-балльной шкале). Оценка самочувствия включала в себя настроение и ощущаемый уровень сытости (по 3-балльной шкале).

Статистическая оценка

Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета Statistica 12 (StatSoft, США) и программы Microsoft Excel. Результаты представлены в виде средних величин и стандартной ошибки средней величины ($M \pm m$). Достоверность различий определяли с использованием парного t -критерия Стьюдента, критерия Вилкоксона, критерия Мак-Немара. Статистически значимыми считали различия при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

После применения в течение 2 нед программы питания СВХ масса тела обследованных снизилась с $82,4 \pm 5,7$ до $77,7 \pm 5,4$ кг ($p < 0,05$), ИМТ – с $30,6 \pm 1,6$ до $29,0 \pm 1,6$ кг/м² ($p < 0,05$).

Исследование биохимических показателей крови выявило (рис. 1), что через 2 нед использования программы снизилась ($p < 0,05$) концентрация в сыворотке крови холестерина в среднем на 12% (до 23%), ТГ – на 17% (до 42%), ЛПНП – на 8,7% (до 14%), при этом изменения концентрации ЛПВП у пациентов в процессе исследования не зафиксировано.

Исследование показателей пигментного обмена (общий и прямой билирубин) и активности органоспецифических ферментов печени, характеризующих процессы цитолиза (АСТ, АЛТ) и процессы холестаза (ГГТ), до и после использования программы питания СВХ у обследованных лиц выявило незначительное снижение всех изученных параметров, не достигающее уровня статистической значимости (рис. 2).

Снижение ($p > 0,05$) активности АЛТ (в среднем на 14,2%) и АСТ (на 7,7%), сопровождающееся уменьшением уровня билирубина (общего на 16%, прямого на 17,4%), может указывать на улучшение функциональной способности печени.

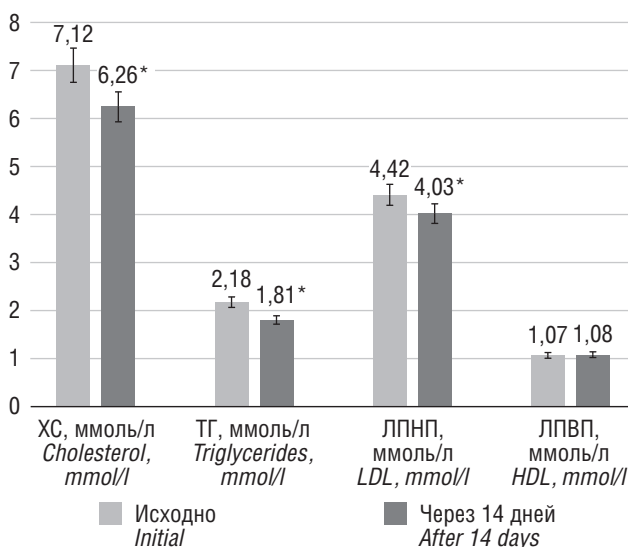


Рис. 1. Динамика концентрации липидов в сыворотке крови ($M \pm m$)

* – статистически значимое отличие ($p < 0,05$) от показателя при исходном обследовании. ХС – холестерин; ТГ – триглицериды; ЛПНП – липопротеины низкой плотности; ЛПВП – липопротеины высокой плотности.

Fig. 1. Dynamics of serum lipid level ($M \pm m$)

* – significant difference ($p < 0.05$) from the indicator during the initial examination. LDL – low-density lipoproteins; HDL – high-density lipoproteins.

Анализ результатов определения уровня глюкозы в крови обследованных лиц выявил его статистически значимое снижение на 9,5% ($p < 0,05$) после использования программы питания СВХ.

Оценка эмоционального состояния участниц наблюдения показала, что использование программы питания СВХ обеспечивает достаточную сытость в течение дня и помогает контролировать чувство голода между приемами пищи (табл. 3).

Таблица 3. Эмоциональная оценка применения программы питания (по 3-балльной шкале)

Table 3. Emotional assessment of the program use (on a 3-point scale)

Показатель / Indicator	Оценка, баллы / Score, points ($M \pm m$)
Настроение / Mood	2,5 $\pm$ 0,7
Чувство сытости / Feeling of satiety	2,7 $\pm$ 0,6

Таблица 4. Оценка органолептических свойств продуктов программы питания (по 5-балльной шкале)

Table 4. Assessment of the organoleptic properties of the nutrition program products (on a 5-point scale)

Показатель / Indicator	Оценка, баллы / Score, points ($M \pm m$)
Внешний вид / Appearance	4,6 $\pm$ 0,6
Аромат / Aroma	4,8 $\pm$ 0,2
Вкус / Taste	4,1 $\pm$ 0,6

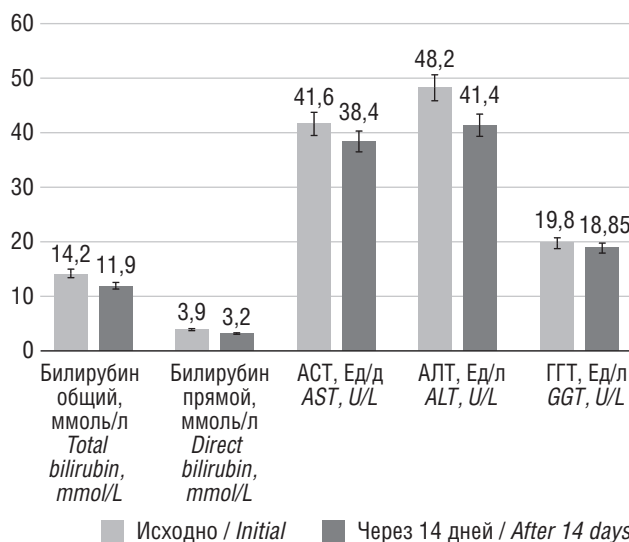


Рис. 2. Динамика основных биохимических маркеров функционирования печени ($M \pm m$)

Расшифровка аббревиатур дана в тексте.

Fig. 2. Dynamics of the main biochemical markers of liver function ($M \pm m$)

ALT – alanine aminotransferase; AST – aspartate aminotransferase; GGT – gamma-glutamyl transpeptidase.

Все участницы наблюдения высоко оценили органолептические свойства блюд программы СВХ (табл. 4). Были отмечены их приятный внешний вид, отмечалась консистенция, характерная для данного типа продуктов. Незначительные расхождения в оценках связаны, по-видимому, с индивидуальными предпочтениями. Явлений непереносимости и аллергических реакций не отмечено.

Обсуждение

Распространенность ожирения и ассоциированных с ним метаболических нарушений имеет общемировую тенденцию к росту. Избыточное накопление в организме жировой ткани сопровождается нарушением липидного обмена, нормального функционирования печени с развитием МАЖБП, возникновением патологии со стороны сердечно-сосудистой системы и других метаболических нарушений.

Актуальные рекомендации по коррекции массы тела предусматривают соблюдение принципов средиземноморской диеты и контроль калорийности питания на уровне 1200–1500 ккал/сут. Соблюдение данных рекомендаций в повседневной жизни вне стационара довольно сложно выполнимо, так как требует от пациента высокого уровня самоорганизации, самоконтроля и знаний по диетологии.

Программа питания СВХ предлагается в качестве нового варианта диетической коррекции избыточной массы тела и ожирения. Использование программы поз-

воляет обеспечить калорийность питания на уровне 1200–1500 ккал/сут, дробное (4–5 раз в день) и разнообразное (первые и вторые блюда, напитки) питание, контроль объема потребляемой пищи, а также обеспечить потребление микронутриентов, способствующих улучшению липидного обмена (пектин, β -глюканы, хлорогеновая кислота и др.).

Продукты программы обладают высокими органолептическими свойствами, их использование обеспечивает достаточную сытость в течение дня, помогает контролировать чувство голода между приемами пищи, что позволяет достичь хорошей комплаентности в отношении рекомендаций по питанию.

Результаты 2-недельного применения программы СВХ продемонстрировали возможность ее применения с целью коррекции массы тела и липидного обмена. Отмечено снижение уровня холестерина и ТГ в сыворотке крови (на 12–17%), аналогичное выявленному изменению этих показателей как в более обширных исследованиях эффективности отдельных компонентов программы (пектина, хлорогеновой кислоты и β -глюкана), так и при оценке отдельного продукта, входящего в состав программы (киселя с пектином). Менее выраженное снижение в сыворотке крови концентрации ЛПНП после 2-недельного курса исследуемой программы (8,7%) и отсутствие изменения концентрации ЛПВП свидетельствуют о необходимости более продолжительного курса для улучшения этих показателей липидного профиля.

Выявленное в ходе наблюдения снижение активности АЛТ и АСТ и уровня билирубина, не достигающее, однако, уровня статистической значимости, указывает на возможность применения программы СВХ для поддержания функционального состояния печени у пациентов с ожирением при нарушениях липидного обмена, а также может свидетельствовать о безопасности применения программы.

Применение программы питания в течение 14 дней сопровождалось снижением уровня глюкозы в крови натощак, что обосновано использованием в программе продуктов с низким гликемическим индексом, а также содержащих пектин и β -глюканы.

Предложенная коррекция питания в виде программы СВХ даже за непродолжительный период применения (14 дней) продемонстрировала эффективность по снижению массы тела, которое достигло 4,7 кг. Это позволяет предположить, что увеличение периода применения программы питания СВХ (от 2 нед и более) позволит не только эффективно снижать массу тела, но и способствовать ее контролю в долгосрочном периоде.

Плавное снижение массы тела от 3,4 до 4,7 кг за 2 нед при использовании программы СВХ свидетельствует о минимальном риске развития желчнокаменной болезни даже при условии значительного ограничения жиров в питании.

Улучшение липидного профиля крови свидетельствует об улучшении метаболических процессов у обследованных лиц и способствует уменьшению риска развития целого ряда заболеваний, ассоциированных с избыточной массой тела и ожирением (МАЗБП, сердечно-сосудистые заболевания, метаболический синдром и др.).

Заключение

Оценка антропометрических и биохимических показателей до и после применения программы питания СВХ позволяет рассматривать ее как эффективное средство для снижения избыточной массы тела, нормализации показателей липидного и углеводного обмена. Улучшение метаболических процессов у обследованных лиц с избыточной массой тела и ожирением свидетельствует о снижении риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, метаболического синдрома и сахарного диабета 2 типа.

Нормализация метаболических показателей, снижение массы тела, хорошие органолептические свойства, отсутствие явлений непереносимости и аллергических реакций являются важными критериями для длительного применения программы питания СВХ, составляют положительный опыт для обследованных и повышают мотивацию на дальнейшее использование программы питания.

Сведения об авторах

ФГБНУ «НИИ МТ» (Москва, Российская Федерация):

Пилат Татьяна Львовна (Tatiana L. Pilat) – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник клинического отдела профессиональных и производственно обусловленных заболеваний

E-mail: tpilat@leovit.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5930-8849>

Кузьмина Людмила Павловна (Lyudmila P. Kuzmina) – доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки, заместитель директора по научной работе

E-mail: lpkuzmina@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3186-8024>

Хотулева Анастасия Григорьевна (Anastasia G. Khotuleva) – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории медико-биологических исследований

E-mail: hotuleva_an@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0359-1785>

Коляскина Мария Михайловна (Mariya M. Kolyaskina) – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории медико-биологических исследований

E-mail: kolaskina_m@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5356-1598>

Литература

1. Драпкина О.М., Самородская И.В., Старинская М.А., Ким О.Т., Неймарк А.Е. Ожирение: оценка и тактика ведения пациентов: коллективная монография. Москва : ФГБУ «НМИЦ ТПМ» Минздрава России ; Силиция-Полиграф, 2021. 174 с. ISBN: 978-5-9907556-0-4.
2. Клинические рекомендации «Ожирение» [Электронный ресурс]. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/28_3 (дата обращения: 09.02.2026).
3. Минушкин О.Н. Современное лечебное питание в клинической практике // Медицинский совет. 2024. № 13. С. 9–15. DOI: <https://doi.org/10.21518/ms2024-319>
4. Драпкина О.М., Недогода С.В. Метаболически ассоциированная жировая болезнь печени при метаболическом синдроме // Российский кардиологический журнал. 2025. Т. 30, № 1S. С. 6541. DOI: <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2025-6541> EDN: QDDYDH.
5. Минушкин О.Н., Масловский Л.В., Минушкина Л.О. Метаболический синдром и патология печени. 2-е изд. Москва : ЦГМА, 2022. 68 с. ISBN: 978-5-6040213-0-9.
6. Клинические рекомендации «Неалкогольная жировая болезнь печени» [Электронный ресурс]. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/748_2 (дата обращения: 10.02.2026).
7. Остроумова О.Д., Телкова С.С., Дубинина А.В., Эбзеева Е.Ю., Клепикова М.В., Араблинский А.В. и др. Подходы к лечению гипертриглицеридемии у пациентов с дислипидемией и ожирением // РМЖ. 2025. № 5. С. 29–35. DOI: <https://doi.org/10.32364/2225-2282-2025-5-6>
8. Клинические рекомендации «Нарушения липидного обмена» [Электронный ресурс]. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/752_1 (дата обращения: 05.02.2026).
9. Ежов М.В., Обрезан А.Г., Алиева А.С., Ахмеджанов Н.М. Атеросклеротическая респодия // РМЖ. 2023. № 4. С. 33–40 [Электронный ресурс]. URL: https://www.rmj.ru/articles/kardiologiya/Ateroskleroticheskaya_rapsodiya/ (дата обращения: 09.02.2026).
10. Сергиенко И.В. Российские клинические рекомендации по нарушению липидного обмена 2024 г. Что нового? // РМЖ. 2023. № 4. С. 12–16. URL: https://www.rmj.ru/articles/kardiologiya/Rossiyskie_klinicheskie_rekomendacii_po_narusheniyu_lipidnogo_obmena_2024_g_Chto_novogo/ (дата обращения: 10.02.2026).
11. Jalili V., Poorahmadi Z., Hasanpour Ardekanizadeh N., Gholamalizadeh M., Ajami M., Houshiarrad A. et al. The association between obesity with serum levels of liver enzymes, alanine aminotransferase, aspartate aminotransferase, alkaline phosphatase and gamma-glutamyl transferase in adult women // Endocrinol. Diabetes Metab. 2022. Vol. 5, N 6. P. e367. DOI: <https://doi.org/10.1002/edm2.367>
12. Измеров Н.Ф. Профессиональные заболевания органов дыхания : национальное руководство / под ред. Н.Ф. Измерова, А.Г. Чучалина. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2015. 792 с. (Серия «Национальные руководства»). ISBN: 978-5-9704-3574-8.
13. Бердыш Д.С., Хакуй Э.Ш., Беслангурова З.А., Пустовет Д.А. Использование пектина в медицинской практике // Международный научно-исследовательский журнал. 2025. № 4. DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.76>
14. Истомин А.В., Пилат Т.Л. Гигиенические аспекты использования пектина и пектиновых веществ в лечебно-профилактическом питании: пособие для врачей. Москва, 2009. 44 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004327593> ISBN: 978-5-9901714-1-1.
15. Мустафин Р.Н., Галиева Э.А. Рекомендации по коррекции питания в лечении атеросклероза // Архив внутренней медицины. 2025. Т. 15. № 1. С. 5–16. DOI: <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2025-15-1-5-16>
16. Pimpley V., Patil S., Srinivasan K., Desai N., Murthy P.S. The chemistry of chlorogenic acid from green coffee and its role in attenuation of obesity and diabetes // Prep. Biochem. Biotechnol. 2020. Vol. 50, N 10. P. 969–978. DOI: <https://doi.org/10.1080/10826068.2020.1786699>
17. Di Pietrantonio D., Pace Palitti V., Cichelli A., Tacconelli S. Protective effect of caffeine and chlorogenic acids of coffee in liver disease // Foods. 2024. Vol. 13, N 14. P. 2280. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13142280>

References

1. Drapkina O.M., Samorodskaya I.V., Starinskaya M.A., Kim O.T., Neymark A.E. Obesity: assessment and management tactics. Collective monograph. Moscow: FGBU «NMITs TPM» Minzdrava Rossii; Silitsiya-Polygraf, 2021. 174 p. ISBN: 978-5-9907556-0-4. (in Russian)
2. Clinical guidelines “Obesity” [Electronic resource]. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/28_3 (date of access February 09, 2026). (in Russian)
3. Minushkin O.N. Modern therapeutic nutrition in clinical practice. Meditsinskiy sovet [Medical Council]. 2024; (13): 9–15. DOI: <https://doi.org/10.21518/ms2024-319> (in Russian)
4. Drapkina O.M., Nedogoda S.V. Metabolic dysfunction-associated statotic liver disease in metabolic syndrome. Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal [Russian Journal of Cardiology]. 2025; 30 (1S): 6541. DOI: <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2025-6541> EDN: QDDYDH. (in Russian)
5. Minushkin O.N., Maslovsky L.V., Minushkina L.O. Metabolic syndrome and liver pathology. 2nd ed. Moscow: Central State Medical Academy, 2022. 68 p. ISBN: 978-5-6040213-0-9. (in Russian)
6. Clinical guidelines “Non-alcoholic fatty liver disease” (Electronic resource). URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/748_2 (date of access February 10, 2026). (in Russian)
7. Ostroumova O.D., Telkova S.S., Dubinina A.V., Ebzeeva E.Yu., Klepikova M.V., Arablinsky A.V., et al. Treatment approaches of hypertriglyceridemia in patients with dyslipidemia and obesity. RMZh [Russian Medical Journal]. 2025; (5): 29–35. DOI: <https://doi.org/10.32364/2225-2282-2025-5-6> (in Russian)
8. Clinical guidelines “Lipid metabolism disorders” [Electronic resource]. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/752_1 (date of access February 05, 2026). (in Russian)
9. Ezhov M.V., Obrezan A.G., Alieva A.S., Akhmedzhanov N.M. Atherosclerotic rhapsody. RMZh [Russian Medical Journal]. 2023; (4): 33–40 [Electronic resource]. URL: https://www.rmj.ru/articles/kardiologiya/Ateroskleroticheskaya_rapsodiya/ (date of access February 09, 2026). (in Russian)
10. Sergiyenko I.V. Russian clinical guidelines on lipid metabolism disorders 2024. What's new? RMZh [Russian Medical Journal]. 2023; (4): 12–16. URL: https://www.rmj.ru/articles/kardiologiya/Rossiyskie_klinicheskie_rekomendacii_po_narusheniyu_lipidnogo_obmena_2024_g_Chto_novogo/ (date of access February 10, 2026). (in Russian)
11. Jalili V., Poorahmadi Z., Hasanpour Ardekanizadeh N., Gholamalizadeh M., Ajami M., Houshiarrad A., et al. The association between obesity with serum levels of liver enzymes, alanine aminotransferase, aspartate aminotransferase, alkaline phosphatase and gamma-glutamyl transferase in adult women. Endocrinol Diabetes Metab. 2022; 5 (6): e367. DOI: <https://doi.org/10.1002/edm2.367>
12. Izmerov N.F. Occupational diseases of the respiratory system: national leadership. In: N.F. Izmerov, A.G. Chuchalin (eds). Moscow: GEOTAR-Media, 2015: 792 p. (Series “National Guidelines”). ISBN: 978-5-9704-3574-8. (in Russian)
13. Berdysh D.S., Khakuy E.S., Beslangurova Z.A., Pustovet D.A. Use of pectin in medical practice. Mezhdunarodniy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Scientific Research Journal]. 2025; (4). DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.76> (in Russian)
14. Istomin A.V., Pilat T.L. Hygienic aspects of the use of pectin and pectin substances in medical and preventive nutrition: a guide for physicians. Moscow, 2009: 44 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004327593> ISBN: 978-5-9901714-1-1. (in Russian)
15. Mustafin R.N., Galieva E.A. Recommendations for nutritional correction in the treatment of atherosclerosis. Arkhiv vnutrenney meditsiny [Archive of Internal Medicine]. 2025; 15 (1): 5–16. DOI: <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2025-15-1-5-16> (in Russian)
16. Pimpley V., Patil S., Srinivasan K., Desai N., Murthy P.S. The chemistry of chlorogenic acid from green coffee and its role in attenuation of obesity and diabetes. Prep Biochem Biotechnol. 2020; 50 (10): 969–978. DOI: <https://doi.org/10.1080/10826068.2020.1786699>
17. Di Pietrantonio D., Pace Palitti V., Cichelli A., Tacconelli S. Protective effect of caffeine and chlorogenic acids of coffee in liver disease. Foods. 2024; 13 (14): 2280. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13142280>