

ISSN 1728-0869 (Print)
ISSN 2949-1444 (Online)

ЭКОЛОГИЯ



ЧЕЛОВЕКА

**EKOLOGIYA CHELOVEKA
(HUMAN ECOLOGY)**

Volume 31, Issue 6, 2024

6

Том 31

2024

FOUNDERS:

- Northern State Medical University;
- Eco-Vector

PUBLISHER:

Eco-Vector

Address: 3 liter A, 1H, Aptekarsky pereulok,

191181 Saint Petersburg, Russia

E-mail: info@eco-vector.com**WEB:** https://eco-vector.com**EDITORIAL OFFICE:****Address:** 51 Troitsky Ave., Arkhangelsk 163069, Russia**E-mail:** he-office@eco-vector.com**Phone:** +7 (818) 2206563**PUBLICATION ETHICS**

Journal's ethic policies are based on:

- ICMJE
- COPE
- ORE
- CSE
- EASE

OPEN ACCESS:

Immediate Open Access is mandatory for all published articles

INDEXATION:

- SCOPUS
- Google Scholar
- Ulrich's Periodicals directory
- Russian Science Citation Index
- Norwegian National Center for Research Data
- Global Health
- CAB Abstracts
- ProQuest
- InfoBase Index

TYPESET:

completed in Eco-Vector

Copyeditor: I.G. Shevchenko

Proofreader: I.G. Shevchenko

Layout editor: O.V. Ustinkova

SUBSCRIPTION:<https://hum-ecol.ru/1728-0869/about/subscriptions>**ADVERTISEMENT DEPARTMENT:****Phone:** +7 (968) 545 78 20**E-mail:** adv2@eco-vector.com

The editors are not responsible for the content of advertising materials. The point of view of the authors may not coincide with the opinion of the editors. Only articles prepared in accordance with the guidelines are accepted for publication. By sending the article to the editor, the authors accept the terms of the public offer agreement. The guidelines for authors and the public offer agreement can be found on the website: <https://hum-ecol.ru>.

EKOLOGIYA

C H E L O V E K A (H U M A N E C O L O G Y)

Monthly peer-reviewed journal

Volume 31 • Issue 6 • 2024

The journal publishes results of research in environmental health, human physiology, human ecology, hygiene, epidemiology and public health.

The primary audience of the journal includes health professionals, environmental specialists, biomedical researchers, biologists, social workers and university teachers.

The journal publishes original articles and reviews.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

Tatiana N. Unguryanu, MD, Dr. Sci. (Med), Professor associate
North State Medical University (Arkhangelsk, Russia)
ORCID iD: 0000-0001-8936-7324

Deputy Editor-in-Chief

Andrey B. Gudkov, MD, Dr. Sci. (Med), Professor (Arkhangelsk, Russia)
ORCID iD: 0000-0001-5923-0941

Igor B. Ushakov, MD, Dr. Sci. (Med), Professor (Moscow, Russia)
ORCID iD: 0000-0002-0270-8622

International editor

Jon Øyvind Odland, Professor (Norway)
ORCID iD: 0000-0002-2756-0732

Executive editor

Vitaly A. Postoev, MD, Cand. Sci. (Med) (Arkhangelsk, Russia)
ORCID iD: 0000-0003-4982-4169

EDITORIAL COUNCIL

Ivan N. Bolotov, Dr. Sci. (Biol), Professor
(Arkhangelsk, Russia)
ORCID iD: 0000-0002-3878-4192

Roman V. Buzinov, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor associate (St. Petersburg, Russia)
ORCID iD: 0000-0002-8624-6452

Valeriy A. Chereshnev, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (Ekaterinburg, Russia)
ORCID iD: 0000-0003-4329-147X

Nataliya V. Dorshakova, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (Petrozavodsk, Russia)
ORCID iD: 0000-0003-1072-9164

Mika Gissler, Professor (Finland)
ORCID iD: 0000-0001-8254-7525

Andrej M. Grjibovski,
MD, PhD (Arkhangelsk, Russia)
ORCID iD: 0000-0002-5464-0498

Lyubov N. Gorbatova, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (Arkhangelsk, Russia)
ORCID iD: 0000-0003-0675-3647

Rhonda Johnson, Professor (USA)
ORCID iD: 0000-0002-7730-7452

Vladimir A. Karpin, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (Surgut, Russia)
eLibrary SPIN: 1860-8435

Valeriya I. Makarova, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (Arkhangelsk, Russia)
Scopus Author ID: 7005797378

Andrey O. Maryandyshev, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (Arkhangelsk, Russia)
ORCID iD: 0000-0002-8485-5625

Igor G. Mosyagin, MD, Dr. Sci. (Med), Professor
(Arkhangelsk, Russia)
ORCID iD: 0000-0002-9485-6584

Evert Nieboer, Professor (Canada)
ORCID iD: 0000-0001-5165-2832

Kersti Pärna, Professor associate (Estonia)
ORCID iD: 0000-0001-7677-9493

Magnus Per, Professor (Norway)
ORCID iD: 0000-0002-6427-4735

Kalediene Ramune, Professor (Lithuania)
ORCID iD: 0000-0003-3434-8091

Arja Rautio, Professor (Finland)
ORCID iD: 0000-0002-5816-533X

Halina Röllin, Professor (South Africa)
ORCID iD: 0000-0001-5247-6519

Marilza Vieira Cunha Rudge,
Professor (Brazil)
ORCID iD: 0000-0002-9227-832X

Jonatan Ruiz, Professor (Spain)
ORCID iD: 0000-0002-7548-7138

Zumin Shi, Professor (Qatar)
ORCID iD: 0000-0002-3099-3299

Genrikh A. Sofronov, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (St. Petersburg, Russia)
ORCID iD: 0000-0002-8587-1328

Andrey G. Soloviev, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (Arkhangelsk, Russia)
ORCID iD: 0000-0002-0350-1359

Pal Weihe, Professor (Faroe Islands)
ORCID iD: 0000-0001-8174-3671

Agneta Yngve, Professor (Sweden)
ORCID iD: 0000-0002-7165-279X

Canqing Yu, Professor (China)
ORCID iD: 0000-0002-0019-0014

Nina V. Zaytseva, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (Perm, Russia)
ORCID iD: 0000-0003-2356-1145

УЧРЕДИТЕЛИ:

- ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России;
- ООО «Эко-Вектор»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 20 марта 2020 г. Регистрационный номер ПИ № ФС77-78166

ИЗДАТЕЛЬ:

ООО «Эко-Вектор»

Адрес: 191181, г. Санкт-Петербург, Аптекарский

переулок, д. 3, литера А, помещение 1Н

E-mail: info@eco-vector.com

WEB: https://eco-vector.com

РЕДАКЦИЯ:

Адрес: 163069, г. Архангельск,

пр. Троицкий, д. 51.

Тел. +7 (818) 220 6563;

E-mail: he-office@eco-vector.com

ИНДЕКСАЦИЯ:

– SCOPUS

– Белый список научных журналов

– Google Scholar

– Ulrich's Periodicals directory

– ядро РИНЦ

– Russian Science Citation Index

– Norwegian National Center for Research Data

– реферативный журнал и база данных

ВИНИТИ

– Global Health

– CAB Abstracts

– ProQuest

– InfoBase Index

– КиберЛенинка

Оригинал-макет подготовлен в издательстве «Эко-Вектор».

Литературный редактор: И.Г. Шевченко

Корректор: И.Г. Шевченко

Верстка: О.В. Устинкова

Сдано в набор 09.01.2025.

Подписано в печать 10.02.2025.

Выход в свет 21.02.2025.

Формат 60 × 88%. Печать офсетная.

Заказ . Цена свободная.

Усл. печ. л. 9,8.

Тираж 300 экз.

Отпечатано в ООО «Типография Экспресс В2В»

191180, Санкт-Петербург, наб. реки Фонтанки,

д. 104, лит. А, пом. 3Н, оф. 1.

Тел.: +7 (812) 646 33 77

ПОДПИСКА:

<https://hum-ecol.ru/1728-0869/about/subscriptions>

OPEN ACCESS:

В электронном виде журнал распространяется бесплатно — в режиме немедленного открытого доступа.

ОТДЕЛ РЕКЛАМЫ:

Тел.: +7 (968) 545 78 20

E-mail: adv2@eco-vector.com

Редакция не несёт ответственности за содержание рекламных материалов. Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции. К публикации принимаются только статьи, подготовленные в соответствии с правилами для авторов. Направляя статью в редакцию, авторы принимают условия договора публичной оферты. С правилами для авторов и договором публичной оферты можно ознакомиться на сайте: <https://hum-ecol.ru>

ISSN 1728-0869 (Print)
ISSN 2949-1444 (Online)

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Ежемесячный научный рецензируемый журнал

Том 31 • № 6 • 2024

Основными направлениями публикаций являются вопросы взаимодействия человека и окружающей среды, физиология человека, влияние экологических факторов на здоровье населения, гигиена, эпидемиология и общественное здоровье.

Журнал ориентирован на широкий круг научной общественности, практических врачей, экологов, биологов, социальных работников, работников сферы образования.

В журнале публикуются оригинальные статьи, обзоры и протоколы исследований.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Унгуряну Татьяна Николаевна, д-р мед. наук, доцент

Северный государственный медицинский университет

(Архангельск, Россия)

ORCID iD: 0000-0001-8936-7324

Заместители главного редактора

Гудков Андрей Борисович, д-р мед. наук, профессор (Архангельск, Россия)

ORCID iD: 0000-0001-5923-0941

Ушаков Игорь Борисович, д-р мед. наук, профессор (Москва, Россия)

ORCID iD: 0000-0002-0270-8622

Международный редактор

Odland Jon Øyvind, профессор (Норвегия)

ORCID iD: 0000-0002-2756-0732

Ответственный секретарь

Постоев Виталий Александрович, канд. мед. наук (Архангельск, Россия)

ORCID iD: 0000-0003-4982-4169

16+

Экология человека. 2024. Т. 31, № 6.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Болотов Иван Николаевич, д.б.н.,
профессор (Архангельск, Россия)
ORCID iD: 0000-0002-3878-4192

Бузинов Роман Вячеславович, д.м.н.,
доцент (Санкт-Петербург, Россия)
ORCID iD: 0000-0002-8624-6452

Горбатова Любовь Николаевна, д.м.н.,
профессор (Архангельск, Россия)
ORCID iD: 0000-0003-0675-3647

Гржибовский Андрей Мечиславович,
PhD (Архангельск, Россия)
ORCID iD: 0000-0002-5464-0498

Доршакова Наталья Владимировна, д.м.н.,
профессор (Петрозаводск, Россия)
ORCID iD: 0000-0003-1072-9164

Зайцева Нина Владимировна, д.м.н.,
профессор (Пермь, Россия)
ORCID iD: 0000-0003-2356-1145

Карпин Владимир Александрович, д.м.н.,
профессор (Сургут, Россия)
eLibrary SPIN: 1860-8435

Макарова Валерия Ивановна, д.м.н.,
профессор (Архангельск, Россия)
Scopus Author ID: 7005797378

Марьяндышев Андрей Олегович, д.м.н.,
профессор (Архангельск, Россия)
ORCID iD: 0000-0002-8485-5625

Мосягин Игорь Геннадьевич, д.м.н.,
профессор (Архангельск, Россия)
ORCID iD: 0000-0002-9485-6584

Соловьев Андрей Горгоньевич, д.м.н.,
профессор (Архангельск, Россия)
ORCID iD: 0000-0002-0350-1359

Софронов Генрих Александрович, д.м.н.,
профессор (Санкт-Петербург, Россия)
ORCID iD: 0000-0002-8587-1328

Черешнев Валерий Александрович, д.м.н.,
профессор (Екатеринбург, Россия)
ORCID iD: 0000-0003-4329-147X

Yngve Agneta, профессор (Швеция)
ORCID iD: 0000-0002-7165-279X

Rautio Arja, профессор (Финляндия)
ORCID iD: 0000-0002-5816-533X

Rudge Marilza Vieira Cunha, профессор
(Бразилия)
ORCID iD: 0000-0002-9227-832X

Nieboer Evert, профессор (Канада)
ORCID iD: 0000-0001-5165-2832

Röllin Halina, профессор (ЮАР)
ORCID iD: 0000-0001-5247-6519

Ruiz Jonatan, профессор (Испания)
ORCID iD: 0000-0002-7548-7138

Ramune Kalediene, профессор (Литва)
ORCID iD: 0000-0003-3434-8091

Pärna Kersti, доцент (Эстония)
ORCID iD: 0000-0001-7677-9493

Per Magnus, профессор (Норвегия)
ORCID iD: 0000-0002-6427-4735

Gissler Mika, профессор (Финляндия)
ORCID iD: 0000-0001-8254-7525

Weihe Pal, профессор (Фарерские острова)
ORCID iD: 0000-0001-8174-3671

Johnson Rhonda, профессор (США)
ORCID iD: 0000-0002-7730-7452

Shi Zumin, профессор (Катар)
ORCID iD: 0000-0002-3099-3299

Yu Canqing, профессор (КНР)
ORCID iD: 0000-0002-0019-0014

CONTENTS

Reviews

D.V. Abramkina, V. Verma

The impact of ventilation systems on the risk of viral transmission (review article) 419

Y.P. Gumovskaya, E.K. Mironova, A.V. Polevshchikov, M.M. Donets, V.Yu. Tsygankov

Persistent organic pollutants in the human body: Russian and Soviet studies 429

Original Study Articles

O.S. Morozova, L.S. Shchegoleva, E.Yu. Shashkova, O.E. Filippova

Cellular immune responses in women living in the Arctic region. 447

S. Tkach, V.A. Odinkova, O.I. Burdina

The influence of attitudes and social norms on seeking psychological help among Russian adults 456

I.V. Averyanova, O.O. Alyoshina, I.N. Bezmenova, S.I. Vdovenko

Comprehensive assessment of the effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids on the functional status of northern residents during a critical season 468

O.V. Krivonogova, E.V. Krivonogova, L.V. Poskotinova

Association of hyperuricemia and type 2 diabetes mellitus with cognitive functions assessed using the event-related P300 potential in older individuals with controlled arterial hypertension. 484

СОДЕРЖАНИЕ

Обзоры

Д.В. Абрамкина, В. Верма

Влияние систем вентиляции на риск распространения вирусов (обзорная статья) 419

Ю.П. Гумовская, Е.К. Миронова, А.В. Полевщиков, М.М. Донец, В.Ю. Цыганков

Судьба стойких органических загрязняющих веществ в организме человека
(исследования России и СССР) 429

Оригинальные исследования

О.С. Морозова, Л.С. Щёголева, Е.Ю. Шашкова, О.Е. Филиппова

Клеточные иммунные реакции у женского населения Арктического региона. 447

С. Ткач, В.А. Одинокова, О.И. Бурдина

Влияние установок и социальных норм на обращение за психологической помощью
среди взрослого населения России 456

И.В. Аверьянова, О.О. Алёшина, И.Н. Безменова, С.И. Вдовенко

Комплексная оценка влияния полиненасыщенных жирных кислот омега-3
на функциональное состояние жителей-северян в критический период года 468

О.В. Кривоногова, Е.В. Кривоногова, Л.В. Поскотинова

Связь гиперурикемии и сахарного диабета 2-го типа с когнитивными функциями,
оценёнными с использованием метода слуховых потенциалов Р300,
у пожилых людей с контролируемой артериальной гипертензией 484

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco640885>

The impact of ventilation systems on the risk of viral transmission (review article)

Darya V. Abramkina, Vishal Verma

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

ABSTRACT

Understanding the aerosol transmission mechanism of respiratory infectious diseases is crucial for predicting indoor air circulation and optimizing ventilation system design. A literature search was conducted using various keyword combinations in the PubMed database. The selection included studies examining the impact of indoor microclimate parameters and ventilation system performance on the risk of viral transmission. Since 2020, there has been increasing interest in studying how viral infections spread via aerosols within buildings and transportation infrastructure, considering the operational conditions of engineering systems. Currently, substantial evidence supports the dependence of viral aerosol viability on indoor temperature and humidity levels. Maintaining an optimal relative humidity of 40–60% at standard room temperature is essential not only for aerosol stability but also for virus neutralization. However, there is a lack of studies investigating the effects of air mobility and indoor pollution on the stability of viral pathogens. A significant body of literature confirms the influence of ventilation system efficiency on infection risk in buildings. To reduce the spread of respiratory viruses, an air exchange rate of at least 30 m³/h per person is recommended. Based on the findings, a set of practical recommendations for ventilation system operation amidst increased disease incidence has been developed. Discrepancies between international and Russian regulatory requirements regarding indoor climate parameters and air quality standards have been identified, emphasizing the need for improved measures to mitigate the spread of respiratory infections.

Keywords: ventilation; virus; environmental pollutants; aerosol.

To cite this article:

Abramkina DV, Verma V. The impact of ventilation systems on the risk of viral transmission (review article). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(6):419–428. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco640885>

Received: 02.11.2024

Accepted: 26.11.2024

Published online: 12.01.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco640885>

Влияние систем вентиляции на риск распространения вирусов (обзорная статья)

Д.В. Абрамкина, В. Верма

Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Понимание механизма аэрозольной передачи респираторных инфекционных заболеваний имеет важное значение для прогнозирования воздушного режима помещений при проектировании систем вентиляции. Поиск теоретических исследований производили с помощью различных комбинаций ключевых слов в базе данных PubMed. В выборке были представлены статьи по влиянию параметров внутреннего микроклимата и условий работы вентиляционных систем на риск распространения вирусов. С 2020 г. наблюдается повышенный интерес к изучению механизма распространения вирусных инфекций посредством аэрозольной передачи внутри зданий и объектов транспортной инфраструктуры с учётом условий эксплуатации инженерных систем. В настоящее время существует серьёзная доказательная база зависимости жизнеспособности вирусных аэрозолей от температурно-влажностного режима помещений. Поддержание оптимальной относительной влажности воздуха от 40 до 60% при стандартной комнатной температуре необходимо не только с точки зрения стабильности аэрозольных систем, но и нейтрализации вирусов. Выявлено недостаточное количество исследований по влиянию подвижности и загрязнения внутренней среды на стабильность вирусных патогенов. Представлена значительная выборка статей, подтверждающих влияние эффективности работы вентиляционных систем на инфекционную нагрузку в зданиях. Для снижения риска распространения респираторных вирусов необходимо обеспечивать расход воздуха не менее 30 м³/ч на человека. На основе проведённых теоретических исследований была разработана система практических рекомендаций по режиму работы систем вентиляции в условиях роста заболеваемости. Выявлены отклонения международных и российских нормативно-технических требований по обеспечению комфортных параметров внутреннего микроклимата и качества воздушной среды с точки зрения уменьшения риска распространения респираторных заболеваний.

Ключевые слова: вентиляция; вирус; загрязнители окружающей среды; аэрозоль.

Как цитировать:

Абрамкина Д.В., Верма В. Влияние систем вентиляции на риск распространения вирусов (обзорная статья) // Экология человека. 2024. Т. 31, № 6. С. 419–428. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco640885>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco640885>

通风系统对病毒传播风险的影响（综述）

Darya V. Abramkina, Vishal Verma

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

摘要

了解呼吸道传染病的气溶胶传播机制对于预测室内空气流动模式和优化通风系统设计至关重要。本研究基于 PubMed 数据库，采用多种关键词组合进行文献检索，筛选了研究室内微气候参数和通风系统运行条件对病毒传播风险影响的相关论文。自 2020 年以来，关于建筑物及交通基础设施内病毒气溶胶传播机制的研究逐渐增多，并开始关注工程系统的运行条件对病毒扩散的影响。现有研究证实，病毒气溶胶的存活能力与室内温湿度条件密切相关。维持 40 - 60% 的相对湿度及标准室温不仅有助于降低气溶胶的稳定性，还可有效降低病毒的活性。然而，关于空气流动特性及室内污染物对病毒病原体稳定性影响的研究仍较为有限。此外，大量文献证实通风系统的效率对建筑物内感染风险有直接影响。为降低呼吸道病毒的传播风险，建议通风量至少达到每人 30 m³/h。基于本综述的研究结果，制定了在呼吸道疾病流行期间优化通风系统运行的实践建议。此外，本研究还分析了国际和俄罗斯在室内气候参数及空气质量要求方面的法规差异，强调了优化通风措施在减少呼吸道疾病传播中的关键作用。

关键词：通风；病毒；环境污染物；气溶胶。

引用本文：

Abramkina DV, Verma V. 通风系统对病毒传播风险的影响（综述）. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(6):419-428.

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco640885>

收到: 02.11.2024

接受: 26.11.2024

发布日期: 12.01.2025

BACKGROUND

This systematic review presents data on the impact of ventilation systems on viral spread in buildings. Approximately 90% of recorded infectious disease cases are associated with acute respiratory infections [1]. Over the past 20 years, several major outbreaks of respiratory diseases caused by airborne pathogens have been reported [2]. High transmission intensity and prolonged persistence of indoor aerosols lead to a sharp increase in the disease incidence.

A significant number of the Middle East Respiratory Syndrome (MERS-CoV) and coronavirus (COVID-19) cases has demonstrated substantial transmission rates of hospital-acquired infections. It was established that 41% of individuals infected with COVID-19 had hospital-related transmission of this disease [3]. Prevalence of respiratory infections among healthcare professionals ranges from 0.3% to 43.3%. According to the national health report, nosocomial outbreaks in Russian healthcare facilities recorded in 2023 were primarily airborne transmission-related (79.11%). In 2020, during the COVID-19 pandemic, infection rates peaked at 130,803 cases. Upper and lower respiratory tract infections constitute the most prevalent types of nosocomial infections [4–6].

Understanding airborne transmission mechanisms of infectious diseases is critical for predicting indoor air conditions and designing ventilation systems.

METHODS

To assess the impact of ventilation systems on infectious disease transmission risk, possible mechanisms of pathogen spread indoors must be considered alongside viral stability under varying microclimate parameters.

Theoretical studies were searched for in the PubMed database using keywords. The research sample comprised reviews and systematic reviews with openly accessible full-text versions.

The keyword query «virus» AND «aerosol transmission» yielded 510 results within the past 10 years, with 393 articles published in 2020–2021, reflecting heightened research relevance during the COVID-19 pandemic. Analysis of the most relevant sources identified factors influencing viral aerosol transmission indoors: air composition, temperature, relative humidity, air movement, and ventilation system airflow configuration and exchange rate. Subsequent stage involved compiling research samples for individual parameters using queries like: (virus AND aerosol transmission) AND (relative humidity OR RH).

The addition of «ventilation» narrowed results to 89 articles since 2006. Duplicates were excluded, and studies relevant to the topic were manually selected since the term «ventilation» frequently refers to respiratory therapies (mechanical ventilation). Ultimately, 47 studies were included for review.

Notably, the impact of ventilation systems on pathogenic aerosol transmission was scarcely examined before 2020—only two articles from 2006–2020 linked infection rate increases to ventilation efficiency [7, 8]. Since 2020, there has been increasing interest in studying how viral infections spread within buildings and transportation infrastructure, considering the operational conditions of engineering systems.

RESULTS

Airborne Pathways of Viral Pathogen Spread

Key transmission paths for viral diseases indoors include cross-dispersion from infected individuals, pathogen migration from contaminated rooms to corridors and adjacent spaces, transport of contaminated air via ventilation systems, and fomite-mediated viral transmission. Earlier studies questioned aerosol transmission of viral respiratory infections [7]. However, outbreak analyses demonstrate that indoor air dynamics and ventilation performance critically influence pathogen transmission occurring exclusively through airborne infection spread in multifamily residential buildings [8, 9], public dining facilities [10], retail stores [11], fitness centers [12], and public transport [13].

An aerosol constitutes a dispersed system of suspended particles in a gaseous medium. Breathing, speaking, sneezing, and coughing release microscopic fluid droplets carrying viral pathogens. The term «aerosol» refers to particles of all sizes capable of being suspended under prevailing microclimatic conditions. Particle size variability spans 5–6 orders of magnitude. Minimal aerosol sizes are molecular clusters containing ≥ 6 –10 molecules exhibiting significant stability while adhering irreversibly upon surface impact without rebound. Fine-particle aerosol systems ($< 50 \mu\text{m}$) pose the highest disease transmission risk due to prolonged airborne stability, lower respiratory tract penetrability, and heightened fomite transmission potential. Particles $< 20 \mu\text{m}$ easily penetrate the body through the larynx; those < 5 – $6 \mu\text{m}$ reach alveolar spaces, which is typical for viral diseases like MERS-CoV [14].

The upper limit of aerosol size is defined by particle dynamic behavior and dispersion system particle stability. Emerging theory posits that pathogenic bioaerosols may include particles up to $100 \mu\text{m}$ [15, 16]. Cough- and sneeze-induced local convective airflows disperse aerosol particles over ≥ 2 -meter distances [17, 18].

Indoor aerosol particle aerodynamics are determined by the impact of various internal and external factors on the suspended particles, including gravitational and inertial forces, Brownian motion, electrophoretic, and thermal forces. For pathogenic bioaerosols, we should consider not only physical features influencing the system stability but also biological virus inactivation due to environmental impact.

The Impact of Microclimate Parameters on Viral Transmission Risk

Indoor Temperature and Humidity Regime

Establishing correlations between indoor temperature and humidity regime and viral aerosol dynamics constitutes a complex interdisciplinary challenge, requiring determination of physicochemical properties for each specific viral disease.

Respiratory disease transmission risk is higher in cold-climate countries due not only to immune suppression at sub-zero temperatures but also to low air moisture content [19]. Hot and humid regions, particularly during rainy seasons, are less susceptible to aerosol-driven viral outbreaks, though tropical climates increase contact transmission potential [20].

Respiratory virus inactivation due to protein and nucleic acid denaturation occurs at elevated air temperatures (27–70 °C) [21], exceeding permissible indoor parameters. Thus, it is excluded from further consideration.

Indoor relative humidity (RH, φ , %) critically influences bioaerosol system stability by affecting both counts of suspended particles during breathing and coughing and viral aerosol survivability [20]. Higher RH slows exhaled droplet evaporation, increasing large-particle concentrations that gravitationally settle. Ideal conditions would show minimal pathogen sedimentation for isolated droplets in stagnant air [22]. Turbulent flows from human movement, door opening, natural ventilation, and operation of ventilation systems reduce droplet evaporation time while extending dispersal range and sedimentation duration [23]. Lower RH accelerates aerosol particle evaporation forming droplet nuclei that remain suspended for hours, enabling prolonged infectious transmission [24].

Maintaining target RH is essential not only for aerosol system stability control but also for viral neutralization. Researchers identify various viral viability dependencies on air humidity: increased inactivation with rising RH, decreased inactivation with rising RH, and U-shaped viability [21]. Respiratory viruses (influenza, SARS-CoV-2) exhibit U-shaped viability [25–27], enabling determination of optimal indoor RH ranges. Thus, 40%–60% RH at room temperature represents the ideal humidity for reducing airborne respiratory infection spread [28, 29].

Russian regulatory documents (GOST 30494-2011, GOST 12.1.005-88) specify optimal and admissible RH requirements for cold and warm seasons of the year. For residential and public buildings, the optimal RH in winter and summer should be within 30%–45% (admissible $\leq 60\%$) and 30%–60% (admissible $\leq 65\%$), respectively. For industrial buildings, microclimatic parameters depend on the work intensity, with annual optimal RH considered 40%–60% (admissible $\leq 75\%$). The design of ventilation systems must maintain admissible parameters throughout occupied areas within buildings. Achieving the most comfortable optimal criteria requires technical specifications or economic justification. Most

buildings fail to maintain RH ranges that reduce the risk of respiratory virus transmission during cold seasons.

Air Mobility in Building Work Areas

Alongside temperature and relative humidity, air movement velocity (mobility) in work areas significantly influences indoor thermal-physical conditions.

Air remains in continuous motion within ventilated spaces. Uneven air distribution creates local stagnation areas with elevated temperatures and pollutant concentrations. Low air mobility forms a stagnant personal microclimate around individuals—quickly saturated with exhaled moisture and exhibiting higher temperatures.

Increased air velocity accelerates pathogenic aerosol dispersion through spaces, heightening contamination risk for individuals distant from the source [30]. On the other hand, greater air mobility enhances evaporation rates and droplet nuclei formation, accelerating aerosol particle sedimentation. The optimal air velocity for minimizing viral transmission risk in work areas remains understudied. The reviewed research sample reveals no recommended mobility range for reducing airborne infection likelihood.

Indoor Air Quality

Poor air quality and elevated dust levels accelerate viral spread [31] and indirectly increase respiratory mortality [32].

Enclosed spaces harbor volatile organic compounds, biological contaminants, vapors, gases, and dust. Infected individuals release aerosol clouds through talking, breathing, and coughing that disperse throughout rooms, depositing on enclosure structures, furniture, and equipment surfaces and binding to airborne pollutants. Fine particulate matter, also known as PM_{2.5}, acts as viral pathogen vectors, penetrating deep into human airways [33]. Airborne organic surfactants stabilize viral aerosols and prolong their viability [34].

All aforementioned factors governing viral aerosol dispersion intensity and stability depend on building engineering system efficacy. This research further outlines primary ventilation-based strategies for reducing indoor infectious loads.

Impact of Ventilation Systems on the Risk of Viral Transmission

After the COVID-19 pandemic, numerous international standardization bodies and engineering associations recognize the need for implementing «proper ventilation» in enclosed spaces to reduce infectious loads [35]. Unfortunately, current scientific research insufficiently addresses specific measures for modifying ventilation system operations during periods of elevated disease incidence. General guidelines include reducing room occupancy, periodic natural ventilation, and increasing air exchange rates [36–38]. However, practical recommendations for establishing special operational regimes for ventilation systems in residential, public, and administrative buildings to mitigate viral transmission risks remain undeveloped.

Mechanical and Natural Ventilation Systems

Supplemental natural ventilation serves as an effective measure to reduce viral load in indoor spaces. In kindergartens, schools, universities, and offices, mandatory ventilation during breaks is recommended. For layouts with windows on opposite facades, natural flow-through (cross) ventilation should be implemented. Studies demonstrate that cross-ventilation significantly decreases viral load: in a 100 m² room, virion counts drop from 10,000 to 0 within 15 minutes at a consistent air velocity of 1.5 m/s [39]. Unilateral ventilation is less efficient, but still reduces viral load by half.

During winter, outdoor air typically has low moisture content. When naturally ventilated through open windows or vents, this air enters rooms and warms via heating systems, potentially increasing thermal energy consumption in residential and public buildings by up to 35% annually [40]. Concurrently, relative humidity rapidly declines, reaching 10%–15%. As discussed earlier, low RH causes aerosol particles shrinking to smaller sizes due to evaporation of their aqueous envelopes. Particles smaller than 50 µm become difficult to capture and remove effectively via ventilation systems [41].

When implementing natural ventilation, outdoor air quality must be ensured and prioritized. Periodic ventilation in areas with high suspended particle concentrations may compromise indoor air quality and reduce viral aerosol removal efficacy. Respiratory disease incidence increases with elevated concentrations of airborne suspended particles [42]. Research investigating dust content in museum environments [43] indicates that drum-type humidifiers not only maintain optimal relative humidity (40%–60%) but also substantially reduce fine particulate matter in the air. Dust concentration reductions exceeding 70% were observed for particles sized 2.5–10.0 µm. Drum-type humidifiers operate via natural evaporation, preventing humidity from exceeding 60%. Local devices allow for decreasing airborne respiratory virus viability.

Centralized ventilation and air-conditioning systems increase airborne infection transmission risks across building heights, particularly in multi-story residential complexes equipped with natural exhaust ventilation systems featuring vertical collection ducts and warm attics. Under adverse weather conditions, «backdraft» effects may occur, allowing contaminated air from ventilation ducts to infiltrate apartments through exhaust grilles [44].

Mechanical ventilation systems effectively deliver clean outdoor air and remove indoor contaminants. However, design, installation, or operational errors can create tragic scenarios where ventilation itself becomes an infection source. Hospital ward inspections [45, 46] revealed PCR-positive samples from ventilation grilles and exhaust units, confirming viral spread through ductwork with accumulation on equipment. Delayed filter replacement and failure to clean and disinfect ducts facilitate pathogen transmission and disease outbreaks indoors. These issues are exacerbated in

air-recirculation systems, as standard coarse filters in public buildings cannot efficiently capture particles below 5 µm. Therefore, during increased disease incidence, mandatory inspection and cleaning of ventilation systems and transition to direct-flow air configurations is recommended.

Required Air Exchange Rate

The COVID-19 Expert Group identified three primary factors enabling disease outbreaks in buildings: enclosed spaces with inadequate air exchange, overcrowded rooms with high occupancy, and close contact [47]. Increased air exchange rates reduce infectious loads indoors. The recommended airflow rate per person is at least 30 m³/h [47]. This value is based on the long-term experience in the field of building hygiene and occupational safety research, representing a fundamental requirement. According to Russian ventilation design standards (SP 60.13330.2020), minimum air exchange rates for intermittently occupied spaces are at least 20 m³/h, which is below international recommendations. Particular risk arises in densely intermittently occupied spaces: cinemas, theaters, airport and railway lounges, and shopping centers. Brief exposure does not eliminate transmission risk, as viruses remain infectious in aerosols for several hours [48]. High COVID-19 viral concentrations detected in canteens, conference halls, and restrooms confirm cross-transmission during brief exposures [49, 50].

Recommended minimum airflow rates for outbreak prevention must account for pathogen virulence. To determine standard airflow when addressing the SARS-CoV-2 delta variant, it may be necessary to establish higher exchange rates incorporating optimal indoor air velocity requirements for infection control [51].

Air Exchange Configuration Schemes

Controlling airflow patterns indoors is essential for maintaining high air quality. Research demonstrates that changes in overall and local infection risks from airborne transmission under different air distribution schemes are complex and non-linear [52].

Mixed air distribution with «top-to-top» supply and exhaust achieves uniform temperature and pollutant dispersion within the space under ideal conditions. While this approach dilutes aerosol concentrations, insufficient air exchange may accelerate pathogen spread throughout the space [53]. High airflow volumes in compact areas like densely-seated cafés and restaurants often necessitate close proximity between supply and exhaust vents. Supply air entering the space fails to reach work areas due to immediate capture by exhaust vents. This effect is called «short air circulation». Stagnation areas are formed in the work area with elevated temperatures and contaminant levels.

Displacement ventilation supplies air to the work area with upper-level exhaust. Thermal buoyancy forms vertical convection currents, stratifying temperature and contaminants along room height. Displacement ventilation

effectiveness against viral transmission depends on positioning between infected individuals and other people in the room. When people remain seated ≥ 1.5 m apart (in case of COVID-19), displacement ventilation reduces infection likelihood more effectively than mixing ventilation; however, effectiveness reverses when distances decrease [54].

Complex schemes combining mixed air distribution with personalized ventilation demonstrate superior effectiveness [53]. Personalized supply air delivery directly to breathing zones reduces cross-infection risk by $\leq 50\%$ [53, 55].

DISCUSSION

The majority of reviewed articles outline significant impact of the ventilation system efficacy on the risk of respiratory infection spread. There is an insufficient body of research regarding aerosol viability dynamics of viral infections under varying air pollution levels. The reviewed research sample reveals no recommended mobility range for reducing contamination likelihood. More extensive research is needed on local humidifier use and their effects on respiratory virus viability. Discrepancies were identified between international and domestic regulatory requirements for maintaining comfortable indoor environmental conditions and air quality standards.

CONCLUSION

Compelling and sufficient evidence exists for aerosol transmission of viral respiratory infections, underscoring the urgent need for interdisciplinary research on how microclimate parameters and engineering system operation affect disease spread.

Based on theoretical studies, a set of practical recommendations has been compiled to reduce outbreak likelihood in public and residential buildings.

1. Optimal relative humidity levels should be maintained indoors (40%–60%). Local drum-type humidifiers can reduce infectious loads indoors by purging fine particulate matter and suppressing viral pathogen viability when properly operated.

2. The recommended air exchange rate per person is at least 30 m³/h.

3. During transitional and cold seasons—peak periods for respiratory disease transmission—control for ventilation system efficacy should be intensified (including operational checks and design compliance), ductwork and equipment cleaning and disinfection should be conducted, and timely filter replacements should be ensured.

4. Personalized ventilation systems allow reducing viral aerosol transmission risk.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. D.V. Abramkina — literature review, collection and analysis of literary sources, writing the text and editing the article; V. Verma — literature review, collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the text of the article. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors confirm the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Д.В. Абрамкина — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; В. Верма — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

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

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

REFERENCES | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vetrova EN, Chernyshova AI, Pritchina TN, et al. Monitoring of respiratory viral infections in Moscow during 2011–2022. *JMEI*. 2023;100(5):328–337. doi: 10.36233/0372-9311-376 EDN: TIEIOC
2. Moreno T, Gibbons W. Aerosol transmission of human pathogens: From miasmata to modern viral pandemics and their preservation potential in the Anthropocene record. *Geosci Front*. 2022;13(6):101282. doi: 10.1016/j.gsf.2021.101282
3. World Health Organization Europe. *Global report on infection prevention and control*. Geneva, Switzerland; 2022. 182 p.
4. Krieger EA, Grijbovski AM, Samodova OV, Eriksen HM. Healthcare-associated infections in Northern Russia: Results of ten point-prevalence surveys in 2006–2010. *Medicina*. 2015;51(3):193–199. doi: 10.1016/j.medic.2015.05.002
5. Rong R, Lin L, Yang Y, et al. Trending prevalence of healthcare-associated infections in a tertiary hospital in China during the COVID-19 pandemic. *BMC Infectious Diseases*. 2023;23(1):41. doi: 10.1186/s12879-022-07952-9
6. Yamagato GE, Zhen F, Moreira MM, et al. Community respiratory viruses and healthcare-associated infections: epidemiological and clinical aspects. *J Hosp Infect*. 2022;12:187–193. doi: 10.1016/j.jhin.2022.01.009
7. Seto WH. Airborne transmission and precautions: facts and myths. *J Hosp Infect*. 2015;89(4):225–228. doi: 10.1016/j.jhin.2014.11.005
8. Morawska L. Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection? *Indoor Air*. 2006;16(5):335–347. doi: 10.1111/j.1600-0668.2006.00432.x
9. Huang J, Jones P, Zhang A, et al. Outdoor airborne transmission of coronavirus among apartments in high-density cities. *Frontiers in Built Environment*. 2021;7:666923. doi: 10.3389/fbuil.2021.666923
10. Kwon KS, Park JI, Park YJ, et al. Evidence of long-distance droplet transmission of SARS-CoV-2 by direct air flow in a restaurant in Korea. *J Korean Med Sci*. 2020;35(46):e415. doi: 10.3346/jkms.2020.35.e415
11. Jiang G, Wang C, Song L, et al. Aerosol transmission, an indispensable route of COVID-19 spread: case study of a department-store cluster. *Front Environ Sci Eng*. 2021;15(3):46. doi: 10.1007/s11783-021-1386-6
12. Jang S, Han S, Rhee J. Cluster of coronavirus disease associated with fitness dance classes, South Korea. *Emerg Infect Dis*. 2020;26(8):1917–1920. doi: 10.3201/eid2608.200633
13. Shen Y, Li C, Dong, H, et al. Community outbreak investigation of SARS-CoV-2 transmission among bus riders in eastern China. *JAMA Intern Med*. 2020;180(12):1665–1671. doi: 10.1001/jamainternmed.2020.5225
14. Tellier R. COVID-19: the case for aerosol transmission. *Interface Focus*. 2022;12(2):20210072. doi: 10.1098/rsfs.2021.0072
15. Milton DK. A rosetta stone for understanding infectious drops and aerosols. *J Pediatric Infect Dis Soc*. 2020;9(4):413–415. doi: 10.1093/jpids/piaa079
16. Prather KA, Marr LC, Schooley RT, et al. Airborne transmission of SARS-CoV-2. *Science*. 2020;370(6514):303–304. doi: 10.1126/science.abf0521
17. Chong KL, Ng CS, Hori N, et al. Extended lifetime of respiratory droplets in a turbulent vapor puff and its implications on airborne disease transmission. *Phys Rev Lett*. 2021;126(3):034502. doi: 10.1103/PhysRevLett.126.034502
18. Tang JW, Bahnfleth WP, Bluyssen PM, et al. Dismantling myths on the airborne transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2). *J Hosp Infect*. 2021;110:89–96. doi: 10.1016/j.jhin.2020.12.022
19. Raina SK, Kumar R, Bhota S, et al. Does temperature and humidity influence the spread of COVID-19? A preliminary report. *J Family Med Prim Care*. 2020;9(4):1811–1814. doi: 10.4103/jfmpc.jfmpc_494_20
20. Paynter S. Humidity and respiratory virus transmission in tropical and temperate settings. *Epidemiol Infect*. 2015;143(6):1110–1118. doi: 10.1017/S0950268814002702
21. Longest AK, Rockey NC, Lakdawala SS, Marr LC. Review of factors affecting virus inactivation in aerosols and drop-lets. *J R Soc Interface*. 2024;21(215):18. doi: 10.1098/rsif.2024.0018
22. Zhan S, Lin Z. Dilution-based evaluation of airborne infection risk — thorough expansion of Wells-Riley model. *Build Environ*. 2021;194:107674. doi: 10.1016/j.buildenv.2021.107674
23. Dbouk T, Drikakis D. On coughing and airborne droplet transmission to humans. *Phys Fluids*. 2020;32(5):053310. doi: 10.1063/5.0011960
24. Rezaei M, Netz RR. Airborne virus transmission via respiratory droplets: Effects of droplet evaporation and sedimentation. *Curr Opin Colloid Interface Sci*. 2021;55:101471. doi: 10.1016/j.cocis.2021.101471
25. Yang W, Elankumaran S, Marr LC. Relationship between humidity and influenza A viability in droplets and implications for influenza's seasonality. *PLoS One*. 2012;7(10):e46789. doi: 10.1371/journal.pone.0046789
26. Kormuth KA, Lin K, Qian Z, et al. Environmental persistence of influenza viruses is dependent upon virus type and host origin. *mSphere*. 2019;4(4):e00552–19. doi: 10.1128/mSphere.00552-19
27. Geng Y, Wang Y. Stability and transmissibility of SARS-CoV-2 in the environment. *J Med Virol*. 2023;95(1):e28103. doi: 10.1002/jmv.28103
28. Moriyama M, Hugentobler WJ, Iwasaki A. Seasonality of respiratory viral infections. *Annu Rev Virol*. 2020;7(1):83–101. doi: 10.1146/annurev-virology-012420-022445
29. Wolkoff P. Indoor air humidity revisited: Impact on acute symptoms, work productivity, and risk of influenza and COVID-19 infection. *Int J Hyg Environ Health*. 2024;256:114313. doi: 10.1016/j.ijheh.2023.114313
30. Sze To GN, Wan MP, Chao CYH, et al. Experimental study of dispersion and deposition of expiratory aerosols in aircraft cabins and impact on infectious disease transmission. *Aerosol Science and Technology*. 2009;43(5):466–485. doi: 10.1080/02786820902736658
31. Coccia M. Factors determining the diffusion of COVID-19 and suggested strategy to prevent future accelerated viral infectivity similar to COVID. *Sci Total Environ*. 2020;729:138474. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138474
32. Wu X, Nethery RC, Sabath MB, et al. Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis. *Sci Adv*. 2020;6(45):eabd4049. doi: 10.1126/sciadv.abd4049

33. Nor NSM, Yip CW, Ibrahim N, et al. Particulate matter (PM_{2.5}) as a potential SARS-CoV-2 carrier. *Sci Rep.* 2021;11(1):2508. doi: 10.1038/s41598-021-81935-9
34. Ciglencečki I, Orlović-Leko P, Vidović K, Tasić V. The possible role of the surface active substances (SAS) in the airborne transmission of SARS-CoV-2. *Environ Res.* 2021;198:111215. doi: 10.1016/j.envres.2021.111215
35. Guo M, Xu P, Xiao T, et al. Review and comparison of HVAC operation guidelines in different countries during the COVID-19 pandemic. *Build Environ.* 2021;187:107368. doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107368
36. Amoatey P, Omidvarborna H, Baawain MS, Al-Mamun A. Impact of building ventilation systems and habitual indoor incense burning on SARS-CoV-2 virus transmissions in Middle Eastern countries. *Sci Total Environ.* 2020;733:139356. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139356
37. Bhagat RK, Davies Wykes MS, Dalziel SB, Linden PF. Effects of ventilation on the indoor spread of COVID-19. *J Fluid Mech.* 2020;903:F1. doi: 10.1017/jfm.2020.720
38. Melikov AK. COVID-19: Reduction of airborne transmission needs paradigm shift in ventilation. *Building and Environment.* 2020;186:107336. doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107336
39. Nejatian A, Sadabad FE, Shirazi FM, et al. How much natural ventilation rate can suppress COVID-19 transmission in occupancy zones? *J Res Med Sci.* 2024;28:84. doi: 10.4103/jrms.jrms_796_22
40. Pavlov MV, Karpov DF, Vafaeva KM, et al. Non-destructive thermal monitoring of temperature and flow rate of the heat carrier in a heating device. *E3S Web of Conferences.* 2024;581:01049. doi: 10.1051/e3sconf/202458101049
41. Liu Z, Liu H, Yin H, et al. Prevention of surgical site infection under different ventilation systems in operating room environment. *Front Environ Sci Eng.* 2021;15(3):36. doi: 10.1007/s11783-020-1327-9
42. Li T, Zhang X, Li C, et al. Onset of respiratory symptoms among Chinese students: associations with dampness and redecoration, PM₁₀, NO₂, SO₂ and inadequate ventilation in the school. *J Asthma.* 2020;57(5):495–504. doi: 10.1080/02770903.2019.1590591
43. Abramkina D, Ivanova A. Local air humidifiers in museums. In: Murgul V., Pasetti M., editors. International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. EMMFT-2018. Advances in Intelligent Systems and Computing. Publisher: Springer, Cham; 2018;982:78–83. doi: 10.1007/978-3-030-19756-8_8
44. Yu ITS, Li Y, Wong TW, et al. Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus. *N Engl J Med.* 2004;350(17):1731–1739. doi: 10.1056/NEJMoa032867
45. Santarpia JL, Rivera DN, Herrera VL, et al. Aerosol and surface contamination of SARS-CoV-2 observed in quarantine and isolation care. *Sci Rep.* 2020;10(1):12732. doi: 10.1038/s41598-020-69286-3
46. Ong SWX, Tan YK, Chia PY, et al. Air, Surface environmental, and personal protective equipment contamination by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) from a symptomatic patient. *JAMA.* 2020;323(16):1610–1612. doi: 10.1001/jama.2020.3227
47. Azuma K, Yanagi U, Kagi N, et al. Environmental factors involved in SARS-CoV-2 transmission: effect and role of indoor environmental quality in the strategy for COVID-19 infection control. *Environ Health Prev Med.* 2020;25(1):66. doi: 10.1186/s12199-020-00904-2
48. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, et al. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med.* 2020;382(16):1564–1567. doi: 10.1056/NEJMc2004973
49. Birgand G, Peiffer-Smadja N, Fournier S, et al. Assessment of air contamination by SARS-CoV-2 in hospital settings. *JAMA Netw Open.* 2020;3(12):e2033232. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.33232
50. Dancer SJ, Li Y, Hart A, et al. What is the risk of acquiring SARS-CoV-2 from the use of public toilets? *Sci Total Environ.* 2021;792:148341. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148341
51. Birmili W, Selinka HC, Moriske HJ, et al. Ventilation concepts in schools for the pre-vention of transmission of highly infectious viruses (SARS-CoV-2) by aerosols in indoor air. *Bundesgesundheitsblatt Gesund-heitsforschung Gesundheitsschutz.* 2021;64(12):1570–1580. doi: 10.1007/s00103-021-03452-4 (In Germ.)
52. Zhang S, Niu D, Lu Y, Lin Z. Contaminant removal and contaminant dispersion of air distribution for overall and local airborne infection risk controls. *Sci Total Environ.* 2022;833:155173. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155173
53. Su W, Yang B, Melikov A, et al. Infection probability under different air distribution patterns. *Building and Environment.* 2022;207 (Pt B):108555. doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108555
54. Nielsen PV, Xu C. Multiple airflow patterns in human microenvironment and the influence on short-distance airborne cross-infection — A review. *Indoor and Built Environment.* 2021;31(5):1420326X2110485. doi: 10.1177/1420326X211048539
55. de Haas MMA, Loomans MGLC, te Kulve M, et al. Effectiveness of personalized ventilation in reducing airborne infection risk for long-term care facilities. *International Journal of Ventilation.* 2023;22(4):327–335. doi: 10.1080/14733315.2023.2198781

AUTHORS' INFO

***Darya V. Abramkina**, Cand. Sci. (Engineering), Assistant Professor;
address: 26 Yaroslavskoye hwy, Moscow, Russia, 129337;
ORCID: 0000-0001-8635-1669;
eLibrary SPIN: 2376-9125;
e-mail: dabramkina@ya.ru

Vishal Verma, Graduate Student;
ORCID: 0009-0006-5290-9162;
e-mail: vishalverma2k16@gmail.com

ОБ АВТОРАХ

***Абрамкина Дарья Викторовна**, канд. техн. наук, доцент;
адрес: Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26;
ORCID: 0000-0001-8635-1669;
eLibrary SPIN: 2376-9125;
e-mail: dabramkina@ya.ru

Верма Вишал, аспирант;
ORCID: 0009-0006-5290-9162;
e-mail: vishalverma2k16@gmail.com

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631779>

Судьба стойких органических загрязняющих веществ в организме человека (исследования России и СССР)

Ю.П. Гумовская¹, Е.К. Миронова¹, А.В. Полевщиков², М.М. Донец³, В.Ю. Цыганков³

¹ Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия;

² Институт экспериментальной медицины, Санкт-Петербург, Россия;

³ Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

АННОТАЦИЯ

В обзоре приведены данные о распространённости и использовании стойких органических загрязняющих веществ в России. Описаны актуальные биомониторинговые исследования стойких органических загрязнителей в органах и тканях человека. Рассмотрены результаты российских и советских исследований о влиянии ксенобиотиков на человеческий организм. Пик изучения острого воздействия токсикантов на здоровье человека пришёлся на 1960–1970 гг. В 1980–1990 гг. появляются работы, изучающие их хроническое воздействие. В настоящее время подобных работ крайне мало.

Ключевые слова: стойкие органические загрязнители; биомониторинг; здоровье человека; влияние на организм; СССР; Россия.

Как цитировать:

Гумовская Ю.П., Миронова Е.К., Полевщиков А.В., Донец М.М., Цыганков В.Ю. Судьба стойких органических загрязняющих веществ в организме человека (исследования России и СССР) // Экология человека. 2024. Т. 31, № 6. С. 429–446. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631779>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631779>

Persistent organic pollutants in the human body: Russian and Soviet studies

Yulia P. Gumovskaya¹, Ekaterina K. Mironova¹, Alexander V. Polevshchikov², Maksim M. Donets³,
Vasiliy Yu. Tsygankov³

¹ Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia;

² Institute of Experimental Medicine, Saint Petersburg, Russia;

³ Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

ABSTRACT

This review presents data on the prevalence and use of persistent organic pollutants in Russia. It highlights current biomonitoring studies on their accumulation in human organs and tissues. The article also examines findings from Russian and Soviet studies on the effects of xenobiotics on the human body. Research on the acute toxicity of these substances peaked in the 1960s–1970s, while studies on their chronic effects began to emerge in the 1980s–1990s. Currently, such studies are extremely scarce.

Keywords: persistent organic pollutants; biomonitoring; human health; body impact; USSR; Russia.

To cite this article:

Gumovskaya YP, Mironova EK, Polevshchikov AV, Donets MM, Tsygankov VYu. Persistent organic pollutants in the human body: Russian and Soviet studies. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(6):429–446. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631779>

Received: 20.05.2024

Accepted: 26.11.2024

Published online: 13.01.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631779>

人体内持久性有机污染物的命运（俄罗斯和苏联的研究）

Yulia P. Gumovskaya¹, Ekaterina K. Mironova¹, Alexander V. Polevshchikov², Maksim M. Donets³, Vasiliy Yu. Tsygankov³

¹ Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia;

² Institute of Experimental Medicine, Saint Petersburg, Russia;

³ Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

摘要

本综述探讨了俄罗斯境内持久性有机污染物的分布情况及其应用历史，并总结了关于这些污染物在人体器官和组织中累积的生物监测研究。此外，文章回顾了俄罗斯和苏联关于外源性化合物对人体健康影响的研究成果。在苏联，有关 POPs 急性毒性的研究高峰期出现在20世纪60 - 70年代，而对其慢性影响的系统性研究始于20世纪80 - 90年代。然而，近年来此类研究已大幅减少，导致对持久性有机污染物长期暴露风险的认识仍存在诸多空白。

关键词：持久性有机污染物；生物监测；人体健康；对机体的影响；苏联；俄罗斯。

引用本文：

Gumovskaya YP, Mironova EK, Polevshchikov AV, Donets MM, Tsygankov VYu. 人体内持久性有机污染物的命运（俄罗斯和苏联的研究）. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(6):429–446. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631779>

收到: 20.05.2024

接受: 26.11.2024

发布日期: 13.01.2025

ОБОСНОВАНИЕ

В условиях современной цивилизации экологические факторы влияют на здоровье человека на 40–50%. Загрязнение окружающей среды — одна из основных причин роста заболеваний, приводящих к ослаблению и модификации защитных функций и адаптационных резервов организма человека. В течение второй половины XX в. происходило неконтролируемое загрязнение биосферы продуктами распада пестицидов хлорорганической группы.

Стойкие органические загрязнители (СОЗ) являются самыми опасными из всех поллютантов, поступающих в окружающую среду в результате антропогенной деятельности. За последние десятилетия эти суперэкоксиканты нанесли тяжёлый вред природе и здоровью человека из-за их биоаккумуляции, канцерогенных свойств и нейротоксичности [1]. Их накопление в окружающей среде представляет глобальную проблему. Среди СОЗ наиболее распространёнными веществами являются хлорорганические пестициды (ХОП) и полихлорированные бифенилы (ПХБ). Мировое сообщество приняло ряд документов, предусматривающих разработку и осуществление глобальных мер, направленных на уменьшение аккумуляции СОЗ в окружающей среде и связанных с ними рисков. В рамках главного документа «Конвенция о стойких органических загрязнителях» (Стокгольмская конвенция) ведётся глобальный мониторинг уровня СОЗ в разных средах обитания, организмах животных, растений и человека, что является предметом широких и многогранных научных проектов [1].

В России в рамках Стокгольмской конвенции проводится биомониторинг СОЗ не на всей территории. В настоящее время фрагментарно исследованы звенья морских и наземных трофических уровней [2–6], однако до сих пор открыт вопрос о влиянии СОЗ на здоровье человека как конечного звена пищевой цепи. Несмотря на значительный объём проводимых исследований, массив полученных результатов по уровням СОЗ в разных звеньях пищевой цепи и в организме человека требует систематизации и обобщения.

Цель исследования. Систематизация результатов мониторинговых исследований в России и бывших республиках СССР с участием человека как биоиндикатора СОЗ, а также обобщение данных о возможных патологиях, связанных с воздействием этих ксенобиотиков на организм человека.

ХАРАКТЕРИСТИКА И СВОЙСТВА СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

СОЗ включают в себя такие группы опасных соединений, как ХОП и ПХБ. ХОП, к которым относят соединения

дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) и гексахлорциклогексана (ГХЦГ), — большая группа галогенопроизводных ациклических и ароматических соединений антропогенного происхождения (рис. 1). В окружающую среду эти соединения попадают в результате хозяйственной деятельности человека. ХОП обладают высокой термостабильностью, липофильны, гидрофобны, являются инертными и практически не разлагаются под действием концентрированных кислот и щелочей (за исключением ГХЦГ) [7]. Показатели липофильности и гидрофобности в воде способствуют тому, что в природе такие соединения связываются частицами почвы, донных отложений, взвешенными частицами в воздухе и воде.

Персистентность — причина повсеместного распространения ХОП в биосфере в результате процессов растворения, сорбции, биоаккумуляции и испарения. Основной биологический механизм разрушения ХОП в природе — процесс метаболического распада с участием различных микроорганизмов [8]. В результате испарения и ветровой эрозии из почвы и водоёмов эти токсиканты поступают в атмосферу и подвергаются глобальному перераспределению и переносу в полярные регионы.

Другой опасной группой, распространённой в окружающей среде, являются соединения ПХБ. Они представляют собой тяжёлые высококипящие маслообразные жидкости с диэлектрическими свойствами. Индивидуальные конгенеры ПХБ различаются количеством атомов хлора и положением его в молекуле (см. рис. 1). ПХБ устойчивы к гидролизу и биотрансформации в воде, но со временем при фотолизе в процессе ряда последовательных реакций ПХБ могут стать источником более токсичных соединений — полихлорированных дибензо-*n*-диоксинов [9]. В природе эти соединения распространены повсеместно, главную роль в распределении играет атмосферный перенос. Устойчивость в окружающей среде зависит

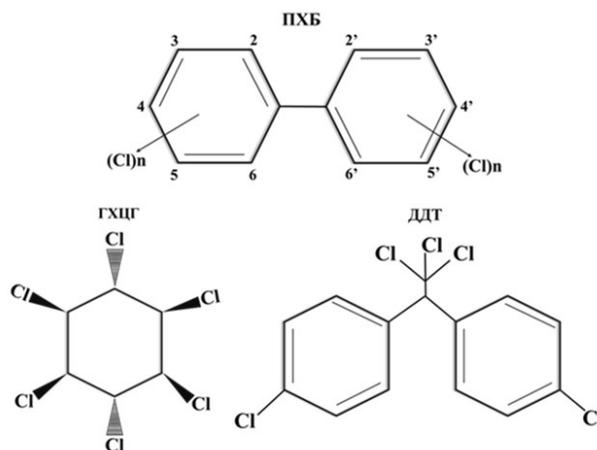


Рис. 1. Молекулярное строение гексахлорциклогексана (ГХЦГ), дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) и полихлорированных бифенилов (ПХБ).

Fig. 1. Molecular structure hexachlorocyclohexane (ГХЦГ), dichlorodiphenyltrichloroethane (ДДТ) and polychlorinated biphenyls (ПХБ).

от количества атомов хлора и расположения их в молекуле. Главными источниками загрязнения ПХБ являются многочисленные гидроэлектростанции, железные дороги и промышленные предприятия, производящие и использующие конденсаторы и трансформаторы. Часть ПХБ образуется как побочный продукт в процессе сжигания мусора. В результате проведенной инвентаризации ПХБ и ПХБ-содержащего оборудования в Российской Федерации в 2000 г. выявлено наличие около 7500 трансформаторов и 340 000 конденсаторов, в которых содержатся около 21 000 т ПХБ. Однако, согласно экспертной оценке, реальное количество ПХБ значительно выше и составляет не менее 28 000 т [10, 11].

РАСПРОСТРАНЁННОСТЬ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В РОССИИ

В России зарегистрировано около 1500 наименований пестицидов, представляющих собой моновещества, их разнообразные композиции, а также препараты биологического действия на основе фитопатогенных штаммов микроорганизмов, грибов и др. [12]. Сведения об основных группах пестицидов обобщены в табл. 1.

На территории страны действует каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению Министерством сельского хозяйства Российской Федерации. При этом, как видно из табл. 1, понятие «пестициды» трактуется достаточно широко. К ним относят как средства защиты, так и стимуляторы роста. Все вещества в каталоге зарегистрированы в соответствии с Федеральным Законом № 109 от 19.06.1997 г. «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами». В 2018 г. постановлением Главного санитарного врача введены новые Гигиенические нормативы 1.2.3539-18 для пестицидов, в то время как до 2016 г. применение пестицидов и химикатов регулировалось нормативами 1.2.3111-13¹.

Многие пестициды уже не применяются в силу низкой эффективности или высокой токсичности, что закреплено в соответствующих международных соглашениях. Тем не менее инвентаризация 2003 г. выявила, что на территории России хранится 24 000 т запрещённых к использованию пестицидов и/или средств с истекшим сроком годности. Одновременно дополнительные опасения вызывает тот факт, что 60% складов не отвечает санитарным нормам и требованиям безопасности. Масштабное и зачастую бесконтрольное и неоправданное применение пестицидов привело к тому, что на 60% обследованных территорий отмечается превышение уровней предельно

допустимой концентрации пестицидов в разных средах. К числу наиболее проблемных территорий относятся регионы самого активного земледелия, вносящие решающий вклад в производство сельхозпродукции в стране, в том числе Краснодарский край (2700 т хранящихся на складах не утилизируемых запрещённых к применению или устаревших пестицидов), Ростовская, Воронежская и Курганская области, Алтайский край (до 1000 т в каждом из регионов) [13].

Данные литературы свидетельствуют, что в подавляющем большинстве случаев наиболее загрязнённая среда — почва сельхозугодий [14, 15]. Однако важными дополнительными источниками СОЗ могут быть участки лесных пожаров, горящие свалки бытовых отходов и даже небольшие костры на приусадебных и дачных участках [15]. Так, согласно отчету Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации «Состояние загрязнения пестицидами объектов природной среды Российской Федерации» в 2017 г. исследованы почвы различного типа из 39 субъектов Российской Федерации. Превышение предельно допустимой концентрации по пестицидам обнаружено на территории 11 субъектов (в 2016 г. — на территории 12 субъектов) [16].

Другим важным примером распространённости СОЗ в России остаются ПХБ. В Советском Союзе, в странах СНГ и Российской Федерации до 2011 г. ПХБ широко использовали в промышленности при производстве трансформаторов. Основные производства находились в Серпухове (Россия), Усть-Каменогорске (Казахстан), Гюмри (Азербайджан), на лакокрасочных заводах в Ярославле, Челябинске, Загорске, Котовске (все — Россия), заводах по изготовлению смазок (Нижний Новгород, Санкт-Петербург, Оренбург, Уфа, Пермь, все — Россия) [17]. В настоящее время наибольшее количество ПХБ обнаружено в Поволжском и Уральском регионах, за ними идут Центральный, Восточно-Сибирский, Северо-Кавказский и Волго-Вятский регионы [18].

С принятием Федерального закона Российской Федерации № 164 от 27 июня 2011 г. «О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях (СОЗ)» Россия взяла на себя обязательства по уничтожению запасов ПХБ. До 2025 г. содержащее ПХБ электротехническое оборудование должно быть выведено из эксплуатации, до 2028 г. — уничтожены содержащие ПХБ отходы. В России контроль выбросов поллютантов в атмосферу осуществляется по специальным программам. Исследование отобранных проб проводится в аккредитованных на проведение анализа диоксинов и ПХБ лабораториях, расположенных в Москве, Санкт-Петербурге, Обнинске и Уфе [19].

Важной характеристикой токсических эффектов ПХБ является подавление иммунитета. Поступление ПХБ в организм человека также провоцирует развитие рака различной локализации, поражений печени, почек, нервной системы, кожи (нейродермиты, экземы, сыпи) [14].

¹ ГН 1.2.3111-13 «Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень)», с изменениями на 13 июля 2016 г.

Таблица 1. Классификация пестицидов по назначению, способу проникновения и характеру действия [3]**Table 1.** Classification of pesticides by purpose, method of penetration and nature of action [3]

Группа Group	Назначение, способ проникновения и характер действия Purpose, method of penetration and nature of action
Инсектициды Insecticides	
Контактного действия Contact action	Вызывают гибель вредных насекомых при контакте They cause the death of harmful insects upon contact
Кишечного действия Intestinal action	Вызывают гибель вредных насекомых при попадании в кишечник Cause the death of harmful insects when ingested
Системного действия Systemic action	Способны продвигаться по сосудистой системе растения и отравлять поедающих его насекомых They are able to move through the vascular system of a plant and poison the insects that eat it
Фумиганты Fumigants	Действуют в газообразном состоянии через органы дыхания насекомых They act in a gaseous state through the respiratory organs of insects
Гербициды Herbicides	
Контактного действия Contact action	Вызывают гибель сорных растений при контакте They cause the death of weeds upon contact
Системного действия Systemic action	Способны продвигаться по сосудистой системе растения и вызывать его гибель They are able to move through the vascular system of a plant and cause its death
Почвенного действия Soil action	Действуют на корневую систему растений или на прорастающие семена They act on the root system of plants or on germinating seeds
Избирательного действия Selective action	Поражают только определённые виды растений Only certain types of plants are affected
Сплошного действия Continuous action	Уничтожают всю растительность Destroy all vegetation
Фунгициды Fungicides	
Контактного действия Contact action	Используют для борьбы с патогенными грибами It is used to control pathogenic fungi
Системного действия Systemic action	Способны продвигаться по сосудистой системе растений и убивать патогенные грибы They are able to move through the vascular system of plants and kill pathogenic fungi
Защитного действия Protective action	Способны защищать от воздействий патогенных грибов They are able to protect against the effects of pathogenic fungi
Лечебного действия Therapeutic effect	Способны давать лечебный эффект при действии патогенных грибов They are able to give a therapeutic effect under the action of pathogenic fungi
Другие группы Other groups	
Ларвициды Larvicides	Уничтожают личинок и гусениц насекомых They destroy insect larvae and caterpillars
Акарициды Acaricides	Уничтожают растительноядных клещей They destroy herbivorous ticks
Овициды Ovicides	Уничтожают яйца вредных насекомых и клещей They destroy the eggs of harmful insects and ticks
Нематоциды Nematocides	Уничтожают круглых червей Destroy roundworms
Зооциды (родентициды) Zoozides (rodenticides)	Уничтожают грызунов Destroy rodents
Моллюстициды Molluscicides	Уничтожают моллюсков Destroy shellfish
Бактерициды Bactericides	Уничтожают болезнетворные бактерии Destroy pathogenic bacteria

Попадая в организм плода и ребенка, ПХБ проявляют тератогенные эффекты и способствуют появлению врождённых уродств, отставанию в развитии, дисфункции иммунитета, поражению кроветворения. ПХБ также обладают мутагенным действием, что негативно влияет на здоровье последующих поколений [5].

БИОМОНИТОРИНГ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

Во многих странах большинство СОЗ запрещены или ограничены к применению. В 2006 г. Всемирная организация здравоохранения приняла решение о продолжении применения самого известного хлорорганического пестицида ДДТ в 12 странах мира, в том числе в Индии, Северной Корее и некоторых южноафриканских государствах [1]. Эти токсиканты могут попадать на территорию России за счёт трансграничного переноса, морскими течениями, мигрирующими организмами и с продуктами питания [20, 21].

Воздействию СОЗ подвергаются как сельские жители, живущие поблизости от мест обработок, так и широкий круг населения благодаря летучести этих соединений и возможности трансграничного переноса [22]. Основные пути, по которым СОЗ попадают в организм человека и биоаккумулируются, представлены в табл. 2.

Результаты биологического мониторинга четырёх самых крупных аграрных субъектов Южного федерального округа (Краснодарского края, Астраханской, Волгоградской и Ростовской областей) показывают наличие загрязнения ХОП окружающей среды и их аккумуляции в организме человека. К сожалению, отсутствуют данные по Адыгее и Калмыкии, земли которых подвергаются процессам природного и антропогенного опустынивания,

что уже дало основание признать их зонами экологического бедствия [23–25].

Кратковременное превышение предельно допустимой концентрации пестицидов в 1–2 раза способствует возникновению локальных очагов экологически обусловленных заболеваний [26–28]. Установлена достоверная прямая связь между заболеваемостью и общей нагрузкой пестицидами на организм человека [29, 30].

С 1998 г. биомониторинг по хлорорганическим соединениям проводится в бывших республиках СССР: Казахстане, Беларуси, Армении, Украине и Кыргызской республике. Имеются данные по биологическому мониторингу Алтайского края, Архангельской области, Байкальского региона, Иркутской области, Дальнего Востока, Мурманской (Кольская Лапландия), Орловской, Самарской областей, Чукотки.

Данные проводимых в настоящее время наблюдений обобщены в табл. 3.

В 1960–1980 гг. выполнены многочисленные отечественные научно-исследовательские работы, в которых изучалось влияние пестицидов на отдельные органы и системы человека (мозг, печень, глаза, кожу, кровь, иммунную систему, репродуктивную систему, нервную систему, вестибулярный аппарат), а также на углеводный обмен и окислительные процессы.

Высокая растворимость в жирах и низкая растворимость в воде обуславливают задержку ДДТ в жировой ткани. В целом консументы высоких пищевых уровней имеют тенденцию к накоплению больших количеств ДДТ по сравнению с продуцентами и консументами низших пищевых уровней [31]. Отмечается, что в растительной пище диоксинов и ПХБ значительно меньше (растения плохо усваивают липофильные вещества), что прослеживается и при анализе биоматериала людей-вегетарианцев, которые не употребляют животных продуктов [32].

Таблица 2. Основные пути попадания стойких органических загрязнителей в организм человека [89]

Table 2. Main routes of entry of persistent organic pollutants into the human body [89]

Путь проникновения The path of penetration	Путь передачи Transmission path	Источник A source
Пероральный Oral	Приём пищи Food intake	Вода, овощи, фрукты, мясо, молоко и другие пищевые продукты Water, vegetables, fruits, meat, milk and other food products
	Контакт Contact	Вода, воздух, продукты питания и др. Water, air, food, etc.
Ингаляционный Inhalation	Дыхание Breath	Воздух, аэрозоли, пар Air, aerosols, steam
	Контакт Contact	Воздух, аэрозоли, вода Air, aerosols, water
Кожный Cutaneous	Через покровы Through the covers	Воздух, вода Air, water
	Контакт Contact	Воздух, вода, продукты питания Air, water, food

Таблица 3. Концентрация хлорорганических соединений в биологических жидкостях и материалах у жителей разных регионов России и бывших союзных республик**Table 3.** Concentration of organochlorine compounds in biological fluids and materials in residents of different regions of Russia and former Soviet republics

Материал Material	Регион Region	Гексахлор- циклогексан Hexachloro- cyclohexane	Дихлордифенил- трихлорэтан Dichlorodiphenyl- trichloroethane	Источник Reference
Грудное молоко, нг/г липидов Breast milk (ng/g of lipids)	Армения Armenia	0,0106 ¹	0,0054 ¹	[90]
	Архангельская область Arkhangelsk region	0,2–3,2	1037–1098	[91]
	Байкальский регион (Усолье-Сибирское) Baikal region (Usolye-Sibirskoye)	0,5–16	566	[92]
	Республика Беларусь Republic of Belarus	2,22 ²	7,66 ²	[93]
	Владимирская область Vladimir region	— ⁸	—	[94]
	Дальний Восток The Far East	76	12,9	[94, 95]
	Иркутская область Irkutsk region	0,7–4,2	521	[88]
	Мурманск Murmansk	2–3	900	[96]
	Республика Бурятия Republic of Buryatia	0,45–18,00	660	[97]
	Самарская область Samara region	115–196	207–244	[98]
	Тюменская область Tyumen region	—	—	[92]
	Челябинская область Chelyabinsk region	—	—	[99]
	Чеченская Республика The Chechen Republic	—	—	[99]
	Чукотский АО Chukotka Autonomous Distric	0,1–5,6	204–418	[91]
Кровь Blood	Дальний Восток (Приморский край) Far East (Primorsky Krai)	90–950 ³	6,37 ²	[4, 94]
	Крым Crimea	—	—	[100]
	Мурманская область Murmansk region	1,05 ²	6,37 ²	[101]
	Российская Арктика The Russian Arctic	—	1,5–4,7 ²	[74]
	Самарская область (Чапаевск) Samara region (Chapaevsk)	—	—	[102]
Моча Urine	Дальний Восток (Приморский край) Far East (Primorsky Krai)	110–160 ⁶	70–490 ⁶	[4, 94]
Сперма Sperm	Кыргызстан Kyrgyzstan	0,0001–0,014 ¹	0,0004–0,053 ¹	[64]
Плацента The placenta	Кыргызстан Kyrgyzstan	—	—	[75]
Абортальный материал Abortion material	Кыргызстан Kyrgyzstan	—	—	[81]
Подкожно-жировая клетчатка Subcutaneous fat	Украина Ukraine	—	3100 ⁵	[79, 103]
Печень Liver	Украина Ukraine	—	820 ⁵	[104]
Мозг Brain	Узбекистан Uzbekistan	—	—	[105]
Слюна Spittle	Краснодар Krasnodar	—	—	[66]
Волосы Hair	Казань Kazan	—	2,8–28 ⁷	[106]

Примечание. ¹ мг/л; ² мкг/л; ³ нг/л; ⁴ мг/мл; ⁵ мкг/кг сырой массы; ⁶ пг/л; ⁷ нг/мг сырой массы; ⁸ не обнаружено.

Note. ¹ mg/l; ² µg/l; ³ ng/l; ⁴ mg/ml; ⁵ µg/kg wet weight; ⁶ pg/l; ⁷ ng/mg wet weight; ⁸ not found.

В 2005 г. в Московской медицинской академии им. И.М. Сеченова методами газожидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии определено содержание ДДТ и его метаболита ДДЕ в 49 официальных фитопрепаратах (жидких экстрактах и настойках) из травы тысячелистника, чабреца, листьев крапивы, плодов калины и боярышника. Установлено, что абсолютные концентрации ДДТ в жидких экстрактах и настойках достигали 0,45 нг/г, ДДЕ — 3,07 нг/г [33].

Угрозу для здоровья населения может представлять систематическое воздействие поллютантов даже на уровнях, не превышающих гигиенических нормативов. Соответственно, расчёт риска для здоровья человека должен охватывать суммарную оценку комплексной нагрузки вдыхаемого загрязнённого воздуха, а также поступление веществ с питьевой водой и продуктами питания [34, 35].

Из-за невозможности проведения исследования столь широкого спектра объектов существуют рекомендации для анализа СОЗ в воздухе, воде, грудном молоке и крови человека [36]. В эпидемиологической практике для оценки степени давности поступления в организм ДДТ обычно используется соотношение 4,4-ДДЕ/4,4-ДДТ в крови и грудном молоке; чем выше этот показатель, тем ниже концентрация исходного 4,4-ДДТ и тем дольше длится экспозиция [37].

Для оценки давности поступления пестицидов в экосистему используют отношение концентраций α - и γ -изомеров ГХЦГ. Значение коэффициента более единицы свидетельствует о давнем присутствии ХОП в среде, значение ниже единицы, то есть преобладание γ -изомера, характерно для «свежего» поступления [37]. Относительно большие количества γ -изомера по сравнению с другими ГХЦГ-формами отражают давнее его использование и выраженную биотрансформацию микробиологическим путем [38].

Многолетние наблюдения свидетельствуют о том, что сывороточные уровни отдельных хлорорганических поллютантов, в частности β -ГХЦГ, тесно связаны с биомаркерами метаболизма углеводов и липидов, например с концентрацией гормона лептина, и степенью инсулинорезистентности среди подростков, проживающих в Чапаевске, известном очаге химической опасности [39].

РОССИЙСКИЕ И СОВЕТСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Некоторые учёные отмечают выраженную способность СОЗ к биоаккумуляции [40]. При их комбинированном воздействии на органы наблюдается простое суммирование содержания СОЗ, которое наблюдалось бы при раздельном поступлении.

При попадании в организм человека поллютанты сохраняются на протяжении всей жизни. Даже небольшие количества могут способствовать развитию заболеваний. Например, некоторые хлорорганические токсиканты, такие как альдрин и дильдрин, связывают с многочисленными случаями тяжёлых острых отравлений. Они могут приводить к расстройствам желудочно-кишечного тракта, дисфункции нервной и иммунной систем, а также почек. Таким образом, если СОЗ превышают допустимые пороговые значения, то они могут оказывать вредное воздействие на организм человека. Некоторые из возможных заболеваний, вызываемых СОЗ, представлены в табл. 4.

Кроме того, существует много признаков и симптомов хронической интоксикации, которые зависят от пути поступления токсикантов в организм [41]:

Таблица 4. Проблемы со здоровьем, связанные с воздействием стойких органических загрязнителей

Table 4. Health problems associated with exposure to persistent organic pollutants

Тип стойких органических загрязнителей Type of persistent organic pollutants	Воздействие на здоровье Health effects	Источник Reference
Гексахлорциклогексан Hexachlorocyclohexane Дихлордифенилтрихлорэтан Dichlorodiphenyltrichloroethane	Рак, нефропатия, поражение печени, повышенное артериальное давление, нарушение работы эндокринной системы, диабет, непереносимость глюкозы, устойчивость к инсулину, ожирение Cancer, nephropathy, liver damage, high blood pressure, endocrine system malfunction, endocrine dysfunction, diabetes, glucose intolerance, insulin resistance, obesity	[89, 107]
Полихлорированные бифенилы Polychlorinated biphenyls	Рак, нарушение репродуктивной функции, нарушение работы эндокринной системы, диабет, непереносимость глюкозы, устойчивость к инсулину, ожирение, проблемы с сердечно-сосудистой системой, поражение печени, когнитивная дисфункция у детей Cancer, reproductive dysfunction, endocrine dysfunction, diabetes, glucose intolerance, insulin resistance, obesity, cardiovascular problems, liver damage, cognitive dysfunction in children	

- кожные проявления — хлоракне, гиперпигментация, гиперкератоз;
- печёночный синдром — фиброз печени, поражение поджелудочной железы, повышение уровней трансаминазы и триглицеридов в крови, повышенное содержание холестерина, расстройство пищеварения (рвота, тошнота, нарушения стула, непереносимость алкоголя и жирной пищи);
- сердечно-сосудистый синдром — одышка и сердцебиение, миокардиодистрофия, артериальная гипотония;
- респираторный синдром — поражения верхних дыхательных путей, хронический токсический бронхит, который характеризуется диффузной атрофией слизистой оболочки, снижением скоростных показателей вентиляции, повышением вязкостного сопротивления.

Кожный покров (дерма)

Хлоракне — известное специфическое повреждение кожи в виде повышенного отложения пигмента, патологического расширения пор и повышенной чувствительности у лиц, имевших контакт с хлорорганическими соединениями [42].

Сердечно-сосудистая система

Хроническое воздействие CO₂ на организм человека увеличивает частоту и усугубляет течение заболеваний сердечно-сосудистой системы — коронарной недостаточности, гипертонической болезни, атеросклероза сосудов [43]. В 1986 г. при исследовании атерогенных свойств CO₂ были отмечены характерные закономерности в нарушении липидного обмена, которые, возможно, ускоряют развитие и отягощают течение атеросклероза [44]. Позже, в 1990 г., эта гипотеза подтвердилась в исследованиях И.Д. Гадалиной: поллютанты вызывают биохимические изменения, характерные для ранних проявлений атеросклероза, причём меньшая доза ксенобиотика даёт более выраженный атерогенный эффект [45].

CO₂ обладают прямым положительным инотропным действием на миокард [46, 47]. Согласно биохимическим исследованиям, установлен рост активности лактатдегидрогеназы в миокарде на 90-й день интоксикации CO₂ и уменьшение её уровня в сыворотке крови, что свидетельствует об определённых нарушениях и перестройке биоэнергетических процессов в кардиомиоцитах. Повреждение митохондриальных мембран (как наружных, так и внутренних) влечет за собой нарушения окислительно-фосфорилирования, утилизации АТФ миофибриллами и др. Эти изменения, в свою очередь, приводят к снижению энергии сокращения миофибрилярного аппарата, нарушению возбуждения, связанного с сокращением и расслаблением миокарда. Энергетическая недостаточность компенсируется за счёт развития гигантских форм митохондрий, гипертрофии миофибрилл.

Нервная система

Поражения нервной системы характерны для действия всех CO₂. При хронических отравлениях наблюдаются разнообразные функционально-динамические нарушения со стороны нервной системы: диффузное поражение (энцефалополлиневропатия) с рассеянными мелкоочаговыми органическими симптомами; полный симптомокомплекс вегетативно-астенического синдрома в виде снижения работоспособности, бессонницы, повышенной раздражительности, лабильности артериального давления, гипергидроза, гиперрефлексии и других расстройств. Наиболее тяжёлые патологические изменения при отравлении хлорорганическими ядохимикатами возникают в структурах ЦНС, которые во многом сходны с клиникой энцефалита с преимущественным поражением подкорковой области. При тяжёлых формах интоксикации может развиваться гипоталамический синдром (гипергликемия, артериальная гипертония, ожирение) [47].

Следует учитывать, что некоторые CO₂ обладают отдалённым нейротоксическим действием. Исследования когнитивных функций населения, проживающего в экологически неблагополучных посёлках Талгарского района, показали, что почти 70% жителей имели низкий уровень устойчивости и концентрации внимания при усвоении информации, значительное и существенное снижение работоспособности из-за доминирования процесса торможения в ЦНС, что характерно для переутомления или астенизации организма [28].

Иммунная система

Стойкое подавление активности иммунной системы свойственно большинству ксенобиотиков. Этот эффект отмечается даже при действии низких малотоксичных доз. Доказано отрицательное влияние CO₂ на иммунную систему человека, ведущее к атипичному течению различных инфекционных и неинфекционных заболеваний, сопровождающихся повышением риска развития аутоиммунных патологий [48, 49].

При интоксикации поллютантами наблюдается лимфопения, затрагивающая все классы лимфоцитов (Т-, В-, НК-клетки). На протяжении четырёх месяцев и более сохраняются изменения иммунитета после кратковременного контакта с ксенобиотиками. При длительном воздействии пестицидов нарушения в иммунной системе сохраняются в течение 2–10 лет [49].

В работах М. Исраилова [50] показано, что у лиц, проживающих в зонах активного применения пестицидов, выявляются стойкие и глубокие нарушения иммунной системы, приводящие к развитию затяжной пневмонии. Соответственно, патологии респираторной системы являются индикаторами экологически неблагополучной воздушной среды [51].

Многолетние международные исследования в Арктическом регионе убедительно доказали развитие иммунодефицитных состояний, вызванных отравлением CO₂

взрослого населения, в рационе которого присутствуют рыба и мясо морских животных. Страдают также грудные дети, получающие токсиканты с молоком матери [52].

Выделительная система

В районах интенсивного применения С03 чаще регистрируются нарушения функционального состояния почек в форме снижения клубочковой фильтрации и угнетения азотовыделительной функции. Многократно возрастают дисметаболические нефропатии, чаще встречаются аномалии органов мочевой системы, патологические изменения биохимических показателей мочи. Частота инфекционно-воспалительных заболеваний почек в зонах интенсивного применения пестицидов или непосредственного контакта с ними — 12,5%, в зоне средней интенсивности применения — 7,9%, в «чистых» зонах — 1,6% [53, 54]. При клинико-эпидемиологическом исследовании проживающих в регионах использования пестицидов были выявлены признаки острых инфекционно-воспалительных заболеваний почек с тяжёлым течением в 6,5% случаев [55].

Гистологические и цитознзиматические изменения в структурах нефронов позволяют предполагать проникновение пестицидов внутрь эндотелия капилляров клубочков в процессе фильтрации крови и в эпителий канальцев при реабсорбции ультрафильтрата. При этом ГХЦГ оказывает большее нефротоксическое воздействие, связанное с выраженным угнетением ферментов, участвующих в фильтрационно-реабсорбционно-секреторных процессах в нефронах [56].

Репродуктивное здоровье мужчин

Интерес к поиску взаимосвязи между С03 и мужским бесплодием вызван тем, что практически все антропогенные поллютанты дают гонадо- и эмбриотоксический эффект, связанный с наличием у них гормоноподобных свойств, которые получили название «гормоноподобные ксенобиотики», или «гормоны внешней среды» [57, 58]. Многие исследователи связывают мужское бесплодие с действием пестицидов, в частности ДДТ [59]. В зонах, загрязнённых С03, заболеваемость мужским бесплодием в 2–2,5 раза (первичным мужским бесплодием — на 8–10%) выше, чем в экологически чистых зонах. ХОП в сперме мужчин с бесплодием выявлены в 75,4% случаев против 4,3% в контрольной группе. Заболеваемость бесплодием коррелирует с содержанием в сперме С03, что может быть одной из причин мужского бесплодия [60].

Медленные темпы выведения С03 способствуют увеличению концентрации этих веществ с возрастом [61]. В организме мужчин в течение жизни накапливается больше С03. А.А. Дударев отмечает более высокое содержание хлорорганических соединений в крови мужчин по сравнению с женщинами тех же возрастных групп [62]. Это может быть связано с присутствием в рационе мужчин большего количества мяса и рыбы, а также с тем,

что женский организм может частично выводить хлорорганические соединения с грудным молоком и частично передавать запас веществ потомству [3, 4].

При воздействии С03 на организм мужчин нарушаются процессы сперматогенеза [63, 64]. По мере возрастания загрязнения повышается процент патоспермии, причём количество пациентов с полным отсутствием в эякуляте сперматозоидов (азооспермия) увеличивается практически в пять раз.

Пищеварительный тракт

Отмечается, что для многих токсичных веществ гематосаливарный барьер не становится препятствием. Выявлена прямая связь содержания пестицидов в сыворотке крови и ротовой жидкости для α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ. Дальнейшие сравнительные исследования показали, что слюна околоушной железы содержит названные изомеры в более высокой концентрации, чем ротовая жидкость, и коррелирует с концентрацией пестицида в сыворотке с более высоким коэффициентом корреляции. Также в смешанной слюне были обнаружены ДДТ и его метаболиты [65]. Одновременно у жителей сельских районов, подвергающихся выраженному воздействию пестицидов, диагностировали наличие кариеса в 78,3% случаев, пародонтоза — в 82,2%, стоматита — в 62,7%, патологической стираемости зубов — в 22,2%, в контрольном районе указанные заболевания были выявлены в 48,3, 15,4, 6,4 и 0,0% соответственно [66].

Действие С03 на печень способно привести к развитию токсического гепатита. Токсический гепатит нарушает состав желчи и вызывает синдром холестаза. Возможно также развитие токсического панкреатита. Повреждение поджелудочной железы связано с повышением давления в системе панкреатических протоков вследствие дискинезии желудочно-кишечного тракта и дистонии сфинктера Одди [51].

З.М. Омарова предположила определённые механизмы воздействия С03. Прямое повреждающее действие на слизистую оболочку желудочно-кишечного тракта приводит к воспалительным и эрозивно-язвенным изменениям. Повреждение слизистой оболочки ведёт к нарушению моторики, развивается дискинезия желудка, кишечника и жёлчевыводящих путей. Дистония сфинктера Одди приводит к нарушению оттока секрета от поджелудочной железы. Следующий механизм вовлечения желудочно-кишечного тракта в патологический процесс — воздействие С03 непосредственно на нервную систему с развитием вегетативных расстройств и нарушений моторики органов пищеварения [51].

Онкологические заболевания

Период максимального применения С03 (1980–1995 гг.) показал, что с насыщением окружающей среды пестицидами растёт количество онкологических заболеваний [67].

Исследования, проведённые в Курской области [68], свидетельствуют о наличии связи между ростом заболеваемости раком желудка и молочной железы и количеством вносимых в почву пестицидов. В другом регионе, в условиях сельской местности юга Кыргызстана, одной из главных причин развития рака молочной железы у много рожавших являются ХОП [69]. На основании полученных фактов было предложено считать частоту рака молочной железы чувствительным критерием загрязнённости окружающей среды пестицидами [70]. В различных районах Таджикистана анализ распространённости острой лейкемии показал, что ведущим фактором в развитии этой патологии стало масштабное использование химических удобрений [71]. Занятость родителей в сельском хозяйстве, сопряжённая с производственным контактом с пестицидами, также может повышать риск развития онкологических заболеваний у детей [72].

Репродуктивное здоровье женщин и беременность

Изменения показателей репродуктивного здоровья отражают состояние среды обитания, характеризуют мутагенность и эмбриотоксичность факторов и их способность подавлять адаптационные механизмы организма. О значительных изменениях здоровья беременных, проживающих в условиях воздействия загрязнённой окружающей среды, сообщается в Челябинской (Челябинск, Магнитогорск, Карабаш), в Свердловской (Кировград, Нижний Тагил) областях, страдает здоровье женщин, проживающих вблизи химических заводов в Тамбовской, Иркутской и других областях [73–75].

Изучение влияния комбинированных пестицидов на репродуктивную функцию женщин, работавших в цехах протравителей семян, показало, что осложнения беременности встречались в 3,5 раза чаще, чем в контрольной группе. При гистологическом исследовании в плаценте обнаруживаются деструктивные изменения (инфаркты, облитерация сосудов и пр.), снижающие её

функциональные возможности, что становится одной из причин перинатальной патологии [76].

Контакты беременных с пестицидами увеличивают частоту осложнений беременности и родов, вызывают мертворождаемость, аномалии у новорождённых, ведут к ухудшению комплексных показателей состояния здоровья детей [42, 77]. У 100% обследованных беременных Украины обнаружили ДДТ в периферической крови в концентрациях от 0,28 (в Полтаве) до 6 мкг/л (в Киеве) [78]. Наиболее тяжёлые осложнения при беременности, родах и в послеродовом периоде выявлены при обнаружении алдрина и ДДТ [72].

ХОП способны проходить через плацентарный барьер. Изучения мертворождённых выявили среднее содержание ДДТ в подкожно-жировой ткани плода (3100 мкг/кг), что мало отличалось от содержания его в подкожно-жировой клетчатке оперированных взрослых людей (4330 мкг/кг) [79]. В печени мертворождённых детей концентрация ДДТ составляла в среднем 820 мкг/кг [65]. ГХЦГ также преодолевает плацентарный барьер [1]. Пестициды увеличивают высвобождение катехоламинов из синаптических нервных окончаний, проникают через плацентарный барьер, вызывая структурно-метаболические нарушения в тканях плаценты, оказывая токсическое действие на плод и провоцируя выкидыши [80].

В Кыргызской Республике у 39,2% беременных из плаценты выявили ХОП, концентрация которого достигала 2,27 мг/кг. Чем выше содержание ХОП в плаценте, тем чаще отмечалась патология у беременных. Установлена корреляция между обнаружением ХОП в плацентах и гинекологическими осложнениями в послеродовом периоде [81].

В 30,5% случаев в абортальных материалах, полученных после прерывания беременности (в первые два месяца до образования плаценты), обнаружено наличие ксенобиотиков, в 5,33% — выявлена высокая концентрация хлорорганических пестицидов, в 2,66% — патология эмбриона (врождённые пороки; табл. 5) [81].

Таблица 5. Содержание пестицидов в исследуемых абортальных материалах [81]

Table 5. Pesticide concentration in the studied abortion materials [81]

Концентрация хлорорганических пестицидов Concentration of organochlorine pesticides	Количество обследованных Number of surveyed	Обнаружены хлорорганические пестициды Organochlorine pesticides have been detected	
		Количество Quantity	%
Всего обследовано Total surveyed	75	23	30,60
Из них хлорорганические пестициды в пределах 0,1 мг/кг Of these, organochlorine pesticides are in the range of 0.1 mg/kg	75	4	5,33
Из них обнаружено врождённых пороков развития Of these, congenital malformations were found	75	2	2,66
Из них хлорорганические пестициды свыше 0,1 мг/кг Of these, organochlorine pesticides exceed 0.1 mg/kg	75	17	22,60

Чёткие различия выявлены и после родов. Если в крови женщин обнаруживался ГХЦГ, то процент асфиксии новорождённых возрастал вдвое (12,0%). У первородящих (с ГХЦГ в крови) рождалось значительно больше детей с аномалиями развития (2,56% при 0,15% в контрольной группе) [82].

Высокие уровни поллютантов вызывают негативные сдвиги в демографической ситуации. Так, с увеличением пестицидных нагрузок растёт смертность ($r=0,82$; $p<0,05$), а рождаемость падает ($r=-0,67$; $p=0,046$) [40].

Наиболее чувствительным индикатором оценки состояния здоровья популяции, влияния на него факторов внешней среды являются показатели здоровья новорождённых, в частности, распространённости врождённых пороков развития. Доказано, что врождённые патологии связаны с влиянием ХОП на беременных и женщин детородного возраста [81]. Уровень первичной заболеваемости детей врождёнными аномалиями, болезнями органов пищеварения, эндокринной системы коррелирует с площадью обработки пашни пестицидами и минеральными удобрениями в регионе [80]. Для уменьшения поступления пестицидов М.Х. Хамидов [82] рекомендовал удлинить интервал между беременностями до трёх лет, говоря о «желательности наступления зачатия в зимний и весенний периоды года».

Грудное молоко

Особую проблему педиатрии составляет риск остаточного содержания пестицидов в продуктах питания, особенно детского. Чем младше ребенок, тем больше относительная доза пестицида, которую он получает в равных со взрослыми условиях [51].

В районах с повышенными показателями СОЗ возрастает число детей с заболеваниями лор-органов (хронический фарингит, трофический ринит, синусит, ларингит, ангина и хронический тонзиллит, отит). Рост воспалительных

заболеваний среднего уха отмечается у детей эскимосов, питающихся молоком матерей, а также морской рыбой и мясом морских животных, содержащими повышенные концентрации пестицидов [52].

Грудное молоко как объект наблюдения имеет ряд преимуществ, поскольку отбор проб представляет собой неинвазивный метод без технических и инструментальных сложностей. Уровни СОЗ в грудном молоке считаются индикатором их нагрузки на материнский организм [83]. У матерей, в грудном молоке которых обнаружен ДДТ, чаще рождались дети малого веса и недоношенные ($26,5\pm 2,7\%$), чем у матерей, в молоке которых этот ксенобиотик не обнаружен ($13,1\pm 3,7\%$) [105]. Это подтверждено исследованиями И.А. Застенской и соавт. [84], которые показали выраженную отрицательную зависимость между степенью загрязнения грудного молока ДДТ и весом ребенка при рождении.

Выявлено высокое содержание ДДТ в грудном молоке жительниц Казахстана, что в целом характерно для бывших республик СССР [85]. При мониторинге ХОП в пробах грудного молока рожениц Республики Армения частота обнаружения основных загрязнителей (γ -изомер ГХЦГ и ДДЕ) составляла 100%; частота определения ДДТ увеличилась по сравнению с 2009 г. и составила 71,4%. При этом обнаруживаемые остаточные количества ХОП оказались на порядок выше, чем в 2009 г.: γ -изомер ГХЦГ — 0,0147 мг/л; ДДЕ — 0,0169 мг/л; ДДТ — 0,0039 мг/л [86].

У новорождённых, питающихся грудным молоком, суточная доза ПХБ может в 10–100 раз превышать таковую у их матерей. Для новорождённых, метаболические потенциалы которых ещё не столь развиты, основным механизмом удаления ПХБ из организма является регулярный «жирный стул». Большинство исследований связывают влияние ПХБ с развитием патологий, снижением иммунитета, замедлением роста и веса ребенка в том случае,

Таблица 6. Концентрации стойких органических загрязнителей в грудном молоке женщин России

Table 6. Concentrations of persistent organic pollutants in breast milk of Russian women

Регион	Годы Years	ΣГХЦГ ΣHCG	ΣДДТ ΣDDT	ΣПХБ инд. ΣPCBs ind.	ΣПХБ ΣPCBs	Источник Reference
Чукотский автономный округ* Chukotka Autonomous Region*	2019	20,0	6,3	24	58	[108]
Приморье* Primorye*	2017–2018	76,0	13,0	20	78	[109]
Иркутск** Irkutsk**	1997–2009	4,3	534,0	155	267	[92]
Забайкалье** Transbaikalia**	1997–2009	2,5	1122,0	106	2125	[92]
Бурятия** Buryatia**	2003–2004	810,0	660,0	—	240	[8]

Примечание. * Медиана; ** среднее значение; ГХЦГ — гексахлорциклогексан; ДДТ — дихлордифенилтрихлорэтан; ПХБ — полихлорированные бифенилы.

Note. * Median; ** Mean; HCG — hexachlorocyclohexane; DDT — dichlorodiphenyltrichloroethane; PCBs — polychlorinated biphenyls.

если грудное молоко является единственным источником пищи для новорождённых. Такие возможные отклонения от нормального развития делают эту ситуацию тревожной. Так как организм младенцев находится на стадии формирования, присутствие различных примесей в молоке может оказывать большое влияние на его развитие [87].

В табл. 6 приведены исследования учёных по выявлению уровней контаминации СОЗ в грудном молоке женщин на территории Российской Федерации. Из результатов видно, что наивысшие концентрации ГХЦГ обнаружены на территории Республики Бурятия, что говорит об интенсивном и многолетнем использовании пестицидов в СССР. Авторы полагают, что даже после официального запрета на использование пестицидов в сельском хозяйстве их могли применять в лесном хозяйстве, в быту или в военных целях.

Высокие концентрации ДДТ и ПХБ в Забайкалье Е.А. Мамонтова и соавт. [88] связывают с диетой матерей, а также атмосферным переносом от источника, расположенного недалеко от Усолье-Сибирского, где находится один из крупнейших химических заводов бывшего Советского Союза по производству хлорорганических соединений, красок и т.д.

Традиционно население посёлков на берегах Байкала использует в своем рационе жир нерпы и голомянки. Концентрации СОЗ в их жире намного выше, чем в промысловых видах рыб. В грудном молоке жительниц побережья озера Байкал уровень ПХБ сравним только с уровнями в молоке жительниц Фарерских островов, в основной рацион которых входят жир и мясо морских рыб, млекопитающих и птиц, а также жительниц Серпухова, работавших на трансформаторном заводе, где в производстве использовалась техническая смесь ПХБ (совол).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Человек находится в верхней части пищевой цепи, поэтому именно он подвергается наибольшей опасности воздействия СОЗ. В связи с этим оценка влияния ксенобиотиков на здоровье населения по-прежнему актуальна.

Пестициды, поступающие в организм человека по миграционным и транслокационным цепочкам, могут оказывать мутагенное действие, увеличивать количество точечных мутаций и хромосомных aberrаций в соматических и половых клетках, приводить к развитию новообразований, спонтанным абортam и перинатальной гибели плода, врождённым аномалиям, бесплодию. Согласно сложившейся практике, оценка мутагенности пестицидов основана на определении мутагенных свойств отдельных действующих компонентов, входящих в состав их препаративных форм. Вопрос о дополнительном исследовании препаративных форм, включающих несколько действующих веществ, представляется крайне актуальным.

Пик изучения острого воздействия пестицидов на здоровье человека пришелся на 1960–1970 гг. В 1980–

1990 гг. появляются работы, изучающие их хроническое воздействие. В последние годы число работ резко снизилось. Сегодня в городах России биомониторинговые исследования либо не проводятся, либо проводятся непостоянно, что не даёт полной картины по стране. Также практически нет новых публикаций о влиянии СОЗ на здоровье населения с применением современных методов.

Таким образом, существует необходимость разработки и введения на законодательном уровне системы постоянного государственного биомониторинга, включающего анализ окружающей среды, живых организмов и человека как биоиндикатора аккумуляции, биотрансформации и долговременных эффектов СОЗ.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Ю.П. Гумовская — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; Е.К. Миронова — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; А.В. Полевщиков — сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; М.М. Донец — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; В.Ю. Цыганков — сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Работа выполнена при поддержке государственного задания Минобрнауки России FZNS-2023-0011.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. Yu.P. Gumovskaya — literature review, collection and analysis of literary sources, writing the text and editing the article; E.K. Mironova — literature review, collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the text of the article; A.V. Polevshchikov — collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the text of the article; M.M. Donets — literature review, collection and analysis of literary sources, writing the text and editing the article; V.Yu. Tsygankov — literature review, collection and analysis of literary sources, writing the text and editing the article. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding source. This work was supported by the state assignment of the Russian Ministry of Education and Science FZNS-2023-0011.

Competing interests. The authors confirm the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. UNEP. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants; 2020. 96 p.
2. Ushakov AA, Turbinskiy VV, Paschenko IG, Katunina AS. Hygienic assessment of habitat adverse social and sanitary factors in the Altai Krai. *Health Risk Analysis*. 2015;(4):50–61. doi: 10.21668/health.risk/2015.4.07 EDN: VHWPFT
3. Tsygankov VYu, Boyarova MD, Kiku PF, Yarygina MV. Hexachlorocyclohexane (HCH) in human blood in the south of the Russian Far East. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015;22(18):14379–14382. doi: 10.1007/s11356-015-4951-3 EDN: UZYOXD
4. Tsygankov VY, Khristoforova NK, Lukyanova ON, et al. Selected organochlorines in human blood and urine in the south of the Russian Far East. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2017;(99):460–464. doi: 10.1007/s00128-017-2152-0 EDN: WUHSCB
5. Tsygankov VY, Yarygina MV, Lukyanova ON, et al. Trace concentrations of organochlorine compounds in biological liquids of the Russian far east residents. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*. 2019;26(1):15–19. doi: 10.33396/1728-0869-2019-1-15-19 EDN: QRLCUZ
6. Tsygankov VYu. Organochlorine pesticides in marine ecosystems of the Far Eastern Seas of Russia (2000–2017). *Water Research*. 2019;161:43–53. doi: 10.1016/j.watres.2019.05.103
7. Rovinsky FYa, Voronova LD, Afanasyev MI, et al. *Background monitoring of pollution of terrestrial ecosystems by organochlorine compounds*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1990. (In Russ.)
8. Tsydenova OV. *Organochlorine compounds in the ecosystems of Lake Baikal and its basin* [dissertation abstract]. Barnaul; 2005. 23 p. (In Russ.) EDN: NIGKVB
9. Order dated April 13, 1999 No. 165 “About Recommendations for the purposes of inventory in the territory of the Russian Federation of production facilities, equipment, materials using or containing PCBs, as well as PCB-containing wastes”. Available from: <https://base.garant.ru/2156962> (In Russ.)
10. Order dated February 23, 1999 No 76 “On conducting an inventory of production facilities, equipment, materials using or containing polychlorinated biphenyls (PCBs), as well as PCB-containing wastes on the territory of the Russian Federation”. Available from: <https://base.garant.ru/2156961> (In Russ.)
11. Speranskaya O, Tsittser O. *Persistent organic pollutants: an overview of the situation in Russia*. Moscow; 2004. (In Russ.)
12. Yearbook “The state of pesticide pollution in the natural environment of the Russian Federation in 2016”. Obninsk: FGBU NPO Taifun; 2017. (In Russ.)
13. Semerenko SA. Ecology and plant protection. *Oil Crops*. 2015;(4):103–137. EDN: VHTFHP
14. Chernykh AM. Threats to human health in the use of pesticides (a review). *Hygiene and Sanitation*. 2003;(5):25–28. EDN: MXPFKI
15. Larionov KV. *The spread of pesticides in the ecosystem of the Krasnodar Territory and the minimization of their impact on the environment* [dissertation]. Krasnodar; 2008. 135 p. (In Russ.) EDN: NQHUNF
16. Chernogaeva GM, Gromov SA, Zhdanovskaya EA, et al., editors. *Review of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2018*. Moscow; 2019. (In Russ.) EDN: ZUYSGB
17. Korpakova IG, Korotkova LI, Larin AA, et al. Availability of persistent organochlorine pesticides and polychlorobiphenyls in the water area of the licensed site of LLC “NC “Priazovneft” in the Azov Sea. *Environmental Protection in Oil and Gas Complex*. 2015;(11):48–54. EDN: UNHDXX
18. On measures to ensure that the Russian Federation fulfills its obligations under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants of May 22, 2001. As amended by Resolutions of the Government of the Russian Federation No. 464 dated 05/13/2015, No. 946 dated 09/19/2016, No. 1391 dated 11/20/2018, No. 113 dated 02/11/2019. (In Russ.)
19. Sobol M. *Time to act*. Moscow; 2004. (In Russ.)
20. Lukyanova ON, Tsygankov VYu, Boyarova MD, Khristoforova NK. Pesticide biotransport by Pacific salmon in the northwestern Pacific Ocean. *Doklady Biological Sciences*. 2014;456(1):188–190. doi: 10.1134/S0012496614030089 EDN: UGPRJR
21. Lukyanova ON, Tsygankov VYu, Boyarova MD, Khristoforova NK. Pacific salmon as a vector in the transfer of persistent organic pollutants in the Ocean. *Journal of Ichthyology*. 2015;55(3):425–429. doi: 10.1134/S0032945215030078 EDN: VAELIZ
22. Pavlov AV, editor. *Handbook of pesticides (hygiene of use and toxicology)*. Kyiv: Uroжай; 1986. (In Russ.)
23. Saleh MA, Kamel A. Breast milk as a biomarker for monitoring human exposure to environmental pollutants. *ACS Symposium Series*. 1996;643:114–125.
24. Krauthacker B, Reiner E, Votava-Raić A, et al. Organochlorine pesticides and PCBs in human milk collected from mothers nursing hospitalized children. *Chemosphere*. 1998;37(1):27–32. doi: 10.1016/S0045-6535(98)00035-6
25. Liderman EM, Zabelin MV. Analysis of ecological conditions of conditionality of the population health in the southern federal district in aspect of the organization of the regional system of medico-social rehabilitation. *Healthcare, Education and Security*. 2018;(1):7–20. EDN: YRXBQT
26. Inelova ZA, Nurzhanova AA, Zhamabalinova RD, et al. Phytocenotic bioindication of pesticide-contaminated soils (Talgar district, Almaty region). *Eurasian Journal of Ecology*. 2010;(3):29–33. (In Russ.)
27. Rakitskiy VN. Prognostic risk of pesticides’ toxic effects in workers. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2015;(10):5–7. EDN: UMUIOF
28. Kapsysheva UN, Bakhtiyarova ShK, Zhaksymov BI. Effects of long-term pesticidal pollution environmental human health. *International Journal of Applied and Basic Research*. 2019;(3):56–60. EDN: FIHYJO
29. Ruder AM, Waters MA, Butler MA, et al. Gliomas and farm pesticide exposure in men: the upper midwest health study. *Archives of Environmental Health: An International Journal*. 2004;59(12):650–657. doi: 10.1080/00039890409602949
30. Ivanov AV, Vasilyev VV. Human health status in the areas with intensive use of peptides. *Hygiene and Sanitation*. 2005;(2): 24–27. EDN: OJNQGV

31. Ruzybakeev RM. *Immunodeficiency states in chronic pesticide intoxication and the problem of their correction: clinical and experimental study* [dissertation abstract]. Moscow; 1987. 32 p. (In Russ.)
32. Onikienko F.A. *The state of some aspects of carbohydrate metabolism and oxidative processes when exposed to the body of certain organochlorine insecticides* [dissertation abstract]. Kyiv; 1966. 18 p. (In Russ.)
33. Gravel' IV. Assessment of the transition of DDT and its metabolites to liquid extracts and tinctures from medicinal plant raw materials. *Traditional Medicine*. 2005;(1):28–31. (In Russ.) EDN: HSPHZR
34. Zhurba OM, Taranenko NA. Social-hygienic aspects of determining the residual amounts of chlororganic pesticides in food products. *Bulletin of the East Siberian Scientific Center SB RAMS*. 2007;(1):56–58. EDN: KVMIAD
35. Zacharenkov VV, Kislitsyna VV. Prioritization of environmental measures based on risk assessment for the health of the population of an industrial city. *Advances in Current Natural Sciences*. 2014;(2):12–15. EDN: PZXPLI
36. Barr DB, Barr JR, Driskell WJ, et al. Strategies for biological monitoring of exposure for contemporary-use pesticides. *Toxicol Ind Health*. 1999;15(1-2):168–179. doi: 10.1191/074823399678846556
37. Rovinskii FYa, Voronova LD, Afanas'ev MI, et al. *Background monitoring of pollution of terrestrial ecosystems by organochlorine compounds*. Leningrad: Hydrometeoizdat; 1990. (In Russ.)
38. Galiulin RV, Galiulina RA. Ecological and geochemical assessment of the "imprints" of persistent organochlorine pesticides in the soil-surface water system. *Agrohimia*. 2008;(1):52–58. (In Russ.) EDN: IBYXQR
39. Burns JS, Williams PL, Korrick SA, et al. Association between chlorinated pesticides in the serum of prepubertal russian boys and longitudinal biomarkers of metabolic function. *American Journal of Epidemiology*. 2014;180(9):909–919. doi: 10.1093/aje/kwu212
40. Shumeyko AYa. *Ecological assessment of the interaction of pesticides and radiation in agroecosystems of the Bryansk region* [dissertation abstract]. Bryansk; 2004. 22 p. (In Russ.) EDN: NHRFBL
41. Lotkov VS. *Clinical and pathogenetic features of the chronic effects of chlorinated hydrocarbons on the respiratory organs and other body systems (experimental clinical study)* [dissertation abstract]. Samara; 2000. 38 p. (In Russ.)
42. Fedorov LA, Yablokov AV. *Pesticides are a toxic blow to the biosphere and humans*. Moscow: Nauka; 1999. (In Russ.)
43. Boikulov MCh. Comparative characteristics of the aorta of rats in normal and under the influence of pesticides. *Morfologiya*. 2004;(4):22. (In Russ.)
44. Shitskova AP, Nikolaeva NI, Gadalina ID. Hygienic assessment of the cardiotoxic effect of certain pesticides. *Hygiene and Sanitation*. 1986;(6):6–9. (In Russ.)
45. Gadalina ID. Some methodological approaches to assessing the cardiotoxic effect of pesticides, taking into account the age factor. *Hygiene and Sanitation*. 1990;(7):77–78. (In Russ.)
46. Akhmedov BKh, Saliev KK. Peripheral blood parameters in rats with chronic pesticide intoxication. *Medical Journal of Uzbekistan*. 2000;(3):89–90. (In Russ.)
47. Azovskova TA, Vakurova NV, Lavrentieva NE. *Occupational intoxication with pesticides*. Samara: SamLyuksPrint; 2014. (In Russ.) EDN: TZJLJB
48. Ovchinnikova EL, Rezanova NV, Brusentsova AV. Monitoring of food quality and safety as an integral part of social and hygienic monitoring. *Sibir'-Vostok*. 2003;(10):31–36. (In Russ.)
49. Khaitov RM, Pinegin BV, Istamov XI. *Ecological immunology*. Moscow: VNIRO; 1995. (In Russ.)
50. Israilova M. *Clinical and immunological features of the course and treatment of prolonged pneumonia in patients living in the pesticide application area* [dissertation abstract]. Moscow; 1992. 19 p. (In Russ.)
51. Omarova ZM. Effect of pesticides on children's health. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2010;55(1):59–64. EDN: LOQNLK
52. Odland JØ, Donaldson S, Dudarev A, Carlsen A. AMAP assessment 2015: human health in the Arctic. *Int J Circumpolar Health*. 2016;75:33949. doi: 10.3402/ijch.v75.33949
53. Latypova RI. Functional state of kidneys in people working with a complex of organochlorine and phosphorous pesticides. *Medical Journal of Uzbekistan*. 1971;(11):19–23. (In Russ.)
54. Allazov S. *Acute infectious and inflammatory kidney diseases under the influence of pesticides (clinical and experimental study)* [dissertation abstract]. Moscow; 1992. 28 p. (In Russ.)
55. Sitdikova ME, Allazov SA, Sayapova DR. The effect of organochlorine compounds on some urological diseases. *Kazan Medical Journal*. 2010;91(3):372–374. EDN: MUEJYF
56. Rasulov MT, Shakhnazarov MA, Shakhnazarov AM, Magomedgadzhiev BG. Morphological and histoenzymatic characteristics of kidneys under chronic exposure to pesticides hexachlorocyclohexane, chlorophos and copper sulfate. In: *Problems of environmental medicine. Materials of the VII scientific and practical conference in memory of Professor S.A. Abusuev*. Makhachkala; 2017;242–245. (In Russ.) EDN: XUPCCL
57. Nikitin AI. *Harmful environmental factors and the human reproductive system (responsibility to future generations)*. St. Petersburg: ELBI-SPb; 2008. (In Russ.)
58. Nikitin AI. Hormone-like pollutants of the biosphere and their effect on human reproductive function. *Biosfera*. 2009;1(2):218–229. EDN: QZOGHV
59. Moshanskii VF, Kagan SA, Tektinskii OL, et al. Differential diagnosis of 2 forms of necrospemia. *Urol Nefrol (Mosk)*. 1987;52(5):57–59.
60. Toichuev RM, Mirzakulov DS, Payzildaev TR. The prevalence of male infertility in residents living in conditions of the pollution of the environment by organochlorine pesticides. *Hygiene and Sanitation*. 2015;94(6):99–101. EDN: UXZQYV
61. Revich BA, Sergeev OV, Shelepchikov AA. Innovative environmental and epidemiologic technologies of assessment of dioxins impacts on childrens health. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2012;19(8):42–49. doi: 10.17816/humeco17455 EDN: PAIJYX
62. Dudarev AA. Persistent polychlorinated hydrocarbons and heavy metals in arctic biosphere: the main regularities of exposure and reproductive health of indigenous people. *Biosfera*. 2009;1(2):186–202. EDN: QZOGGR
63. Ter-Avanesov GV. *Problems of men's reproductive health*. Moscow: Telsi; 2004. (In Russ.)

64. Mirzakulov DS, Eshbaev AA, Mirzokulov SS, Kalmatov RK. Features of influence of organochlorine compounds and their metabolites on the state of fertility men living in the osh region of Kyrgyzstan. *Modern Problems of Science and Education*. 2016;(3):66. EDN: WXJAFF
65. Korot'ko GF. The salivadiagnostics — renaissance of non-invasive technologies. *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2006;(9):145–149. EDN: HVFWFT
66. Zhumatov U. *The state of the organs of the oral cavity when exposed to organochlorine and phosphorous pesticides* [dissertation abstract]. Tashkent; 1982. 19 p. (In Russ.)
67. Abdullaev RB, Duschanov ShB, Matkarimova DS, et al. *The Aral crisis: problems of ecological culture and health*. Urgench; 2012. (In Russ.)
68. Adamovich VL, Samoylenko VM. *Ecological tactics of using pesticides in agriculture and ways to prevent harmful effects*. Bryansk; 1986. (In Russ.)
69. Paizova ZM, Toychuev RM. The influence of environmental pollution with organochlorine pesticides on the development of breast cancer in women, depending on the number of births, in the conditions of southern Kyrgyzstan. *The Journal of Scientific Articles Health and Education Millennium*. 2012;14(1):160. (In Russ.) EDN: QAJXUB
70. Gichev YuP. Environment Pollution and Ecology-related Human Pathology. *Ecology. A series of analytical reviews of world literature*. 2003;(68):1–138. EDN: HKZNPT
71. Mustafakulova NI, Melikova TI, Mustafakulova NS. Risk factors and clinical features of leukemia in the Republic of Tajikistan. *Avicenna Bulletin*. 2015;(1):67–71. EDN: UHLUWT
72. Solenova LG. Cancer risk factors in children and approaches to prevention of their effects. *Pediatrics. Zhurnal im G.N. Speranskogo*. 2011;90(4):120–126. (In Russ.) EDN: OGHFXJ
73. Aylamazyan EK, Belyaeva TV, Vinogradova EG. The influence of environmental conditions on women's reproductive health. A new perspective on the problem. *Bulletin of the Russian Association of Obstetricians and Gynecologists*. 1996;(2):13–16. (In Russ.)
74. Dudarev AA, Chupakhin VS. Influence of exposure to persistent toxic substances (PTS) on pregnancy outcomes, gender ratio and menstrual status in indigenous females of Chukotka. *Hygiene and Sanitation*. 2014;93(1):36–40. EDN: RYDZAZ
75. Toichuev RM. The effect of organochlorine pesticide content in placenta on the course of pregnancy and childbirth. *Hygiene and Sanitation*. 2015;94(6):106–108. EDN: UXZRAJ
76. Verzhanskiy PS. *The effect of combined pesticides (fentiuram, chromicin, etc.) on reproductive function and prevention of complications in women working at a chemical enterprise* [dissertation abstract]. Kharkov; 1979. 22 p. (In Russ.)
77. Yudaev AI. Polychlorinated biphenyls and dioxins — supercotoxicants of the 21st century. *Energiia: Ekonomika, Tekhnika, Ekologiya*. 2010;(1):60–65. (In Russ.) EDN: LSOYBV
78. Demchenko VF. *Hygienic aspects of biomonitoring of organochlorine pesticides* [dissertation]. Kyiv; 1989. 332 p. (In Russ.)
79. Komarova LI. *Carriage of DDT and some aspects of its effect on the body* [dissertation abstract]. Kyiv; 1969. 12 p. (In Russ.)
80. Khamitova RYa, Mirsaitova GT. The population morbidity in conditions of lasting moderate application of pesticides. *Health Care of the Russian Federation*. 2014;58(1):38–42. EDN: RVLZZP
81. Darbishev EP, Eshiev AM. The influence of organochlorine pesticides on the birth rate of children with congenital pathology in the Osh region. In: *Actual problems and achievements in medicine. Collection of scientific papers based on the results of the international scientific and practical conference*. Samara; 2017. P. 96–99. (In Russ.) EDN: YNQHEZ
82. Khamidov MH. *Reproductive function, outcome of pregnancy and childbirth for the fetus and newborn in women engaged in the cultivation and cultivation of cotton* [dissertation abstract]. Leningrad; 1986. 46 p. (In Russ.)
83. del Puerto C, Diaz Fernandez AM, de Armas Jimenez M, et al. The levels of DDT and its metabolites in the human biological medium. *Gig Sanit*. 1990;(10):73–75.
84. Zastenskaya IA, Kochubinsky VV. Potential role of epidemiological researches and biological monitoring in hygienic rate setting. *Actual Problems of Transport Medicine*. 2010;(2):90–94. EDN: PZEYNX
85. Goncharuk EI, Sidorenko GI, Golubchikov MV, Prokopovich AS. Using the mother-fetus-newborn system to study the combined effects of pesticides and other chemicals. *Hygiene and Sanitation*. 1990;(6):4–7. (In Russ.)
86. Tadevosyan NS, Tadevosyan AE, Janjanyan AN, et al. Issues of accumulation and detection of certain persistent organic pollutants in rural residents of Armenia. *Vestnik KazNMU*. 2012;(3):212–221. (In Russ.)
87. Ginsberg G, Hattis D, Sonawane B. Incorporating pharmacokinetic differences between children and adults in assessing children's risks to environmental toxicants. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2004;198(2):164–183. doi: 10.1016/j.taap.2003.10.010
88. Mamontova YeA, Tarasova YeN, Kuzmin MI, et al. The levels of stable organic pollutants in the breast milk of women living in the Urkutsk Region. *Hygiene and Sanitation*. 2010;(1):35–38. EDN: MBUWKJ
89. Alharbi OM, Basheer AA, Khattab RA, Ali I. Health and environmental effects of persistent organic pollutants. *Journal of Molecular Liquids*. 2018;263:442–453. doi: 10.1016/j.molliq.2018.05.029
90. Tadevosyan NS, Muradyan SA, Tadevosyan AE, et al. Monitoring of environmental pollution in Armenia and certain issues on reproductive health and cytogenetic status of organism. *Hygiene and Sanitation*. 2012;91(5):48–51. EDN: PUHIUJ
91. AMAP Assessment 2002: Persistent organic pollutants in the Arctic. Norway, Oslo: Arctic Monitoring Assessment Program; 2004. 310 p.
92. Mamontova EA, Tarasova EN, Mamontov AA. Ecological and hygienic assessment of the consequences of persistent organic compounds pollution of the industrial town (by the example of Usol'e-Sibirskoe): II. Food, human tissues, health risk assessment. *Ecological Chemistry*. 2017;26(1):41–52. EDN: XWRXUT
93. Zastenskaya IA. Organochlorine pesticides: biological monitoring and environmental monitoring in evaluation of newborn health impact. *Health and Environment*. 2009;(14):540–547. EDN: ZCDVHL
94. Yufit S, Leeuwen R, Malisch R, Samsonov DP. Contamination of human milk with PCDDS, PCDFS and PCBS in two Russian cities. *Organohalogen Compounds*. 2002;56:333–336.

95. Tsygankov VY, Gumovskaya YP, Gumovskiy AN, et al. Bioaccumulation of POPs in human breast milk from south of the Russian Far East and exposure risk to breastfed infants. *Environ Sci Pollut Res*. 2020;27:5951–5957. doi: 10.1007/s11356-019-07394-y.
96. Dudarev AA, Dushkina, EV, Sladkova YN, et al. Exposure Levels of Persistent Organic Pollutants (POPs) among Population of the Pechenga District in the Murmansk Region. *Toxicological Review*. 2016;(3):2–9. doi: 10.36946/0869-7922-2016-3-2-9
97. Tsydenova, OV, Sudaryanto A, Kajiwara N, et al. Organohalogen Compounds in Human Breast Milk from Republic of Buryatia, Russia. *Environmental Pollution*. 2007;146(1):225–232. doi: 10.1016/j.envpol.2006.04.036
98. Sergeev O, Shelepchikov A, Denisova T, et al. POPs in human milk in Chapaevsk, Russia, five years following cessation of chemical manufacturing and decade of remediation program, pilot study. *Organohalogen Compounds*. 2008;70:1946–1949.
99. Amirova ZK, Shahtamirov IY. PCDD / Fs and PCBs-WHO in plasma and breast milk of residents of the Chechen Republic. *South of Russia: Ecology, Development*. 2012;7(2):125–129. EDN: PLRCDDV
100. Moskovchuk OB, Moskovchuk KM, Demchenko VF, Evstafieva HV. Correlations of indicators of the immune status of maternity hospitals with the content of organochlorine pesticides in the blood. *Tavrisheskiy Mediko-Biologicheskiy Vestnik*. 2012;15(3-2):176–178. (In Russ.) EDN: TEGGGD
101. Dudarev AA, Chupakhin VS, Ivanova ZS, Lebedev GB. Peculiarities of exposure to polychlorinated biphenyls (PCBs) in the indigenous population of the coastal and mainland Chukotka. *Hygiene and Sanitation*. 2012;91(4):22–28. EDN: PTUMUX
102. Revich BA, Sergeev OV, Hanser R. Dioxins, furans and PCB in blood of teenagers in the town of Chapayevsk first outcome of a perspective epidemiological study. *Toxicol Rev*. 2006;(5):2–8.
103. Vaskovskaya LF. *Chemical and biological characteristics of DDT accumulation and distribution in the human body* [dissertation]. Kyiv; 1971. 192 p. (In Russ.)
104. Kuzminskaya UA. *Biochemical characteristics of subcellular structures of the liver under the influence of pesticides (on the mechanism of action of organochlorine and carbamate pesticides)* [dissertation abstract]. Kyiv; 1975. 42 p. (In Russ.)
105. Azizova OM. *Morphological changes in the brain during chronic pesticide intoxication* [dissertation abstract]. Moscow; 1981. 28 p. (In Russ.)
106. Le Phuoc Cuong, Evgen'ev MI, Gumerov FM, Evgen'eva I, Umarova NN. Ecomonitoring of pesticides in the hair of Vietnamese living in Da Nang (Vietnam) and Kazan. *Bulletin of the Technological University*. 2011;(18):31–37. (In Russ.) EDN: OJKBHN
107. Domingo JL. Concentrations of environmental organic contaminants in meat and meat products and human dietary exposure: A review. *Food Chem Toxicol*. 2017;107(Pt A):20–26. doi: 10.1016/j.fct.2017.06.032
108. Mironova EK, Donets MM, Gumovskiy AN, et al. Organochlorine pollutants in human breast milk from north of the Far Eastern Region of Russia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2023;110:95. doi: 10.1007/s00128-023-03732-6
109. Mironova EK, Donets MM, Gumovskiy AN, et al. Persistent organic toxicants in breast milk of women in the south and north of the Russian Far East and risk assessment for infant health. *Toxicological Review*. 2023;31(2):99–108. doi: 10.47470/0869-7922-2023-31-2-99-108 EDN: DRHMXW

ОБ АВТОРАХ

***Миронова Екатерина Константиновна**, аспирант;
адрес: Россия, 690922, Владивосток, п. Аякс, д. 10;
ORCID: 0000-0002-3746-1084;
eLibrary SPIN: 2358-3800;
e-mail: mironova_kate@bk.ru

Гумовская Юлия Петровна, канд. мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-5791-5493;
eLibrary SPIN: 8381-4723;
e-mail: nupl@yandex.ru

Полевщиков Александр Витальевич, д-р биол. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-3342-178X;
eLibrary SPIN: 9627-6694;
e-mail: polevshikov.av@iemspb.ru

Донец Максим Михайлович;
ORCID: 0000-0002-2108-4448;
eLibrary SPIN: 9023-6473;
e-mail: maksim.donecz@mail.ru

Цыганков Василий Юрьевич, д-р биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-5095-7260;
eLibrary SPIN: 5047-8410;
e-mail: tsig_90@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Ekaterina K. Mironova**, Postgraduate Student;
address: 10 Ajax Bay, Vladivostok, Russia, 690922;
ORCID: 0000-0002-3746-1084;
eLibrary SPIN: 2358-3800;
e-mail: mironova_kate@bk.ru

Yulia P. Gumovskaya, MD, Cand. Sci. (Medicine), Assistant Professor;
ORCID: 0000-0002-5791-5493;
eLibrary SPIN: 8381-4723;
e-mail: nupl@yandex.ru

Alexander V. Polevshchikov, Dr. Sci. (Biology), Professor;
ORCID: 0000-0002-3342-178X;
eLibrary SPIN: 9627-6694;
e-mail: polevshikov.av@iemspb.ru

Maksim M. Donets;
ORCID: 0000-0002-2108-4448;
eLibrary SPIN: 9023-6473;
e-mail: maksim.donecz@mail.ru

Vasilii Yu. Tsygankov, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-5095-7260;
eLibrary SPIN: 5047-8410;
e-mail: tsig_90@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco629203>

Клеточные иммунные реакции у женского населения Арктического региона

О.С. Морозова, Л.С. Щёголева, Е.Ю. Шашкова, О.Е. Филиппова

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В северных регионах под воздействием дискомфортных климатических факторов, неблагоприятной климатоэкологической обстановки происходит перестройка некоторых параметров иммунного статуса со снижением общей резистентности к микроорганизмам, с появлением гиперчувствительности различных типов и аутосенсбилизации. В период формирования и развития иммунной системы это приводит к задержке развития у детей, а у взрослого населения — к преждевременному старению.

Цель. Выявить содержание фенотипов лимфоцитов и фагоцитарную активность нейтрофилов у женщин на Крайнем Севере.

Материалы и методы. Провели анализ результатов обследования иммунного статуса 60 условно здоровых женщин, проживающих на Крайнем Севере Российской Федерации (п. Пинега Архангельской области). Средний возраст обследованных женщин — $47,76 \pm 0,94$ года. Изучали концентрацию в крови лимфоцитов с фенотипами CD3⁺, CD5⁺, CD8⁺, CD10⁺, CD16⁺, CD71⁺, HLADR⁺ с помощью непрямой иммунопероксидазной реакции с использованием моноклональных антител. Фагоцитарную активность гранулоцитов определяли с помощью частиц латекса, фагоцитарную активность клеток считали исходя из 100%, интенсивность фагоцитоза — по фагоцитарному числу (количество латексных частиц, поглощённых одним нейтрофилом, на 100 клеток). Для каждого указанного иммунологического показателя представляли параметры описательной статистики (среднее арифметическое значение и стандартная ошибка среднего). Взаимосвязь изучаемых показателей определяли непараметрическим корреляционным анализом с помощью коэффициента Спирмена. Процент дисбалансов иммунологических показателей рассчитывали по данным частоты регистрации высоких и низких концентраций с учётом пределов физиологического содержания. Анализ полученных данных проводили в прикладных программах Statistica 10.0, Microsoft Excel 2010.

Результаты. Выявлено напряжение клеточного иммунитета за счёт низкого уровня активности Т-лимфоцитов с рецепторами CD3⁺ и CD5⁺ ($95,00 \pm 1,61$ и $96,66 \pm 1,63\%$ женщин) на фоне повышения цитотоксических клеток CD8⁺ и натуральных киллеров CD16⁺ ($53,33 \pm 1,20$ и $48,33 \pm 1,14\%$ женщин), что указывает на сокращение резервных возможностей иммунного гомеостаза. Отмечено снижение фагоцитарной активности у $20,00 \pm 0,73\%$ обследованных и одновременное увеличение клеток CD10⁺ — у $21,66 \pm 0,77\%$.

Заключение. Недостаточная активность Т-лимфоцитов с одновременным увеличением цитотоксических клеток и натуральных киллеров характеризует напряжение в иммунной системе. Дефицит фагоцитарной активности ассоциирован с повышенным уровнем лимфопролиферации CD10⁺, что способствует сокращению резервных возможностей иммунного гомеостаза.

Ключевые слова: Север; фенотипы лимфоцитов; фагоцитарная активность; иммунные реакции.

Как цитировать:

Морозова О.С., Щёголева Л.С., Шашкова Е.Ю., Филиппова О.Е. Клеточные иммунные реакции у женского населения Арктического региона // Экология человека. 2024. Т. 31, № 6. С. 447–455. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco629203>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco629203>

Cellular immune responses in women living in the Arctic region

Olga S. Morozova, Lyubov S. Shchegoleva, Elizaveta Yu. Shashkova, Oksana E. Filippova

Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: In the northern regions, exposure to harsh climatic and ecological conditions alters immune status, resulting in decreased resistance to microorganisms, development of various types of hypersensitivity, and auto-sensitization. During formation and maturation of the immune system, these changes contribute to growth retardation in children, while in adults, they accelerate aging.

AIM: To assess the distribution of lymphocyte phenotypes and the phagocytic activity of neutrophils in women residing in the Far North.

MATERIALS AND METHODS: The study analyzed the immune status of 60 conditionally healthy women living in the Far North of the Russian Federation (Pinega, Arkhangelsk Region). The mean age of the participants was 47.76 ± 0.94 years. Blood concentrations of lymphocyte phenotypes ($CD3^+$, $CD5^+$, $CD8^+$, $CD10^+$, $CD16^+$, $CD71^+$, HLA-DR⁺) were measured using an indirect immunoperoxidase reaction with monoclonal antibodies. Granulocyte phagocytic activity was assessed using latex particles, with phagocytic activity expressed as a percentage and phagocytic intensity determined by the phagocytic index (the number of latex particles engulfed per 100 neutrophils). Descriptive statistics (mean and standard error of the mean) were calculated for each immunological parameter. Correlation analysis was performed using Spearman's rank correlation coefficient. The percentage of immune parameter imbalances was determined based on the frequency of high and low concentrations relative to physiological reference ranges. Data analysis was conducted using Statistica 10.0 and Microsoft Excel 2010.

RESULTS: Cellular immunity strain was identified, characterized by reduced activity of T-lymphocytes expressing $CD3^+$ and $CD5^+$ receptors ($95.00 \pm 1.61\%$ and $96.66 \pm 1.63\%$ of women, respectively). This was accompanied by increased cytotoxic $CD8^+$ cells and natural killer $CD16^+$ cells ($53.33 \pm 1.20\%$ and $48.33 \pm 1.14\%$, respectively). This pattern suggests a reduced reserve capacity of the immune system. A decrease in phagocytic activity was observed in $20.00 \pm 0.73\%$ of participants, while an increase in $CD10^+$ cells was noted in $21.66 \pm 0.77\%$.

CONCLUSION: The insufficient activity of T-lymphocytes, coupled with an increase in cytotoxic and natural killer cells, reflects a state of immune system strain. Additionally, reduced phagocytic activity and elevated $CD10^+$ lymphoproliferation contributes to a reduced reserve capacity of immune homeostasis.

Keywords: Arctic; lymphocyte phenotypes; phagocytic activity; immune responses.

To cite this article:

Morozova OS, Shchegoleva LS, Shashkova EYu, Filippova OE. Cellular immune responses in women living in the Arctic region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(6):447–455. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco629203>

Received: 18.03.2024

Accepted: 02.12.2024

Published online: 09.01.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco629203>

北极地区女性的细胞免疫反应

Olga S. Morozova, Lyubov S. Shchegoleva, Elizaveta Yu. Shashkova, Oksana E. Filippova

Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Arkhangelsk, Russia

摘要

背景。 北极地区的不利气候和生态条件会导致机体免疫状态的改变，降低对病原微生物的整体抵抗力，并可能引发多种超敏反应和自身免疫敏感化。在免疫系统的形成和发育过程中，这些变化可能导致儿童生长迟缓，而在成年人中则可能加速早衰。

研究目的。 评估居住在俄罗斯极北地区女性的外周血淋巴细胞表型分布及中性粒细胞吞噬活性。

材料与方法。 本研究分析了居住于俄罗斯联邦极北地区（阿尔汉格尔斯克州皮涅加镇）的60名健康女性的免疫状态。受试者的平均年龄为 47.76 ± 0.94 岁。淋巴细胞表型检测：采用间接免疫过氧化物酶法，使用单克隆抗体测定外周血中 $CD3^+$ 、 $CD5^+$ 、 $CD8^+$ 、 $CD10^+$ 、 $CD16^+$ 、 $CD71^+$ 、HLA-DR⁺ 细胞的比例。中性粒细胞吞噬活性评估：采用乳胶颗粒吞噬实验，计算吞噬活性（%），并根据吞噬指数（每100个中性粒细胞吞噬的乳胶颗粒数）评估吞噬强度。统计分析：免疫学参数的描述性统计（均值 \pm 标准误）。Spearman 秩相关系数用于非参数相关性分析。免疫参数失衡的比例基于异常浓度（高于或低于生理范围）的发生频率计算。数据分析使用 Statistica 10.0 和 Microsoft Excel 2010 进行处理。

结果。 研究发现，受试者的细胞免疫系统处于应激状态，表现为： $CD3^+$ T淋巴细胞（ $95.00 \pm 1.61\%$ ）和 $CD5^+$ T细胞（ $96.66 \pm 1.63\%$ ）活性降低；细胞毒性T细胞（ $CD8^+$ ）（ $53.33 \pm 1.20\%$ ）和自然杀伤细胞（ $CD16^+$ ）（ $48.33 \pm 1.14\%$ ）数量增加。这一免疫模式可能提示机体的免疫储备能力下降。此外， $20.00 \pm 0.73\%$ 的受试者表现出中性粒细胞吞噬活性降低； $21.66 \pm 0.77\%$ 的受试者 $CD10^+$ 细胞水平升高。

结论。 T 淋巴细胞活性不足，同时细胞毒性 T 细胞和自然杀伤细胞数量增加，表明免疫系统处于持续的紧张状态。吞噬活性的降低与 $CD10^+$ 细胞增殖水平升高相关，这可能进一步削弱免疫稳态的储备能力。

关键词： 北极；淋巴细胞表型；吞噬活性；免疫反应。

引用本文：

Morozova OS, Shchegoleva LS, Shashkova EYu, Filippova OE. 北极地区女性的细胞免疫反应. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(6): 447–455. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco629203>

收到: 18.03.2024

接受: 02.12.2024

发布日期: 09.01.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Неблагоприятные природно-климатические условия Арктики способствуют появлению у северян синдрома полярного напряжения и гипоксического синдрома, для которых характерны окислительный стресс, недостаточность детоксикационных и выделительных процессов, расстройство северного типа метаболизма, иммунная недостаточность, полиэндокринные расстройства, гиперкоагуляция крови, метеопатия, десинхроноз, психоэмоциональное напряжение [1, 2].

Система дыхания чувствительна к влиянию суровых климатических условий Севера (низкие температуры воздуха, полярный день, полярная ночь, особый ветровой режим, обусловленный высокой скоростью движения воздуха, высокая относительная и низкая абсолютная влажность воздуха, резкие перепады температуры, атмосферного давления, воздействие циклонов и антициклонов, частые космические и геомагнитные возмущения, особый фотопериодизм) [1, 3]. Длительное проживание северян в дискомфортных климатических и производственных условиях может вызывать истощение адаптационных резервов организма, что увеличивает риск возникновения заболеваний, в том числе профессиональных [4–6]. Варьирование показателей первичной заболеваемости направлено не только на лечение и профилактику, но и на выявляемость различных классов заболеваний [7–9]. Показано, что северные иммунодефициты развиваются не только у больных, но и у здоровых людей, способствуя снижению противоинфекционной защиты [10, 11].

О раннем сокращении резервов у человека на Севере свидетельствуют более высокий уровень заболеваемости, высокая частота распространённости дефектов иммунной защиты и связанных с ними заболеваний, значительное омоложение ряда болезней. Уровни некоторых нозологических форм болезней, формирование которых наиболее тесно связано с неблагоприятным климатом, чётко демонстрируют разницу в зависимости от степени дискомфорта (рахит, миопия, железодефицитная анемия) [12, 13].

В северных регионах под воздействием дискомфортных климатических факторов, неблагоприятной климато-экологической обстановки происходит перестройка некоторых параметров иммунного статуса со снижением общей резистентности к микроорганизмам, с появлением гиперчувствительности различных типов и аутосенсibilизации. В период формирования и развития иммунной системы это приводит к задержке развития у детей, а у взрослого населения — к преждевременному старению. Следовательно, изменения иммунной защиты связаны с сокращением резервных возможностей иммунной системы [12, 14, 15].

Механизмы адаптации иммунной системы жителей севера взаимосвязаны со снижением клеточного и гуморального звеньев иммунитета, они компенсируются

мобилизацией других систем организма, что чревато патологическими срывами [16, 17]. Это является проявлением реакции организма на климатогеографические условия проживания [18, 19].

Экстремальные условия являются риском для здоровья населения, проживающего на территории Крайнего Севера [20–22]. По результатам оценки уровней риска, формируемых для населения Крайнего Севера, установлены неприемлемые уровни, обусловленные болезнями системы кровообращения, органов дыхания, взаимосвязанные с влиянием индекса нормальной эквивалентно-эффективной температуры [23].

Иммунная система интегрально отражает состояние адаптивных механизмов, является диффузной, иммунокомпетентные клетки имеются во всех органах и тканях, их миграция, нахождение и функциональная активность зависят не только от степени их активизации и дифференцировки, но и от гемодинамики [24].

Показано, что в субарктических условиях (Архангельск) регуляция адаптивного иммунного ответа формируется В-лимфоцитами (CD22⁺) и естественными киллерами (CD16⁺). Отмечен сбалансированный клеточно-гуморальный тип иммунной реакции на фоне повышенной активности лимфопрлиферации [25]. Представляло интерес определить состояние иммунного фона у женского населения трудоспособного возраста Арктического региона с позиции изучения содержания в крови клеточных субпопуляций.

Цель исследования. Выявить содержание фенотипов лимфоцитов и фагоцитарную активность нейтрофилов у женщин на Крайнем Севере.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено в лаборатории физиологии иммунокомпетентных клеток ИФПА ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН им. акад. Н.П. Лаверова (Архангельск). Проведено одномоментное обследование 60 условно здоровых женщин, проживающих на Крайнем Севере Российской Федерации (п. Пинега Архангельской области) в экспедиционных условиях. Средний возраст обследованных женщин — 47,76±0,94 года.

Женщин обследовали в 9–10 ч утра, натощак. Забор крови проводили из вены в вакутайнеры с литий-гепарином фирмы «IMPROVACUTER». Все исследования осуществляли с учётом подписания информированного согласия пациентов на обследование и с соблюдением норм и правил биомедицинской этики (Хельсинкская декларация Всемирной медицинской ассоциации, 2013 г.). Исследование утверждено (протокол № 4 от 10 февраля 2022 г.) этическим комитетом ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН им. акад. Н.П. Лаверова. Работа выполнена в рамках государственного задания «Физиологическая значимость особенностей иммунного гомеостаза, функциональной и рецепторной активности иммунокомпетентных клеток

у людей в экстремальных меняющихся условиях среды с учётом профессионального статуса и социально-значимых заболеваний у жителей Приарктического региона» (№ 122011700267-5).

Дизайн исследования: наблюдательное аналитическое одномоментное. Способ отбора участников: простой случайный; выборка сплошная.

Обследование проводили в экспедиционных условиях (п. Пинега Архангельской области). В отборе приняли участие 69 женщин и 9 разновозрастных мужчин. В работу была взята выборка в количестве 60 человек женского пола. Согласно анкетным данным, все обследуемые женщины имеют оседлый образ жизни, часть из них работает в Пинежской районной больнице № 2, часть — в детских дошкольных учреждениях. Характер питания — смешанная пища.

Ограничения для участия в исследовании строго соблюдались и были перечислены в анкете:

- 1) отсутствие острых и хронических заболеваний на момент обследования по данным медицинской карты поселкового участкового врача;
- 2) отсутствие вредных привычек;
- 3) отсутствие онкопатологии.

Кроме того, предполагалось обследовать иммунный статус трудоспособных женщин от 39 до 59 лет с целью получения прогноза о состоянии здоровья женщин указанной возрастной категории, проживающих в экстремальных условиях севера.

Анкета включала вопросы о наличии образования у обследованных (среднее специальное, высшее), уровне материального благосостояния (низкий, средний, высокий), вопросы, касающиеся стажа работы, места работы, семейного положения, возраста, пола, характера питания, отсутствия хронических заболеваний, отсутствия вредных привычек.

Определяли концентрацию в периферической крови лимфоцитов с фенотипами CD3⁺, CD5⁺, CD8⁺, CD10⁺, CD16⁺, CD71⁺, HLADR⁺ с помощью непрямой иммунопероксидазной реакции с использованием моноклональных антител (НПЦ «МедБиоСпектр», Россия). При определении фагоцитарной активности гранулоцитов и фагоцитарного числа использовали латекс, активность клеток считали в процентах, интенсивность фагоцитоза — по фагоцитарному числу (количество латексных частиц, поглощённых одним нейтрофилом, на 100 клеток). Фагоцитарную активность и интенсивность фагоцитоза определяли с помощью тест-набора («Реакомплекс», Россия). Количество клеток подсчитывали в мазках крови с помощью иммерсионной микроскопии при увеличении $\times 100$ (Nikon Eclipse 50i).

Результаты исследования проводили с помощью пакетов прикладных программ Statistica 10.0, Microsoft Excel 2010.

Для каждого указанного иммунологического показателя представлены параметры описательной статистики: среднее арифметическое значение (M), стандартная

ошибка среднего (m). Взаимосвязь изучаемых показателей определяли с помощью непараметрического корреляционного анализа с применением коэффициента Спирмена (r). Процент дисбалансов иммунологических показателей рассчитывали по данным частоты встречаемости повышенных и пониженных концентраций с учётом пределов физиологического содержания [26].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Показатели концентрации фенотипов лимфоцитов в периферической крови, показатели фагоцитоза у обследованных женщин, а также частота регистрации дисбалансов представлены в табл. 1.

Проведённое комплексное иммунологическое исследование показало, что общее количество зрелых Т-лимфоцитов CD3⁺ и CD5⁺ в среднем составляет $0,47 \pm 0,02$ и $0,48 \pm 0,02 \times 10^9/\text{л}$ соответственно, что гораздо ниже общепринятых физиологических норм ($1,0\text{--}1,5 \times 10^9/\text{л}$ и $1,5\text{--}2,5 \times 10^9/\text{л}$). Дефицит содержания указанных клеток наблюдается у $95,00 \pm 1,61$ и $96,66 \pm 1,63\%$ обследованных женщин.

Пролиферативная активность — у верхней границы пределов содержания, средний показатель клеток CD10⁺ — $0,47 \pm 0,02 \times 10^9/\text{л}$; у $21,66 \pm 0,77\%$ женщин показатель CD10⁺ выше физиологической нормы. Определены прямые корреляционные связи клеток, способных к пролиферации: CD10⁺ и CD3⁺ ($r=0,72$; $p < 0,05$), CD10⁺ и CD5⁺ ($r=0,68$; $p < 0,05$).

Следует отметить, что для $53,33 \pm 1,20\%$ пациентов характерно высокое количество цитотоксических клеток CD8⁺, в среднем показатель составляет $0,49 \pm 0,03 \times 10^9/\text{л}$, что превышает общепринятые физиологические нормы ($0,2\text{--}0,4 \times 10^9/\text{л}$).

При анализе содержания натуральных киллеров CD16⁺ отмечено высокое количество клеток, в среднем — $0,53 \pm 0,03 \times 10^9/\text{л}$, что выше общепринятых физиологических норм ($0,25\text{--}0,5 \times 10^9/\text{л}$). У $48,33 \pm 1,14\%$ женщин среднее содержание CD16⁺ находится также выше общепринятых физиологических значений. Следует отметить, что повышенное содержание CD16⁺ ассоциировано со снижением количества Т-клеток CD3⁺ и CD5⁺.

В ходе корреляционного анализа определены сильные положительные связи между клетками CD16⁺ и CD10⁺ ($r=0,63$; $p < 0,05$); CD8⁺ и CD10⁺ ($r=0,69$; $p < 0,05$); CD8⁺ и CD16⁺ ($r=0,46$; $p < 0,05$).

Отмечена прямая корреляционная зависимость между цитотоксическими клетками и CD5⁺ ($r=0,68$; $p < 0,05$), цитотоксическими клетками и CD3⁺ ($r=0,47$; $p < 0,05$).

Отмечено низкое число клеток с рецептором к трансферрину (CD71⁺) — $0,49 \pm 0,02 \times 10^9/\text{л}$ ($0,5\text{--}1,0 \times 10^9/\text{л}$). У $51,66 \pm 1,19\%$ пациенток отмечено снижение показателя относительно нормативных значений.

Важно отметить, что наблюдается снижение числа активированных лимфоцитов (HLADR⁺) у $23,33 \pm 0,80\%$

Таблица 1. Состояние клеточного иммунитета женского населения Арктического региона ($M \pm m$)**Table 1.** The state of cellular immunity of the female population of the Arctic region ($M \pm m$)

Параметр Parameter	Уровень среднего содержания в крови, $\times 10^9/\text{л}$ The level of the average blood content ($\times 10^9/\text{l}$)		Частота регистрации дисбалансов, % Frequency of registration of imbalances (%)	
	$M \pm m$	Референтные значения Reference values	Избыток содержания Excess content	Дефицит содержания Lack of content
CD3 ⁺	0,47±0,02	1,0–1,5	0	95,00±1,61
CD5 ⁺	0,48±0,02	1,5–2,5	0	96,66±1,63
CD8 ⁺	0,49±0,03	0,2–0,4	53,33±1,20**	3,33±0,30
CD16 ⁺	0,53±0,03	0,25–0,50	48,33±1,14**	6,66±0,42
CD10 ⁺	0,47±0,02	0,05–0,60	21,66±0,77	0
CD71 ⁺	0,49±0,02	0,5–1,0	5,00±0,37	51,66±1,19**
HLADR ⁺	0,46±0,02	0,5–0,9	8,31±0,47	23,33±0,80*
Фагоцитарная активность, % Phagocytic activity (%)	52,10±1,04	<50	0	20,00±0,73
Фагоцитарное число Phagocytic number	5,03±0,14	1,0–8,0	0	0

* $p < 0,01$; ** $p < 0,001$ — статистическая значимость различий между дисбалансами повышенных и пониженных уровней.

* $p < 0,01$; ** $p < 0,001$ — statistical significance of the differences between the imbalances of elevated and lowered levels.

женщин. Среднее содержание HLADR⁺ находится на нижней границе физиологической нормы ($0,5–0,9 \times 10^9/\text{л}$) и составляет $0,46 \pm 0,02 \times 10^9/\text{л}$. Отмечена сильная корреляционная зависимость между CD71⁺ и CD16⁺ ($r=0,85$; $p < 0,05$), между CD71⁺ и CD8⁺ ($r=0,65$; $p < 0,05$).

Фагоцитарная активность у женщин находится на нижней границе пределов физиологических колебаний (<50%) и равняется $52,10 \pm 1,04\%$. В то же время у $20,00 \pm 0,73\%$ женщин наблюдается снижение показателя. Фагоцитарное число равняется $5,03 \pm 0,14$ микроорг./кл., в пределах физиологических колебаний (1–8 микроорг./кл.).

ОБСУЖДЕНИЕ

В группе женщин сельского населения Арктического региона зафиксировано напряжение клеточного иммунитета за счёт недостаточного уровня активности Т-лимфоцитов с рецепторами CD3⁺ и CD5⁺ ($95,00 \pm 1,61$ и $96,66 \pm 1,63\%$ женщин) на фоне повышения цитотоксических клеток CD8⁺ и натуральных киллеров CD16⁺ ($53,33 \pm 1,20$ и $48,33 \pm 1,14\%$ женщин), что указывает на снижение резервных возможностей иммунного гомеостаза. Отмечено снижение фагоцитарной активности у $20,00 \pm 0,73\%$ обследованных с одновременным увеличением CD10⁺ у $21,66 \pm 0,77\%$ женщин, что может предвещать риск возникновения вторичного экологически зависимого иммунодефицита.

Частота дисбалансов пониженного уровня содержания в крови процента зрелых Т-лимфоцитов и общей популяции Т-лимфоцитов у обследованных женщин довольно велика и находится в пределах $95,00–96,66\%$.

Дефицит Т-лимфоцитов является иммунологическим дефектом, характерным для Крайнего Севера. Низкий процент зрелых Т-лимфоцитов CD3⁺ и Т-клеток CD5⁺ тесно взаимосвязан с содержанием клеток, способных к пролиферации CD10⁺.

Высокие концентрации клеток CD8⁺ у обследованных характеризуют использование резервных возможностей организма. Дефицит активности реакций иммунокомпетентных клеток ассоциируется со снижением эффективности защиты. Это распространяется не только на воспалительные и дегенеративные процессы, но характерно и для иммунных реакции при интоксикации, стрессовых расстройствах [16, 24, 27].

Активность рецептора к трансферрину у $51,66 \pm 1,19\%$ женщин резко увеличивается при повышенной потребности внутриклеточного железа, тканевой гипоксии, в условиях недостаточности энергетического ресурса клетки, при регулировании роста клетки [28, 29].

В различных процессах лимфоциты сами начинают производить трансферрин (CD71⁺) или утилизируют железо трансферрин-независимым путём [16, 24].

Дефицит CD71⁺ ассоциирован с повышенным содержанием цитотоксических клеток CD8⁺ и натуральных киллеров CD16⁺. Адаптивный иммунный гомеостаз в субарктических климатических условиях (Архангельск) сформирован через клеточные механизмы с помощью активации процессов лимфопролиферации, взаимосвязанной с активностью HLADR⁺ и CD16⁺ и гуморального звена, путём активации В-лимфоцитов CD22⁺ [25].

Фагоцитарная активность нейтрофилов у жителей

Крайнего Севера снижена. Фагоцитоз является самым древним в филогенетическом отношении механизмом защиты, минимальный уровень активности фагоцитов — 50%. У $20,00 \pm 0,73\%$ людей наблюдается снижение показателя ниже 50%, что характерно для жителей Крайнего Севера. В иммунном ответе всё начинается и заканчивается фагоцитозом: фагоциты распознают чужеродные антигены, представляют их антиген-реактивным клеткам, а при завершении иммунной реакции уничтожают продукты деградации комплексов «антиген-антитело» [16]. Снижение фагоцитарной защиты имеет значение в развитии хронического воспаления, аутоиммунной патологии [30].

В работе не определена взаимосвязь между фагоцитарным числом и активированными лимфоцитами (HLADR⁺).

Полученные данные о снижении активности Т-лимфоцитов и увеличении количества цитотоксических клеток CD8⁺ характеризуют состояние иммунного гомеостаза обследуемых женщин как напряжённое. Увеличение цитотоксической активности ведёт к срыву резервных возможностей иммунного гомеостаза, что может способствовать развитию вторичного экологически зависимого иммунодефицита и в конечном плане влиять на повышенную восприимчивость к инфекциям и склонность к развитию хронических заболеваний.

Полученные результаты дополняют современные представления о физиологических механизмах у лиц, проживающих на севере Европейской территории Российской Федерации, и способствуют развитию адаптационной физиологии, а также открывают новые перспективы в развитии фундаментальной физиологической науки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование иммунных реакций практически здоровых женщин, проживающих на Крайнем Севере Российской Федерации (п. Пинега Архангельской области), показало, что их клеточный иммунитет характеризуется как напряжённый и определяется выраженным дефицитом Т-клеток с маркерами CD3⁺, CD5⁺ в 95–97% случаев. Низкое содержание указанных клеток в периферической крови обследуемых ассоциировано с дефицитом содержания Т-клеток с маркерами CD71⁺ — до 50% случаев. Полученные данные свидетельствуют о том, что дефицит всей Т-клеточной популяции CD5⁺, а также дефицит зрелых функционально активных Т-лимфоцитов CD3⁺ определяются повышенным уровнем активности лимфопротиперации CD10⁺ на фоне недостаточной активности клеток с рецепторами к трансферрину CD71⁺, что косвенно свидетельствует о возможной тканевой гипоксии у женщин Арктического региона. В то же время у обследуемых лиц выявлены повышенные уровни содержания цитотоксических клеток CD8⁺, CD16⁺ в 1,5–2 раза на фоне недостаточной активности процессов фагоцитоза в 20–53% случаев (в зависимости от показателя).

Выявленная недостаточная активность Т-лимфоцитов с одновременным увеличением концентрации цитотоксических клеток и натуральных киллеров указывает на напряжение в иммунной системе и сокращение резервных возможностей иммунного гомеостаза. Дефицит фагоцитарной активности ассоциирован с повышенным уровнем лимфопротиперации CD10⁺ и частотой его распространения, что может способствовать развитию вторичных экологически зависимых иммунных дисбалансов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Л.С. Щёголева — организация исследования, общее руководство, окончательное утверждение присланной в редакцию рукописи; О.С. Морозова — сбор анамнеза, лабораторные исследования, составление базы, анализ данных, проведение статистического анализа и первичное описание данных, подготовка первого варианта статьи; Е.Ю. Шашкова — сбор анамнеза, лабораторные исследования, составление базы, анализ данных, проведение статистического анализа и первичное описание данных, написание и редактирование текста статьи; О.Е. Филиппова — сбор анамнеза, лабораторные исследования, составление базы, анализ данных, проведение статистического анализа и первичное описание данных, написание и редактирование текста статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Работа выполнена по государственному заданию «Физиологическая значимость особенностей иммунного гомеостаза, функциональной и рецепторной активности иммунокомпетентных клеток у людей в экстремальных меняющихся условиях среды с учётом профессионального статуса и социально-значимых заболеваний у жителей Приарктического региона» (№ 122011700267-5).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информированное согласие на участие в исследовании. Все участники до включения в исследование добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. L.S. Shchegoleva — organization of research, general guidance, final approval of the manuscript sent to the editorial office; O.S. Morozova — collection of anamneses, laboratory studies, database compilation, data analysis, statistical analysis and primary description of data, preparation of the first version of the article; E.Yu. Shashkova — collection of anamneses, laboratory studies, database compilation, analysis data analysis and primary description of data, writing and editing the text of the article; O.E. Filippova — collection of anamneses, laboratory studies, database compilation, data analysis, statistical analysis and primary description of data, writing and editing the text of the article. All authors confirm that their authorship meets the international

ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding source. The work was performed within the framework of the state task "The physiological significance of the features of immune homeostasis, functional and receptor activity of immunocompetent cells in humans in extreme changing environmental conditions, taking into account professional status

and socially significant diseases in residents of the Arctic region" (No. 122011700267-5).

Competing interests. The authors confirm the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Patients' consent. Written consent was obtained from all the study participants before the study screening in according to the study protocol approved by the local ethic committee.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Gudkov AB, Degteva GN, Shepeleva OA. Ecological and hygienic problems in the Arctic territories of intensive industrial activity (review). *Public Health*. 2021;1(4):49–55. doi: 10.21045/2782-1676-2021-1-4-49-55 EDN: SMOJCE
- Panin LE. Fundamental problems of circumpolar and arctic medicine. *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2013;33(6):5–10. EDN: RSAUVD
- Avtsyn AP, Milovanov AP. Stages of adaptation of human lungs in conditions of Extreme North. *Human Physiology*. 1985;(3):389–399. (In Russ.)
- Gorbanev SA, Nikanov AN, Chashchin VP. Occupational medicine challenges in Russian Arctic area. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2017;(9):50–51. EDN: ZFQIXR
- Hasnulin V. Geophysical perturbations as the main cause of Northern human stress. *Alaska Med*. 2007;49(2 Suppl):237–244.
- Degteva G, Simonova N, Korneeva J. Professional adaptation of shift workers in oil and gas companies in the Arctic. *Society of Petroleum Engineers Arctic and Extreme Environments Conference and Exhibition*. 2014;(3):2558–2589. doi: 10.2118/171190-MS
- Savina AA, Feiginova SI, Son IM, Vaisman DS. Tendencies of incidence of the adult population of the Russian Federation. *Manager Zdravooohranenia*. 2021;(2):45–52. doi: 10.21045/1811-0185-2021-2-45-52 EDN: XCAARP
- Zagdyn ZM, Tsvetkov VV, Zhao Y. Impact of TB prevention measures and capacity of TB facilities on HIV/TB incidence in the Russian Arctic. *Journal of Medical and Biological Research*/2022;10(1):34–43. doi: 10.37482/2687-1491-Z088 EDN: GUKYKJ
- Duru OK, Mangione CM, Turk N, et al. The effectiveness of shared decision making for diabetes prevention: 24- and 36-month results from the prediabetes informed decision and education (PRIDE) trial. *Diabetes Care*. 2023;46(12):2218–2222. doi: 10.2337/dc23-0829
- Karpin VA, Gudkov AB, Usynin AF, Stolyarov VV. Analysis of the heliogeomagnetic anomaly influence on the inhabitants of the northern urbanized area. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2018;25(11):10–15. doi: 10.33396/1728-0869-2018-11-10-15 EDN: YNWBTV
- Gibson J, Adlard B, Olafsdottir K, et al. Levels and trends of contaminants in humans of the Arctic. *Int J Circumpolar Health*. 2016;75:33804. doi: 10.3402/ijch.v75.33804
- Dobrodeeva LK, Sergeeva EV. The state of the immune system in the aging process. Yekaterinburg: UrO RAN; 2014. (In Russ.) EDN: UKRZTD
- Shchegoleva LS, Sidorovskaya OE, Shashkova EYu, et al. The adaptive immune status in representatives of various social and professional groups of inhabitants of the European North of the Russian Federation. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2017;24(10):46–51. doi: 10.33396/1728-0869-2017-10-46-51 EDN: ZIPINF
- Filippova OE, Shchegoleva LS, Shashkova EYu, Dobrodeeva LK. Immunological reactivity in megalopolis residents. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021;28(1):11–16. doi: 10.33396/1728-0869-2021-1-11-16 EDN: YNPPRD
- Sergeeva TB, Morozova OS, Shashkova EYu, et al. Content of lymphocytes with markers cd8⁺ and cd95⁺ in women 40–60 years old in the Arctic region in normal and in pathology. *Journal of Ural Medical Academic Science*. 2021;18(3):209–216. doi: 10.22138/2500-0918-2021-18-3-209-216 EDN: OFSGCO
- Shchegoleva LS. Reserve capabilities of immune homeostasis in humans in the North. Yekaterinburg: UrO RAN; 2007. (In Russ.) EDN: QLQRXL
- Kuchin RV, Nenenko ND, Stogov MV, Bondareva AA. Immune status of indigenous residents of Ugra. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2022;(5-1):21–24. doi: 10.24412/2500-1000-2022-5-1-21-24 EDN: CBEDGN
- Xu X, Rioux T, Friedl K, et al. Development of interactive guidance for cold exposure using a thermoregulatory model. *Int J Circumpolar Health*. 2023;82(1):2190485. doi: 10.1080/22423982.2023.2190485
- Nash SH, Zimpelman GL, Miller KN, et al. The Alaska native tumour registry: fifty years of cancer surveillance data for Alaska native people. *Int J Circumpolar Health*. 2022;81(1):2013403. doi: 10.1080/22423982.2021.2013403
- Rastokina TN, Peshkova AA, Unguryanu TN. Ambient air quality and risk of circulatory diseases for population of a large city in the European North of Russia. *Health Risk Analysis*. 2024;(3):4–12. EDN: FHIJAA doi: 10.21668/health.risk/2024.3.01
- Adlard B, Bonefeld-Jørgensen EC, Dudarev AA, et al. Levels and trends of persistent organic pollutants in human populations living in the Arctic. *Int J Circumpolar Health*. 2024;83(1):2392405. doi: 10.1080/22423982.2024.2392405
- Thirumalai K, DiNezio PN, Partin JW, et al. Future increase in extreme El Niño supported by past glacial changes. *Nature*. 2024;634(8033):374–380. doi: 10.1038/s41586-024-07984-y
- Shur PZ, Kiryanov DA, Kamaltdinov MR, Khasanova AA. Assessing health risks caused by exposure to climatic factors for people living in the Far North. *Health Risk Analysis*. 2022;(3):53–62. doi: 10.21668/health.risk/2022.3.04 EDN: USJNAG
- Dobrodeeva LK, Patrakeeva VP. The influence of migration and proliferative processes of lymphocytes on the state of the immune background of a person living in high latitudes. Yekaterinburg: UrO RAN; 2018. (In Russ.) EDN: UPAJZA

25. Kabbani MS. *Phenotypic features of immune homeostasis in residents of different climatogeographic regions* [dissertation abstract]. Arkhangelsk; 2024. 24 p. (In Russ.)
26. Dobrodeeva LK, Shchegoleva LS. Limits of the content of lymphocytes, cytokines and immunoglobulins in the blood serum of residents of the Arkhangelsk region. Arkhangelsk: Publishing Center of SSMU; 2005. (In Russ.) EDN: TWYHQB
27. Feng B, Bai Z, Zhou X, et al. The type 2 cytokine Fc-IL-4 revitalizes exhausted CD8⁺ T cells against cancer. *Nature*. 2024;634(8034):712–720. doi: 10.1038/s41586-024-07962-4
28. Zhang D, Duque-Jimenez J, Facchinetti F, et al. Transferrin receptor targeting chimeras for membrane protein degradation. *Nature*. 2024 Sep 25. doi: 10.1038/s41586-024-07947-3
29. Patrakeeva VP, Dobrodeeva LK, Geshavec NP. Relationship of changes in hematological and biochemical indicators of peripheral blood with the transferrin concentration and CD71⁺ lymphocyte count. *Siberian Journal of Life Sciences and Argiculture*. 2022;14(1):419–435. doi: 10.12731/2658-6649-2022-14-1-419-435 EDN: KKYNIU
30. Osterman I, Samra H, Rousset F, et al. Phages reconstitute NAD⁺ to counter bacterial immunity. *Nature*. 2024;634(8036):1160–1167. doi: 10.1038/s41586-024-07986-w

ОБ АВТОРАХ

***Морозова Ольга Сергеевна**, канд. биол. наук;
адрес: Россия, 163000, Архангельск, пр. Ломоносова, д. 249;
ORCID: 0000-0002-9587-2500;
eLibrary SPIN: 2965-1478;
e-mail: olia.morozow2011@yandex.ru

Щёголева Любовь Станиславовна, д-р биол. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-4900-4021;
eLibrary SPIN: 6859-2123;
e-mail: shchegoleva60@mail.ru

Шашкова Елизавета Юрьевна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0002-1735-6690;
eLibrary SPIN: 8137-0571;
e-mail: eli1255@ya.ru

Филиппова Оксана Евгеньевна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0001-6117-0562;
eLibrary SPIN: 8507-7525;
e-mail: oxana_filippova_85@mail.ru

AUTHORS' INFO

Olga S. Morozova, Cand. Sci. (Biology);
Address: 249 Lomonosov ave, Arkhangelsk, Russia, 163000;
ORCID: 0000-0002-9587-2500;
eLibrary SPIN: 2965-1478;
e-mail: olia.morozow2011@yandex.ru

Lyubov S. Shchegoleva, Dr. Sci. (Biology), Professor;
ORCID: 0000-0003-4900-4021;
eLibrary SPIN: 6859-2123;
e-mail: shchegoleva60@mail.ru

Elizaveta Yu. Shashkova, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0002-1735-6690;
eLibrary SPIN: 8137-0571;
e-mail: eli1255@ya.ru

Oksana E. Filippova, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0001-6117-0562;
eLibrary SPIN: 8507-7525;
e-mail: oxana_filippova_85@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco627883>

The influence of attitudes and social norms on seeking psychological help among Russian adults

Sergey Tkach, Veronika A. Odinkova, Olga I. Burdina

Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: In Russia, the rising prevalence of psychological distress potentially leads to reduced work capacity, a lower quality of life, and an increased risk of suicidal behavior. The utilization of psychological services remains low, necessitating further research to enhance the effectiveness of mental health disorder prevention and suicide prevention strategies.

AIM: To assess the influence of attitudes and social norms on seeking psychological help among Russian adults.

MATERIALS AND METHODS: The study included residents of Saint Petersburg aged 18 and older and was conducted through a computer-assisted telephone interview (CATI). The survey focused on experiences with seeking psychological help and attitudes toward it. The sample, comprising 1,200 participants, was representative of gender and age distribution, in accordance with St. Petersburg demographic data provided by Rosstat. The survey was conducted in July 2023. Factors influencing help-seeking behavior were analyzed using binary logistic regression.

RESULTS: Key factors influencing the decision to seek psychological help were identified. These included gender, age, and social norms, which manifested in the perceived prevalence of psychological help-seeking among acquaintances and expectations of social approval. Additionally, attitudes toward psychological help played a significant role, particularly perceptions that such assistance is only necessary for individuals with mental illnesses or those of high financial status.

CONCLUSION: The findings indicate a need to increase psychological help-seeking rates, considering the specific needs of different social groups, particularly men and older adults. This underscores the importance of destigmatization efforts and informational campaigns aimed at raising awareness about the accessibility and effectiveness of psychological services.

Keywords: psychological help; help-seeking behavior; social norms; attitude.

To cite this article:

Tkach S, Odinkova VA, Burdina OI. The influence of attitudes and social norms on seeking psychological help among Russian adults. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(6):456–467. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco627883>

Received: 01.03.2024

Accepted: 05.12.2024

Published online: 12.01.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco627883>

Влияние установок и социальных норм на обращение за психологической помощью среди взрослого населения России

С. Ткач, В.А. Одинокова, О.И. Бурдина

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В России наблюдается рост психологического неблагополучия, что потенциально влечёт за собой снижение трудоспособности, качества жизни и повышенную вероятность суицидальной активности. Обращение населения за психологической помощью в России остаётся низким и требует дополнительных исследований для повышения эффективности профилактики психических расстройств и суицидального поведения.

Цель. Оценить влияние установок и социальных норм на обращение за психологической помощью среди взрослого населения России.

Материалы и методы. Исследование охватило жителей Санкт-Петербурга старше 18 лет и было проведено с использованием телефонного опроса по системе CATI. Опрос фокусировался на опыте обращения за психологической помощью и отношении к ней. Выборка, включающая 1200 человек, была репрезентативной по полу и возрасту. Репрезентативность достигалась в соответствии со статистическими данными о половозрастном составе жителей Санкт-Петербурга, представленными в сборнике Росстата. Опрос проведён в июле 2023 г. Анализ факторов, влияющих на обращение за психологической помощью, выполнен с использованием бинарной логистической регрессии.

Результаты. Выявлены ключевые факторы, влияющие на обращение за психологической помощью. К ним относятся пол, возраст, а также социальные нормы, которые проявляются в оценках распространённости обращения за психологической поддержкой среди знакомых и ожиданиях одобрения такого обращения. Кроме того, на решение обратиться за психологической помощью влияют установки, связанные с восприятием её как необходимой только для людей с заболеваниями, психическими расстройствами или высоким уровнем благосостояния.

Заключение. Результаты исследования свидетельствуют о необходимости увеличения числа обращений за психологической помощью, учитывающей специфику различных социальных групп, включая мужчин и старшее поколение. Это подчёркивает важность проведения мероприятий по дестигматизации психических расстройств и информационных кампаний, направленных на повышение осведомлённости о доступности и эффективности психологической помощи.

Ключевые слова: психологическая помощь; обращение за психологической помощью; нормы; установки.

Как цитировать:

Ткач С., Одинокова В.А., Бурдина О.И. Влияние установок и социальных норм на обращение за психологической помощью среди взрослого населения России // Экология человека. 2024. Т. 31, № 6. С. 456–467. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco627883>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco627883>

俄罗斯成年人寻求心理帮助的态度及社会规范的影响

Sergey Tkach, Veronika A. Odinkova, Olga I. Burdina

Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

摘要

背景。近年来，俄罗斯社会中心理困扰（psychological distress）问题日益突出，这不仅可能导致劳动能力下降和生活质量降低，还可能增加自杀行为的风险。然而，心理健康服务的利用率仍然较低，因此，有必要进一步研究如何提高心理疾病预防和自杀预防措施的有效性。

研究目的。评估态度和社会规范对俄罗斯成年人心理帮助寻求行为的影响。

材料与方法。本研究针对圣彼得堡 18岁及以上的居民，采用计算机辅助电话访谈（Computer-Assisted Telephone Interviewing, CATI）系统进行调查。调查内容包括个人寻求心理帮助的经历及其对心理帮助的态度。样本量：1,200人。抽样方法：依据俄罗斯联邦统计局（Rosstat）提供的圣彼得堡人口年龄和性别数据进行代表性抽样。调查时间：2023年7月。统计分析：采用二元逻辑回归分析（Binary Logistic Regression）评估影响心理帮助寻求行为的因素。

结果。研究发现，性别、年龄及社会规范是影响心理帮助寻求行为的关键因素。社会规范：个体对其社交圈成员是否寻求心理帮助的认知，以及对社会支持和认可的期望，均对其行为产生影响。态度因素：个人对心理帮助的主观认知也起到了重要作用，尤其是将心理帮助视为仅适用于精神疾病患者或经济状况较好人群的观点，会显著降低寻求心理帮助的可能性。

结论。研究结果表明，需要提高心理帮助的利用率，尤其是针对男性和老年群体。这进一步凸显了去污名化工作的必要性，并强调了开展心理健康宣传活动的重要性，以提升公众对心理帮助的可达性和有效性的认知。

关键词：心理帮助；心理健康服务利用；社会规范；态度。

引用本文：

Tkach S, Odinkova VA, Burdina OI. 俄罗斯成年人寻求心理帮助的态度及社会规范的影响. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(6):456–467. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco627883>

收到: 01.03.2024

接受: 05.12.2024

发布日期: 12.01.2025

BACKGROUND

Recent years in Russia have seen a significant increase in the proportion of people with mental disorders¹. By 2023, the proportion of respondents experiencing depression symptoms reached 39%, and 23% of those surveyed reported symptoms of uncontrollable anxiety [1]. Prior studies also indicated high levels of psychological issues in society. For example, in 2018, approximately 40% of the adult population in Vologda Region reported symptoms of anxiety, depression, and neurosis [2]. This concerning trend has been linked to various factors, including the COVID-19 pandemic (2020–2021) [3], escalating international tensions, and increased perceptions of future uncertainty [4].

WHO mental health studies highlight the issue of unmet mental health needs, manifested by low utilization rates of relevant services [5]. Unmet needs prolong the period during which individuals live with the burden of poor mental health and are associated with higher disability rates, reduced quality of life, and increased likelihood of suicidal ideation and attempts.

Studies on seeking psychological help typically examine four primary sources of psychological and emotional support: professional (psychologists, psychotherapists, and other specialists), alternative (religious leaders, fortune-tellers, psychics, etc.), close social networks (family, friends), and self-help (obtaining information and support through books and the Internet) [6]. Surveys among the Russian population indicate that psychological challenges are most commonly overcome with support from relatives and friends. When explaining refusal of professional help, Russians cite stoicism, distrust of psychologists, and perceptions of high cost and ineffectiveness of services². A significant portion of the population prefers managing psychological challenges with antidepressants and sedatives [7], likely due to rapid and pronounced symptomatic relief. Actual adult help-seeking rates remain low. According to the Russian Public Opinion Research Center, only 12% sought psychological help in 2022³. According to HSE University reports, 5.2% sought help in 2022, which is almost similar to the 2021 rates (5.3%) [7]. Help-seeking is more common among youth, women, and university-educated individuals⁴. The gap between recognized mental health issues and professional help utilization is likely to widen.

According to modern concepts, seeking psychological help represents the pursuit of external support to cope with mental health-related issues [8]. While no universally accepted theory or model exists in this domain, the Theory of Planned Behavior developed by Ajzen [9] is considered the predominant approach for explaining factors influencing psychological help-seeking [10, 11]. Of note is that research typically analyzes three core components of this process: help-seeking readiness (primarily determined by attitudes), intention (conscious plan to seek help), and behavior (actual help-seeking actions) [6]. Eritsyana et al. examined barriers and drivers of psychological help-seeking among young adults in general education using the Theory of Planned Behavior [12]. This study confirmed the impact of subjective standards: stronger belief in approval from significant others correlates with greater help-seeking intention. Anikina et al. report that gender socialization contributes to help-seeking behaviors [13], noting that masculinity correlates with denying the need for support. Additionally, men demonstrate lower mental health literacy, further negatively impacting their intention to seek help when needed. Studies on seeking psychotherapeutic help [9, 10] reveal that attitudes (e.g., beliefs about psychotherapy's safety and efficacy), social norms (experiences with and attitudes toward therapy of a person's close ones), and prior personal therapy experience significantly influence this process.

The extent to which anticipated social reactions actually impact help-seeking behavior when considering other factors remains understudied. To better understand societal attitudes toward psychological help and help-seeking practices, research must identify facilitating and impeding factors.

AIM To assess the influence of attitudes and social norms on seeking psychological help among the adult population in Russia.

METHODS

Study Design

This is a cross-sectional study. Empirical data were collected through a structured telephone survey of individuals aged 18 years and older permanently residing in St. Petersburg.

The theoretical framework is the Theory of Planned Behavior. Table 1 shows the variables analyzed (dependent and independent) alongside question wordings. The tool used was an original questionnaire specifically developed for this research.

According to the Theory of Planned Behavior, social norms denote perceived social pressure regarding whether to perform a particular behavior. Subjective norms help individuals evaluate their social circle's views on this behavior, which may either encourage or deter it [9]. Grounded in this definition, statements were developed to assess acquaintances' help-seeking experiences and attitudes toward help.

¹ Russia is facing an increase in mental health issues [Internet]. Available at <https://www.vesti.ru/article/3593532> Accessed on June 26, 2024.

² Who do people seek mental health help from? [Internet]. Available at <https://fom.ru/Obraz-zhizni/14183> Accessed on February 26, 2024.

³ Seeking for mental health help [Internet]. Available at <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/v-poiskakh-psikhologicheskoi-pomoshchi> Accessed on February 26, 2024.

⁴ Analyze it: why are Russians seeking psychological help more often? [Internet]. Available at <https://wciom.ru/expertise/analizirui-eh-to-pochemu-rossijane-stali-chashche-obrashchatsja-k-psikhologam> Accessed on February 26, 2024.

Within this theory, attitude is defined as an individual's positive or negative evaluation of performing the specific action. This is reflected in the following statements: «help is only accessible to the wealthy», «only people with disorders seek help», «psychological help is infallible», «belief in magic».

Eligibility Criteria

The sample population comprised 1,200 residents of St. Petersburg—a group representative by sex and age: the mean age was 46.1 years (SD = 15.6), with 45% men and 55% women. Table 2 shows sex-age group proportions in the sample population matching those of the general population during the study year. Representativeness was achieved according to St. Petersburg residents' official sex-age statistics from Rosstat publications [14].

The CATI (Computer Assisted Telephone Interview) system was used for data collection. The survey was conducted at St. Petersburg State University Center for Applied Sociology, focusing on psychological help-seeking experiences, help-seeking practices, significant others' attitudes toward psychological help, and respondents' overall attitudes toward psychological help. Interviews were performed throughout July 2023. The study did not collect personal information, and random digit dialing (post area code/carrier prefix) was implemented.

Sample size calculation principles: the sample size was calculated for a 2.83% confidence interval and 95% confidence probability; sex and age were representativeness parameters; sex-age composition was determined using current Rosstat data.

Statistical methods: binary logistic regression identified psychological help-seeking predictors. The analysis was conducted in SPSS statistical package. The differentiation criterion was respondent answers to «Have you ever consulted a psychologist?» («yes, multiple times/yes, once» = 1; «no» = 0). Significance of intergroup differences (help-seekers vs. non-help-seekers) was assessed using Pearson's chi-square test.

To generate binary logistic regression consistent with theoretical model assumptions and those outlined in the sources review, the following independent variables were included: sex, age, education, minor children, income, social norms, and attitudes toward psychological help.

RESULTS

Participants

The age ranged from 18 to 79 years, with a median age of 44 years. The respondent education was distributed as follows: 14.8% had secondary professional education, 68.9% had higher education, and the rest had secondary general education or below. A total of 47.4% were employed, 15.3% were pensioners, 20.1% were self-employed, and 3.2% were students. One-third of respondents (33.0%) had

minor children. Financial well-being indicators revealed the following: approximately 2.0% reported lacking sufficient funds for basic food, 9.0% could afford only food expenses, 12.0% had sufficient means for both clothing and food, nearly 41.0% could purchase small household appliances, 29.0% could afford major appliances, and approximately 7.0% could make substantial purchases (e.g., a car or property).

Primary Results

Regarding changes in psychological state over the past year, 38.2% reported no change, 43.5% indicated it «rather worsened» or «significantly worsened,» and 16.6% noted it «significantly improved» or «rather improved». A total of 15.4% currently require psychological help; 38.2% ever consulted a psychologist (including 11.5% single-session users); 20.8% attended psychologist for several sessions within ≤1 month/several months; 5.4% attended psychologist for ≥1 year.

A significant place among help-seeking sources for psychological support is held by professional help. Family members (33.8%), partner/spouse (29.6%), psychologist/psychotherapist (28.2%) were those to turn to in case of mental health issues and life challenges. Spiritual and paranormal support options were relevant for <8.0%. A total of 18.4% would not seek any help.

Primary reasons for the latest psychologist consultation included anxiety/depressive symptoms (28.2% of help-seekers), partner relationship issues (19.6%), parent-child dynamics (13.7%), personal growth and self-development (16.6%), and relations with parents or other older relatives (11.1%).

Paid psychological services predominated (57.7%), followed by free access (28.1%); 13.3% used both modalities. Most help-seekers reported full (39.0%) or partial (27.0%) satisfaction with received services during their last consultation. Table 3 shows descriptive statistics for the dependent variable and its associations with independent variables.

Approximately $\frac{2}{5}$ residents of Saint-Petersburg indicated their acquaintances hold positive/rather positive views toward psychological help; 63.0% reported acquaintances who sought such help. The prevailing belief towards seeking psychological help agrees with the statement that such help is accessible only to the wealthy (32.0% of responders). Approximately $\frac{1}{10}$ of responders believe that psychological help is sought by people with mental disorders (12.0%). The same proportion (13.0%) believes in magic. In contrast, every third respondent (31.0%) expressed confidence in psychological help infallibility.

Attitudes towards psychological help demonstrated the most significant differences between help-seekers and non-help-seekers. Notably, respondents who consulted psychologists exhibited a realistic outlook on psychological help efficacy: they less frequently endorsed beliefs about psychological help being infallible or exclusively accessible to the wealthy. The «psychological help is accessible only to the wealthy» belief did not significantly differ between help-seekers and

Table 1. Variables used in analysis, question and answer wordings

Variables	Question wording	Options
Independent		
Acquaintances' attitude toward seeking help	How do you think most people you know would feel if you went to a psychologist for counseling?	1 — rather approve; approve 0 — disapprove; rather disapprove; neutral attitude
Help-seeking experience of your friends	Have sought or are seeking psychological help	1 — some friends; many friends; 0 — nobody or almost nobody among my friends
Help is only accessible to the wealthy	High-quality psychological help is only accessible to the wealthy	1 — completely agree; rather agree; 0 — rather disagree; completely disagree
Only people with disorders seek help	Only people with mental disorders seek psychological help	1 — completely agree; rather agree; 0 — rather disagree; completely disagree
Psychological help is infallible	Psychological help cannot make the situation worse, it will only make it better	1 — rather disagree; completely disagree; 0 — completely agree; rather agree
Belief in magic	Do you believe that you can influence the fate, health or solve problems using witchcraft or magic?	1 — absolutely believe; rather believe; 0 — rather disbelieve; absolutely disbelieve
Controls		
Higher education	What is your current educational level?	1 — higher education; 0 — basic general education; secondary general education; secondary professional education
Minor children	Do you have minor children (under 18 years of age)?	1 — yes; 0 — no
Female sex	Instructions for an interviewer: Mark the respondent's gender	1 — female; 0 — male
High and middle income	Evaluate general income of your family (your family means all people you are living with)	1 — I have enough money to buy small household appliances, but have to save for major purchases; I have enough money to buy something major, but have to save for a car or property; I have enough money to buy a car or property; 0 — I don't have enough money to buy foods and clothing; I have enough money to buy foods, but buying clothing is something challenging; I have enough money for foods and clothing, but not for small household appliances
Age above the median	Specify your age (age at last birthday)	1 — 44 years and older; 0 — 44 years and younger
Dependent		
Seeking psychological help	Have you ever consulted a psychologist?	1 — yes, multiple times; yes, once; 0 — no, I have not

Table 2. Sex-age respondent composition, %

Gender	Population	Age (years)					
		18–25	26–35	36–45	46–55	56–65	66–79
Males	Study sample	4.25	10.67	10.25	7.75	7.08	5.00
	St. Petersburg	4.21	10.68	10.21	7.79	7.08	5.02
Females	Study sample	4.42	11.00	10.83	8.83	10.25	9.67
	St. Petersburg	4.43	10.96	10.85	8.86	10.24	9.65

Table 3. Descriptive statistics of the variables used in the analysis and their differences for different categories of the dependent variable, Pearson's chi-square test (seeking psychological help)

Variables	Overall for the sample, <i>n</i> (%)	Yes, repeatedly; yes, once, <i>n</i> (%)	No, I didn't have to, <i>n</i> (%)	The significance of differences, <i>p</i> -value
Acquaintances' attitude toward seeking help	452 (37.7)	227 (49.5)	225 (30.4)	43.997 <0.001
Help-seeking experience of your friends	757 (63.1)	360 (78.4)	397 (53.6)	75.187 <0.001
Help is only accessible to the wealthy	385 (32.1)	385 (33.3)	232 (31.3)	0.533 0.465
Only people with disorders seek help	145 (12.1)	26 (5.7)	119 (16.1)	28.829 <0.001
Psychological help is infallible	367 (30.6)	165 (35.9)	202 (27.3)	10.075 <0.001
Belief in magic	152 (12.7)	66 (14.4)	86 (11.6)	1.970 0.095
Higher education	827 (68.9)	323 (70.4)	504 (68.0)	0.733 0.214
Minor children	396 (33.0)	167 (36.4)	229 (30.9)	3.849 0.029
High and middle income	789 (65.8)	310 (67.5)	479 (64.6)	1.055 0.167
Female sex	660 (55.0)	321 (69.9)	339 (45.7)	66.987 <0.001
Age above the median	602 (50.2)	266 (58.0)	336 (45.3)	18.022 <0.001

non-help-seekers. Psychological help-seeking predominated among younger individuals, women, and child-rearing respondents. Education level and income demonstrated no statistically significant differences between help-seekers and non-help-seekers.

A logistic regression model (Table 4) explaining 18.6% of dependent variable variance was used to analyze the correlation between the factors selected and help-seeking experiences. The result demonstrated that significant predictors for help-seeking include sex (OR = 2.576; $p < 0.001$), age (OR = 1.404; $p = 0.015$), acquaintances' positive attitudes toward psychological help (OR = 1.545; $p = 0.001$), and acquaintances' help-seeking experience (OR = 2.366; $p < 0.001$). The model indicates greater help-seeking probability among women, older individuals, those with acquaintances holding favorable psychological help attitudes, and those with acquaintances experienced in help-seeking. Attitudes toward psychological help emerged as significant predictors. Help-seekers were less likely to agree with the statement that «psychological help is only for people with mental disorders» (OR = 0.479; $p < 0.001$). Belief in the potential fallibility of psychological help positively influenced help-seeking (OR = 1.370; $p = 0.024$).

DISCUSSION

Key factors influencing psychological help-seeking identified in the study include sex, age, social norms (reflected in respondents' assessments of help-seeking prevalence among acquaintances and expectations of approval should they seek help), and attitudes rejecting beliefs that psychological help is sought exclusively by people with illnesses or mental disorders or that psychological help is always beneficial.

These findings align with international and Russian psychological help-seeking research. Particularly, Cheng et al. [15] demonstrated that male sex and attitudes toward psychological help negatively correlate with help-seeking intentions. Türküm [16] reports significant gender differences in help-seeking readiness among Turkish university students. Traditional masculinity norms, including stoicism and emotional restraint, likely constitute major barriers to professional help-seeking. Studies show that this effect is particularly pronounced among men groups experiencing multiple vulnerabilities (refugees, migrants, low-income individuals, long-term unemployed, health-stigmatized groups, etc.) [17].

Social norms reflected in assessments of respondents in terms of the prevalence of help-seeking behaviors among

Table 4. Regression models for help-seeking factors (Nagelkerke R² = 18.6)

Variables	B	Standard error	Wald Criterion	p-value	Odds ratio
Female sex	0.946	0.135	49.411	<0.001	2.576
Friends approve seeking psychological help	0.435	0.134	10.478	0.001	1.545
Friends have help-seeking experience	0.861	0.151	32.722	<0.001	2.366
Agree that help is only accessible to the wealthy	0.056	0.138	0.166	0.684	1.058
Agree that only people with disorders seek help	-0.737	0.242	9.282	0.002	0.479
Agree that psychological may fail	0.315	0.140	5.091	0.024	1.370
Believe in magic	0.198	0.192	1.063	0.303	1.219
Have higher education	-0.178	0.147	1.460	0.227	0.837
Have minor children	-0.050	0.144	0.123	0.726	0.951
Have high or middle income	-0.054	0.142	0.148	0.701	0.947
Age above the median	0.339	0.139	5.932	0.015	1.404
Constant	-2.795	0.282	98.556	<0.001	0.061

Note. Method: binary logistic regression adjusted for all variables; direct step-by-step method.

acquaintances and anticipated approval are supported by studies focusing on the Russian young population. Eritsyana et al. [12] found peer approval expectations (but not peers' actual help-seeking) were associated with predicted intentions to seek help among Russian students. These differences were largely mitigated among adult respondents in our study. Moreover, perceived help-seeking prevalence among acquaintances emerged as a stronger predictor in our regression model than anticipated approval or disapproval. These patterns may reflect generational differences in attitudes toward psychological help and distinct social norm influences on adolescent versus adult behavior.

Approximately one-third of survey respondents reported actual psychological help-seeking behavior, indicating relatively high help-seeking rates. This help-seeking experience among St. Petersburg residents significantly exceeds 5.2%–12.0% rates documented in Russian national surveys by the Public Opinion Foundation and Russian Public Opinion Research Center. Enhanced environmental accessibility encompassing financial and geographical service availability appears to play a major role for St. Petersburg citizens. In this region, free psychological services are rendered through municipal polyclinics, hospitals, multidisciplinary medical centers, family and childhood support centers, and psychological hotlines⁵. Paid psychological services are available via non-governmental medical centers, independent practitioners, and online platforms.

Topkaya's research [18] agrees with our findings regarding psychological help not being exclusively for individuals

with disorders. However, while Topkaya identifies optimism about psychological help as a facilitating factor, our respondents rejected beliefs of its invariably beneficial nature. This difference may stem from Topkaya's methodology. Topkaya's interviews included not only questions regarding the views on psychological help but also its benefits with requests for specific examples. Such contextual framing may have influenced participants' interpretations of benefit-related questions.

In our study, young and middle-aged women (18–44 years) were the most frequent help-seeking age group. International research on barriers to help-seeking among older adults yields conflicting results. On one hand, studies indicate that help-seeking is habitual for older generations, who display minimal stigma-related concerns [19]. We suppose that in Russia, reduced help-seeking among older adults may stem from limited mental health literacy, stigma, and fears of losing independence or life control upon acknowledging psychological needs [20].

Our cross-sectional design precluded help-seeking intentions, a critical precursor to actual behavior. However, a systematic review of 49 studies established subjective norms as statistically significant predictors of help-seeking intentions in 23 studies (59.0%); additionally, 7 of 8 studies examining intention-behavior links confirmed statistically significant associations [6].

Study Limitations

Geography is among key study limitations. While the observed effects may exist in other Russian cities, their magnitude likely applies specifically to St. Petersburg residents. Telephone surveys as a data collection tool limited both questionnaire length and response options for specific questions due to heightened refusal risks and auditory processing

⁵ Mental health services [Internet]. Available at <https://gorzdrav.spb.ru/information/content/poleznaya-informatsiya/kontakty/psihologicheskie-sluzhby> Accessed on February 26, 2024.

difficulties with complex scales. The mere fact of seeking help does not indicate that the respondent's issue has been addressed. We excluded other factors influencing help outcomes: service quality, client adherence to recommendations, treatment completion, therapy selection methods, etc. A total of 13,644 individuals participated in the survey, with 12,444 refusing participation at various stages and 1200 completing the full survey. These methodological drawbacks combined with the inability to account for non-participants' perspectives constitute significant study limitations. Additionally notable is our replacement of standardized scales with more flexible variables assessing self-perceived psychological state, social norms, and attitudes toward psychological help.

CONCLUSION

The study findings yield several practical implications. Understanding of identified factors (sex, age, and social

norms) will optimize programs promoting psychological help-seeking. Particularly, interventions should specifically target sex and age groups to broaden the coverage.

Recognizing the critical role of social approval in help-seeking underscores the need to destigmatize mental health challenges and cultivate environments where seeking support is socially endorsed. Attitudes toward psychological help revealed in results may provide foundations for awareness campaigns dispelling myths about mental health help. Such campaigns can engage diverse social groups to enhance understanding of psychological help's accessibility and benefits. Future research should explore barriers to help-seeking through in-depth interviews and standardized instruments measuring psychological needs, attitudes, and norms. Although our analysis shows women seek psychological help more frequently, it does not directly investigate explanatory factors for this correlation. Detailed examination of these factors represents another perspective for further research.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. S. Tkach — design of survey methods, description and interpretation of results, discussion, literature review; V.A. Odnokova — statistical analysis, description and interpretation of results, discussion, literature review; O.I. Burdina — literature review, problem statement, discussion. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding source. The authors acknowledge Saint Petersburg State University for a research project 121062300141-5.

Competing interests. The authors confirm the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Patients' consent. Verbal consent was obtained from all the study participants before the study.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. С. Ткач — проектирование опросных методик, описание и интерпретация результатов, дискуссия, обзор литературы; В.А. Одинокова — проведение статистического анализа, описание и интерпретация результатов, дискуссия, обзор литературы; О.И. Бурдина — обзор литературы, постановка проблемы, дискуссия. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Работа выполнена при поддержке Санкт-Петербургского государственного университета, проект 121062300141-5.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информированное согласие на участие в исследовании. Все участники до включения в исследование давали добровольное устное согласие.

REFERENCES | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shirov AA, Nestik TA, Neverov AN, et al. Analysis of the psychological state of society and forecast of its dynamics in 2024. In: Quarterly forecast of GDP. Vol. 60. Moscow: INP RAS; 2023. P. 7–16. (In Russ.)
2. Shmatova JE. Dynamics of statistical and sociological indicators of mental health of the Russian population. *Problems of Territory's Development*. 2019;(3):76–96. doi: 10.15838/ptd.2019.3.101.5 EDN: MHDYHX
3. Eritsyanyan KYu, Ruskova MM, Aleksandrova AA, Usacheva NM. Surviving a lockdown: changes in employment and psychological well-being of the population in the pandemic era. *Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes*. 2021;(3):250–270. doi: 10.14515/monitoring.2021.3.189 EDN: UNWWNK
4. Peshkovskaya AG, Galkin SA, Larionova AV, Kornetov AN. Prevalence of generalized anxiety disorder symptoms and their associations with behavioral attitudes and perception of the future in the Russian youth. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2023;22(3):68–73. doi: 10.20538/1682-0363-2023-3-68-73 EDN: JIOGAD
5. Wang PS, Aguilar-Gaxiola S, Alonso J, et al. Worldwide use of mental health services for anxiety, mood, and substance disorders: results from 17 countries in the WHO world mental health surveys. *Lancet*. 2007;370(9590):841–850. doi: 10.1016/S0140-6736(07)61414-7
6. Kazantseva TV, Antonova NA, Eritsyanyan KYu. Help-seeking in mental health problems: conceptualization and analysis of predictors. *St. Petersburg Psychological Journal*. 2019;(28):88–117. EDN: TBMNMK
7. Radaev VV, Ibragimova DH, Kazan AD, et al. How Russians are coping with the new crisis: socio-economic practices of the population. Moscow: Nacional'ny'j issledovatel'skij universitet «Vysshaya shkola ekonomiki»; 2023. (In Russ.) doi: 10.17323/978-5-7598-2756-6 EDN: WKNRCY
8. Cornally N, McCarthy G. Help-seeking behaviour: a concept analysis. *Int J Nurs Pract*. 2011;17(3):280–288. doi: 10.1111/j.1440-172X.2011.01936.x
9. Ajzen I. The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*. 1991;50(2):179–211. doi: 10.1016/0749-5978(91)90020-T
10. Adams C, Gringart E, Strobel N. Explaining adults' mental health help-seeking through the lens of the theory of planned behavior: a scoping review. *Syst Rev*. 2022;11(1):160. doi: 10.1186/s13643-022-02034-y
11. Antonova NA, Eritsyanyan KYu, Kazantseva TV, Dubrovsky RG. Barriers and facilitators to seeking psychological assistance in school education system. *Psychological Science and Education*. 2022;27(4):77–87. doi: 10.17759/pse.2022270408 EDN: RBXHDJ
12. Eritsyanyan K, Antonova N, Kazantseva T, Usacheva N. Association between descriptive and injunctive norms and students' intentions to seek support from mental health services. *Counselling and Psychotherapy Research*. 2021;21(4):827–836. doi: 10.1002/capr.12461
13. Anikina VO, Popova AG, Vasilyeva NL. What stops men from seeking psychological help? *World of Science. Pedagogy and psychology*. 2020;8(5):26. EDN: KXZKTI
14. The main indicators of demographic processes in St. Petersburg in 2022: A statistical collection. St. Petersburg: Petrostat; 2023. 90 p. (In Russ.)
15. Cheng HL, Wang C, McDermott RC, et al. Self-stigma, mental health literacy, and attitudes toward seeking psychological help. *Journal of Counseling & Development*. 2018;96:64–74. doi: 10.1002/jcad.12178
16. Türküm AS. Who seeks help? Examining the differences in attitude of Turkish university students toward seeking psychological help by gender, gender roles, and help-seeking experiences. *The Journal of Men's Studies*. 2005;13(3):389–401. doi: 10.3149/jms.1303.389
17. Gough B, Novikova I. Mental health, men and culture: how do sociocultural constructions of masculinities relate to men's mental health help-seeking behaviour in the WHO European Region? Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2020 (Health Evidence Network (HEN) synthesis report 70).
18. Topkaya N. Factors influencing psychological help seeking in adults: a qualitative study. *Educational Sciences: Theory and Practice*. 2015;15(1): 21–31. doi: 10.12738/estp.2015.1.2094
19. Mackenzie CS, Gekoski WL, Knox J. Age, gender, and the underutilization of mental health services: The influence of help-seeking attitudes. *Aging Ment Health*. 2006;10(6):574–582. doi: 10.1080/13607860600641200
20. Plutov LE, Ruskova MM, Guzeva DV. Digitalization of psychological help: factors and trends (the case of St. Petersburg). *Sotsiologicheskie Issledovaniya*. 2023;(7):53–62. doi: 10.31857/S013216250023035-1 EDN: PKIXSS

AUTHORS' INFO

***Sergey Tkach;**

address: 1/3 Smol'nogo st, St. Petersburg, Russia, 191124;

ORCID: 0000-0001-5016-9187;

eLibrary SPIN: 6740-2773;

e-mail: s.tkach@spbu.ru

Veronika A. Odinkova, Cand. Sci. (Sociology),

Assistant Professor;

ORCID: 0000-0002-9850-9109;

eLibrary SPIN: 8054-7794;

e-mail: v.odinkova@spbu.ru

Olga I. Burdina;

ORCID: 0009-0000-6638-4500;

eLibrary SPIN: 5133-6122;

e-mail: o.burdina@spbu.ru

ОБ АВТОРАХ

***Ткач Сергей;**

адрес: Россия, 191124, Санкт-Петербург, ул. Смольного, д. 1/3;

ORCID: 0000-0001-5016-9187;

eLibrary SPIN: 6740-2773;

e-mail: s.tkach@spbu.ru

Одиноква Вероника Александровна, канд. социол. наук,

доцент;

ORCID: 0000-0002-9850-9109;

eLibrary SPIN: 8054-7794;

e-mail: v.odinkova@spbu.ru

Бурдина Ольга Игоревна;

ORCID: 0009-0000-6638-4500;

eLibrary SPIN: 5133-6122;

e-mail: o.burdina@spbu.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634225>

Комплексная оценка влияния полиненасыщенных жирных кислот омега-3 на функциональное состояние жителей-северян в критический период года

И.В. Аверьянова, О.О. Алёшина, И.Н. Безменова, С.И. Вдовенко

Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Магадан, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. Изучение динамики морфофизиологических показателей, биохимического профиля, уровня стресса, а также уровня поступления жирных кислот различных классов в организм человека и выявления дефицита эссенциальных жирных кислот до введения в рацион питания биологически активной добавки с полиненасыщенными жирными кислотами омега-3.

Материалы и методы. Проведено комплексное морфофизиологическое и биохимическое исследование, включающее в себя анализ 35 показателей, до обогащения рациона питания и после 1,5 мес. приёма биологически активной добавки с полиненасыщенными жирными кислотами омега-3.

Результаты. Показано, что мужчины (опытная и контрольная группы), включённые в анализ, имели сходные показатели по всем анализируемым профилям на момент начала исследования. После 1,5-месячного приёма дополнительной дозы полиненасыщенных жирных кислот семейства омега-3 (2-й этап) в опытной группе наблюдали оптимизационные перестройки по ряду анализируемых систем, что проявлялось в улучшении функционального состояния сердечно-сосудистой системы, в свою очередь обеспечивающего оптимальный метаболический портрет организма, в нормализации углеводно-липидного обмена, в значительном уменьшении концентрации гормона стресса кортизола и одновременном снижении общего воспалительного фона организма, что наглядно представлено в уменьшении площади матрицы напряжения функциональных резервов. Аналогичных перестроек у мужчин группы сравнения, не принимавших добавок с докозагексаеновой и эйкозапентаеновой кислотами, не было; напротив, в данной группе отмечены дизадаптационные проявления углеводного обмена, капиллярного кровотока, состояния сердечной-сосудистой системы, что, по-нашему мнению, обусловлено периодом проведения исследований в самое критическое время года за счёт перехода температурной кривой через ноль.

Заключение. Проведённое исследование может являться основанием для рекомендации приёма биологических активных добавок с полиненасыщенными жирными кислотами омега-3 жителям-северянам как определённого нивелирующего фактора неблагоприятного воздействия сезонных природно-климатических изменений.

Ключевые слова: функциональные резервы; жители-северяне; полиненасыщенные жирные кислоты омега-3; оптимизационная роль.

Как цитировать:

Аверьянова И.В., Алёшина О.О., Безменова И.Н., Вдовенко С.И. Комплексная оценка влияния полиненасыщенных жирных кислот омега-3 на функциональное состояние жителей-северян в критический период года // Экология человека. 2024. Т. 31, № 6. С. 468–483.

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634225>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634225>

Comprehensive assessment of the effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids on the functional status of northern residents during a critical season

Inessa V. Averyanova, Olga O. Alyoshina, Irina N. Bezmenova, Sergei I. Vdovenko

Scientific Research Center «Arktika» Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

ABSTRACT

AIM: To examine the dynamics of morphophysiological and biochemical indicators, stress levels, and the intake of different classes of fatty acids in the human body, identifying essential fatty acid deficiencies before omega-3 polyunsaturated fatty acid (PUFA) supplementation.

MATERIALS AND METHODS: A comprehensive morphophysiological and biochemical study was conducted, analyzing 35 parameters before and after 1.5 months of omega-3 PUFA supplementation.

RESULTS: At baseline, the men in both the experimental and control groups demonstrated similar profiles across all analyzed parameters. After 1.5 months of omega-3 PUFA supplementation (Stage 2), the experimental group exhibited optimization-driven adjustments in several physiological systems. These changes included improvements in cardiovascular function, which facilitated a more optimal metabolic profile, normalization of carbohydrate-lipid metabolism, a significant reduction in the stress hormone cortisol, and a concurrent decrease in overall systemic inflammation, as evidenced by a reduction in the tension matrix of functional reserves. In contrast, the control group, which did not receive docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid supplementation, did not experience similar adaptations. Instead, maladaptive responses in carbohydrate metabolism, capillary blood flow, and cardiovascular function were observed, which were likely exacerbated by the critical seasonal transition, as ambient temperatures fluctuated around freezing.

CONCLUSION: The findings of this study support the recommendation of omega-3 PUFA supplementation for northern residents as a mitigating factor against the adverse effects of seasonal climatic fluctuations.

Keywords: functional reserves; northern residents; omega-3 polyunsaturated fatty acids; optimization role.

To cite this article:

Averyanova IV, Alyoshina OO, Bezmenova IN, Vdovenko SI. Comprehensive assessment of the effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids on the functional status of northern residents during a critical season. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(6):468–483.

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634225>

Received: 11.07.2024

Accepted: 20.12.2024

Published online: 23.01.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634225>

在关键季节期间, ω -3 多不饱和脂肪酸对北方居民功能状态的综合影响评估

Inessa V. Averyanova, Olga O. Alyoshina, Irina N. Bezmenova, Sergei I. Vdovenko

Scientific Research Center «Arktika» Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

摘要

研究目的。研究北方居民的形态生理学和生化指标、压力水平以及不同类别脂肪酸的摄入情况,并在补充 ω -3 多不饱和脂肪酸前后评估必需脂肪酸缺乏情况的影响。

材料与方法。本研究进行了一项综合的形态生理学与生化分析,涵盖35项指标,并比较补充 ω -3多不饱和脂肪酸前后(1.5个月)的生理和代谢变化。

结果。基线测量:实验组与对照组的受试男性在所有分析参数上表现出相似的特征。补充 ω -3 多不饱和脂肪酸1.5 个月后(第二阶段)实验组的多个生理系统出现了优化调整,主要表现为:心血管功能改善,促进更优化的代谢模式;碳水化合物-脂质代谢的正常化;压力激素皮质醇水平显著下降;全身炎症水平同步降低,这一趋势通过功能储备张力矩阵减少得到量化体现。对照组(未摄入二十二碳六烯酸和二十碳五烯酸):未观察到类似的适应性变化。相反,该组表现出碳水化合物代谢失调、毛细血管血流异常及心血管系统功能失衡,可能与研究期间的气温波动,特别是关键季节温度接近零度的变化相关。

结论。研究结果表明,补充 ω -3 PUFA可在北方居民中发挥保护作用,有助于缓解季节性气候波动的不利影响,优化心血管健康和代谢功能。

关键词: 功能储备; 北方居民; ω -3 多不饱和脂肪酸; 优化作用。

引用本文:

Averyanova IV, Alyoshina OO, Bezmenova IN, Vdovenko SI. 在关键季节期间, ω -3 多不饱和脂肪酸对北方居民功能状态的综合影响评估. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(6):468–483. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634225>

收到: 11.07.2024

接受: 20.12.2024

发布日期: 23.01.2025

ОБОСНОВАНИЕ

В настоящее время в мире фиксируется недостаточное потребление в пищу жирных кислот семейства омега-3, что ведёт к их сниженным концентрациям в крови, повышенному риску ассоциированных хронических заболеваний и позволяет говорить о глобальном дефиците данного нутриента [1]. Эйкозапентаеновая (ЭПК) и докозагексаеновая (ДГК) кислоты являются основными составляющими омега-3, синтез которых осуществляется из α -линоленовой кислоты, которая не может производиться человеческим организмом самостоятельно и должна поступать с пищей. Стоит отметить, что ЭПК и ДГК относятся к мощным пищевым сигнальным молекулам, с максимально раскрытым потенциалом для оптимизации состояния здоровья человека [2].

В настоящее время потребление с пищей длинноцепочечных омега-3 жирных ЭПК и ДГК связывают с многочисленными преимуществами для сердечно-сосудистой системы, такими как снижение триглицеридов (ТГ) [3, 4], артериального давления [5, 6], повышение холестерина липопротеидов высокой плотности [4] и уменьшение воспаления [7–9]. Хотя причинно-следственные связи ещё предстоит установить, эпидемиологические исследования показали, что более высокое потребление ЭПК и ДГК (их более высокие уровни в крови) связано со снижением риска тревоги и депрессии [9], рака [10], астмы [11], болезни Альцгеймера [12], диабета 1-го типа [13], рассеянного склероза [14], сердечно-сосудистых заболеваний [15, 16] и общей смертности [15]. Дети женщин, которые потребляют ЭПК и ДГК во время беременности и кормления грудью, имеют лучшее неврологическое развитие и другие показатели здоровья [17].

Цель исследования. Изучение динамики основных морфофизиологических и биохимических показателей жителей-северян до и после введения в рацион питания добавки с полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК) омега-3.

Исходя из цели работы, поставили следующие задачи: изучить соматометрический статус, функциональные резервы кардиогемодинамики на основе анализа характеристик артериального давления, вариабельности сердечного ритма, дисперсионного картирования, оценить функциональные резервы системы дыхания и энергетически-метаболических процессов организма (функции внешнего дыхания и газоанализа), провести анализ состояния микроциркуляторного русла (капиллярного (микрососудистого) русла сердечно-сосудистой системы), оценить биохимический профиль: углеводный и липидный обмены веществ, уровень витамина D, уровень стресса на основе анализа кортизола в слюне, уровень воспалительных процессов в организме, уровень поступления жирных кислот различных классов в организм человека и выявления дефицита эссенциальных жирных кислот.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Перспективное рандомизированное контролируемое открытое исследование с использованием метода простой (неограниченной) рандомизации.

Критерии соответствия

Условием включения испытуемых в исследование являлось отсутствие хронических заболеваний в стадии обострения и жалоб на состояние здоровья, а также отсутствие приёма биологически-активных добавок (БАД) с омега-3 ПНЖК. Все лица, входящие в выборку, были постоянными жителями Магаданской области и характеризовались сопоставимыми условиями жизни, в том числе одинаковым режимом двигательной активности. Группы были также сопоставимы по возрасту, полу и анализируемым параметрам.

Объекты исследования

В общую выборку вошли 45 добровольцев-мужчин (средний возраст $40,0 \pm 0,8$ года), преимущественно европеоидов (этническая принадлежность определялась на основе самоидентификации респондентов), набор которых осуществляли путём размещения объявления о проведении исследования в средствах массовой информации и на сайте организации. Исходя из полученных первичных данных методом простой рандомизации участники исследования были разделены на две группы: 1-я — опытная группа ($n=30$, участники принимали БАД с омега-3), 2-я группа — контрольная ($n=15$, без воздействия на рацион питания).

Условия проведения исследования

Для поставленной цели в рамках реализации программы научного мониторинга жителей-северян «Арктика. Человек. Адаптация. Омега-си», реализуемой на базе НИЦ «Арктика» ДВО РАН (Магадан), было проведено комплексное обследование представителей мужского пола — уроженцев северных территорий.

Описание медицинского вмешательства

Согласно протоколу научного эксперимента, исследования в обеих группах проводили в 2 этапа: до и после воздействия на рацион питания. Опытная группа принимала утром натощак в течение 1,5 мес. БАД с омега-3 ПНЖК в виде препарата торговой марки «Nord Mile» rTG fish oil (2 капсулы, содержащие 1200 мг, из которых 660 мг — ЭПК и 440 мг — ДГК).

Методика проведения измерений

Антропометрические данные получены следующим образом: длину тела (см) измеряли при помощи настенного ростомера (точность — 0,5 см), массу тела (кг) —

с использованием медицинских весов BOSCH PPW 2360 (Китай), точность — 0,1 кг. Исходя из полученных данных рассчитывали индекс массы тела ($\text{кг}/\text{м}^2$), ранжирование результатов проводили согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения.

Показатели систолического (САД) и диастолического (ДАД) артериального давления (мм рт. ст.) и частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин) фиксировали трижды с вычислением среднего арифметического с помощью тонометра (Nessei DS-1862, Япония) и дальнейшим расчётом ударного объёма по Старру (мл), минутного объёма кровообращения (л/мин), общего периферического сопротивления сосудов ($\text{дин}^2 \times \text{с} \times \text{см}^{-5}$). Вариабельность сердечного ритма регистрировали при помощи комплекса «Варикард» и программного обеспечения VARICARD-KARDi, анализ проводили по общепринятой методике в соответствии с методическими рекомендациями группы российских экспертов. У испытуемых в состоянии покоя (сидя) регистрировали SI (усл. ед.) — стресс-индекс (индекс напряжения регуляторных систем). Оценку дисперсионного картирования электрокардиограммы на основе дисперсионной характеристики показателя «Миокард» (%) проводили с использованием аппаратно-программного обеспечения «КардиоВизор-06с» (Россия).

Исследование структуры капилляров и микроциркуляции изучали в зоне эпонихия (кожного валика) ногтевого ложа с применением капли иммерсионного масла при помощи компьютерного видеокапилляроскопа «Капилляроскан-1» (ООО «Новые энергетические технологии», Сколково), оснащённого оптическим зондом. В работе проведён анализ следующих морфофункциональных показателей: диаметр артериального, венозного и переходного отделов капилляра (мкм), длина капилляра (мкм), количество сладжей (ед./с.).

Функцию внешнего дыхания мужчин оценивали методом индексации объёмного давления и пневматического потока на медицинском спирографе «Диамант-С», все базовые характеристики автоматически сравнивали с должными значениями, представляющими собой величины, рассчитанные для популяции жителей центральной части России. Оценивали мгновенную объёмную скорость на участках 25, 50, 75% от форсированной жизненной ёмкости лёгких (л/с). Показатели энергогазообмена (энергозатраты (ккал/мин; ккал/день) и их процентное отношение к должному уровню) определяли с помощью метаболога «Спиrolан-М» (Ланамедика, Россия).

У испытуемых проводили забор венозной крови натощак вакуумной системой в лаборатории ООО «Юни-лаб-Хабаровск» для анализа следующих показателей: гликозилированного гемоглобина (HbA_1) методом турбидиметрического иммуноингибирования, сертифицированного по NGSP (AU 680, Beckman Coulter, США); инсулина иммунохемилюминесцентным методом с использованием парамагнитных частиц (Dxl800, Beckman Coulter); глюкозы с использованием гексокиназного метода (AU 680,

Beckman Coulter, США); холестерина (ОХС, ммоль/л), ТГ (ммоль/л), холестерина липопротеинов высокой плотности (ЛПВП, ммоль/л) и холестерина липопротеинов низкой плотности (ЛПНП, ммоль/л) калориметрическим ферментативным методом (AU 680, Beckman Coulter, США); дегидроэпиандростерона-сульфата (мкг/дл) и кортизола (нмоль/л) методом иммунохроматографического анализа с использованием автоматического иммунохемилюминесцентного анализатора (Mindray CL 6000i); С-реактивного белка (СРБ, мг/л) методом иммунотурбидиметрии (анализатор AU 680, Beckman Coulter, США); исследование 25(OH) витамина D (нмоль/л) в сыворотке крови выполняли на автоматическом иммунохимическом анализаторе (CL2000i, Mindray, Китай) с использованием метода иммунохемилюминесцентного анализа, определение индекса омега-3 (%) проводили на основе газовой хроматографии с масс-селективным детектированием (Agilent Technologies 6850/5973N).

На основе полученных данных рассчитывали индекс инсулинорезистентности HOMA-IR: [инсулин (мкМе/мл) × глюкоза (ммоль/л)]/22,5 [18], а также коэффициент атерогенности: (ОХС–ЛПВП)/ЛПВП [19].

Дислипидемию анализируемых характеристик определяли исходя из критериев клинических рекомендаций Российской Федерации 2023 г. [20] и на основе доклада экспертов NCEP [21]. При выявлении у обследуемых концентрации глюкозы натощак более 5,5 ммоль/л определяли нарушение углеводного обмена. Выявление инсулинорезистентности проводили с помощью метода оценки гомеостатической модели (HOMA-IR) с точкой отсечения больше 2,50 усл. ед. [22]. При значении ТГ, превышающего 1,7 ммоль/л, устанавливали гипертриглицеридемию. При уровне холестерина ЛПВП менее 1,03 ммоль/л фиксировали наличие гипоальфахолестеринемии. При величинах САД 130 мм рт. ст. и более и/или ДАД 85 мм рт. ст. и более определяли артериальную гипертензию. Для выявления недостаточного и дефицитного уровней концентрации 25(OH) витамина D использовали пороговые значения в соответствии с критериями клинических рекомендаций Российской ассоциации эндокринологов [23].

Продолжительность исследования

Исследование проведено в осенне-зимний период 2023 г.

Этическая экспертиза

Исследование выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации (2013 г.). Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом Научно-исследовательского центра «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук (заключение № 002/021 от 26.11.2021 г.). У всех обследуемых получено письменное информированное согласие для включения в исследование.

Статистический анализ

Размер выборки предварительно не рассчитывали.

Результаты подвергнуты статистической обработке с применением пакета прикладных программ Statistica 7.0. Проверку на нормальность распределения измеренных переменных осуществляли на основе теста Шапиро–Уилка. Результаты непараметрических методов обработки представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25-го и 75-го процентилей, а параметрических — как среднее значение и его ошибка ($M \pm m$). В случае сравнения связанных выборок статистическую значимость различий определяли с помощью *t*-критерия Стьюдента для зависимых выборок с нормальным распределением и непараметрического критерия Уилконсона для выборок с распределением, отличающимся от нормального. При сравнении несвязанных выборок статистическую значимость различий определяли с помощью *t*-критерия Стьюдента для независимых выборок с параметрическим распределением и непараметрического критерия Манна–Уитни для выборок с распределением, отличающимся от нормального.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1 представлены результаты сравнительного анализа по всем системам между опытной и контрольной

группами, полученные на момент начала исследования (1-й этап). Представленные данные позволяют сделать вывод о сопоставимости выборок, так как более чем по 90% показателей различий не выявлено. Стоит отметить, что, несмотря на случайную рандомизацию анализируемой выборки на группы, по некоторым характеристикам липидного профиля и показателям микроциркуляции отмечены значимые различия.

В табл. 2 представлены результаты 2-го этапа исследования, а также сравнительный анализ полученных данных с аналогичными до приёма БАД с ПНЖК, которые позволили выявить положительное влияние данной добавки на различные функциональные системы человеческого организма. Так, в опытной группе после приёма омега-3 ПНЖК отмечено значимое снижение индекса миокарда, что свидетельствует об уменьшении риска развития начальных и пограничных признаков дисфункций в миокарде, снижении длины капилляра макроциркуляционного русла, уровня HbA_{1c}, а также СРБ, который является маркером воспаления, снижении количества липопротеинов очень низкой плотности, а также уменьшение уровня кортизола, что может свидетельствовать об уменьшении стрессовой нагрузки на организм. Для контрольной группы отмечены дизадаптационные перестройки, которые проявляются в значимом возрастании индекса миокарда, диаметра венозного отдела

Таблица 1. Результаты 1-го этапа эксперимента и сравнительный анализ полученных данных между анализируемыми группами (до начала приёма биологически-активных добавок с полиненасыщенными жирными кислотами омега-3)

Table 1. Results from the first phase of the experiment, along with a comparative analysis of data collected between the groups under study (prior to the administration of dietary supplements containing omega-3 PUFA)

Анализируемый показатель Analyzed indicator	Опытная группа An experimen- tal group	Контрольная группа Control group	Уровень значи- мости различий Level of sig- nificance of the differences
Соматометрические показатели Somatometric parameters			
Возраст, лет Age (years)	41,1±0,9	38,1±1,5	0,098
Длина тела, см Body length (cm)	180,6±1,2	181,0±1,4	0,835
Масса тела, кг Body weight (kg)	88,2±2,3	86,9±3,9	0,781
Индекс массы тела, кг/м ² Body mass index (kg/m ²)	27,1±0,8	26,4±1,0	0,558
Общее содержание жира в организме, % Total body fat content (%)	19,7±1,1	17,5±1,1	0,083
Показатели кардиогемодинамики Cardiohemodynamic parameters			
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст. Systolic blood pressure (mm Hg)	124,9±1,4	122,4±2,0	0,157
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст. Diastolic blood pressure (mm Hg)	79,3±1,5	79,1±2,0	0,468
Частота сердечных сокращений, уд/мин Heart rate (beats/min)	69,8±2,2	69,3±2,7	0,445
Ударный объём, мл Impact volume (ml)	51,6±1,4	52,6±2,3	0,356
Минутный объём кровообращения, мл/мин Minute volume of blood circulation (ml/min)	3591,9±146,2	3582,3±103,8	0,480
Общее периферическое сопротивление сосудов, дин ² ×с×см ⁻⁵ Total peripheral vascular resistance (din ² ×s×cm ⁻⁵)	2297,0±98,1	2195,8±69,4	0,202

Окончание табл. 1 | End of the Table 1

Анализируемый показатель Analyzed indicator	Опытная группа An experimen- tal group	Контрольная группа Control group	Уровень значи- мости различий Level of sig- nificance of the differences
Индекс миокарда, % Myocardial index (%)	14,4±0,8	14,3±0,5	0,458
Стресс-индекс, усл. ед. Stress index (conl. units)	129,0 (82,2; 196,5)	108,2 (82,2; 192,9)	0,783
Макроциркуляторное русло Macrocirculatory system			
Диаметр артериального отдела, мкм Diameter of the arterial region (microns)	10,7±1,25	11,6±1,95	0,50
Диаметр венозного отдела, мкм Diameter of the venous section (microns)	22±1,93	17,1±1,29	0,021
Диаметр переходного отдела, мкм Diameter of the transitional section (microns)	31,9±3,4	34,9±10,1	0,390
Длина капилляра, мкм Capillary length (microns)	624,9±78,8	519,5±87,1	0,187
Сладжи, ед./с Sludge (units/s)	4,6±1,91	6,9±1,61	0,374
Внешнее дыхание и энергообмен External respiration and energy exchange			
Мгновенная объёмная скорость 25% (%) Instantaneous volumetric velocity 25% (%)	91,0±3,58	95,0±9,03	0,342
Мгновенная объёмная скорость 50% (%) Instantaneous volumetric velocity 50% (%)	79,0±4,95	82,0±8,34	0,379
Мгновенная объёмная скорость 75% (%) Instantaneous volumetric velocity 75% (%)	68,0±4,79	79,0±9,02	0,145
Ккал/день, ед. Kcal/day (units.)	2115,0±99,5	1980,0±148,7	0,455
Ккал, % Calories (%)	111,0±4,9	105,0±5,88	0,219
Биохимический профиль Biochemical profile			
Гликозилированный гемоглобин, % Glycosylated hemoglobin (%)	5,5±0,1	5,4±0,1	0,242
Глюкоза, ммоль/л Glucose (mmol/l)	5,2±0,1	5,3±0,1	0,242
Инсулин, мМе/мл Insulin (mcme/ml)	9,8±0,7	8,8±1,2	0,238
Инсулинорезистентность, усл. ед. Insulin resistance (conl. units)	2,1±0,2	2,0±0,2	0,363
Холестерин, ммоль/л Cholesterol (mmol/l)	5,44±0,11	4,98±0,18	0,031
Липопротеины высокой плотности, ммоль/л High-density lipoproteins (mmol/l)	1,34±0,06	1,36±0,07	0,415
Липопротеины низкой плотности, ммоль/л Low-density lipoproteins (mmol/l)	3,56±0,17	3,11±0,17	0,058
Липопротеины очень низкой плотности, ммоль/л Very low density lipoproteins (mmol/l)	0,63±0,05	0,58±0,03	0,081
Триглицериды, ммоль/л Triglycerides (mmol/l)	1,05±0,15	0,92±0,05	0,214
Коэффициент атерогенности, усл. ед. Coefficient of atherogenicity (conl. units)	3,20±0,18	2,78±0,21	0,073
Кортизол, нмоль/л Cortisol (nmol/l)	424,1±32,7	467,0±17,2	0,126
Дегидроэпиандростерон, мкг/дл Dehydroepiandrosterone (mcg/dl)	389,7±32,6	414,3±57,4	0,356
Концентрация 25(OH) витамина D, нмоль/л Concentration of 25(OH) vitamin D (nmol/l)	70,6±4,4	71,1±5,9	0,473
С-реактивный белок, мг/л C-reactive protein (mg/l)	2,8±0,9	2,2±0,2	0,260
Омега-3 индекс, % Omega-3 index (%)	8,9±0,4	9,1±0,5	0,378

Примечание. Полуширным начертанием выделены статистически значимые различия. Результаты непараметрических методов обработки представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25-го и 75-го процентилей, параметрических — средним значением и его ошибкой (M±m). При сравнении несвязанных выборок статистическая значимость различий определялась с помощью *t*-критерия Стьюдента для независимых выборок с параметрическим распределением и непараметрического критерия Манна–Уитни для выборок с распределением, отличающимся от нормального.

Note. Statistically significant differences are highlighted in bold. The results of nonparametric methods are presented in the form of the median (Me) and interquartile range in the form of the 25th and 75th percentiles, parametric — the mean and its error (M±m). When comparing unrelated samples, the statistical significance of the differences was determined using the Student's *t*-test for independent samples with a parametric distribution and the nonparametric Mann–Whitney test for samples with a distribution other than normal.

Таблица 2. Результаты 2-го этапа исследования (после приёма опытной группой биологически-активных добавок с полиненасыщенными жирными кислотами омега-3 в дозе 1200 мг/сут), сопоставление полученных результатов с 1-м этапом

Table 2 Presents the results of the second stage of the study, which were obtained after the experimental group had taken dietary supplements containing omega-3 PUFA at a daily dose of 1200 (mg), and compares these results with those from the first stage

Анализируемый показатель Analyzed indicator	Опытная группа An experimental group		p^*	Контрольная группа Control group		p^*
	1-й этап 1 st stage	2-й этап 2 nd stage		1-й этап 1 st stage	2-й этап 2 nd stage	
Соматометрические показатели Somatometric parameters						
Индекс массы тела, кг/м ² Body mass index (kg/m ²)	27,4±0,8	27,0±0,8	0,721	25,6±0,8	25,9±1,1	0,824
Общее содержание жира в организме, % Total body fat content (%)	19,7±1,1	19,9±1,1	0,900	17,5±1,1	18,6±1,2	0,503
Показатели кардиогемодинамики Cardiohemodynamic parameters						
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст. Systolic blood pressure (mm Hg)	124,9±1,4	123,5±1,6	0,154	122,4±2,0	124,1±2,8	0,311
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст. Diastolic blood pressure (mm Hg)	79,3±1,5	78,1±1,1	0,268	79,1±2,0	79,7±2,6	0,425
Частота сердечных сокращений, уд/мин Heart rate (beats/min)	69,8±2,2	69,1±2,1	0,412	69,3±2,7	72,3±3,2	0,189
Ударный объём, мл Impact volume (ml)	51,6±1,4	51,6±1,1	0,456	52,6±2,3	52,5±2,5	1,000
Минутный объём кровообращения, мл/мин Minute volume of blood circulation (ml/min)	3591,9±146,2	3566,5±133,0	0,448	3582,3±103,8	3752,8±188,8	0,224
Общее периферическое сопротивление сосудов, дин ² ×с×см ⁻⁵ Total peripheral vascular resistance (din ² ×s×cm ⁻⁵)	2297,0±98,1	2285,4±110,0	0,463	2195,8±69,4	2184,9±127,8	0,468
Индекс миокарда, % Myocardial index (%)	14,4±0,8	11,9±1,1	0,041	14,3±0,5	17,4±0,9	0,001
Стресс-индекс, усл. ед. Stress index (conl. units)	129,0 (82,2; 196,5)	145,1 (92,1; 233,2)	0,677	108,2 (82,2; 192,9)	148,9 (111,0; 216,2)	0,345
Макроциркуляторное русло Macrocirculatory system						
Диаметр артериального отдела, мкм Diameter of the arterial region (microns)	10,7±1,25	9,9±1,0	0,523	11,6±1,95	13,7±3,0	0,560
Диаметр венозного отдела, мкм Diameter of the venous section (microns)	22,0±1,9	25,4±2,1	0,248	17,1±1,29	22,1±2,7	0,042
Диаметр переходного отдела, мкм Diameter of the transitional section (microns)	31,9±3,4	34,1±4,3	0,685	34,9±10,1	54,0±8,69	0,164
Длина капилляра, мкм Capillary length (microns)	624,9±78,8	481±32,7	0,031	519,5±87,1	613,0±122,3	0,533
Сладжи, ед./с Sludge (units/s)	4,6±1,9	5,1±1,37	0,832	6,9±1,61	16,7±5,9	0,032
Внешнее дыхание и энергообмен External respiration and energy exchange						
Мгновенная объёмная скорость 25% (%) Instantaneous volumetric velocity 25% (%)	91,0±3,58	93,0±4,0	0,712	95,0±9,03	94,0±8,81	0,941
Мгновенная объёмная скорость 50% (%) Instantaneous volumetric velocity 50% (%)	79,0±4,95	82,0±5,2	0,679	82,0±8,34	83,0±8,74	0,939
Мгновенная объёмная скорость 75% (%) Instantaneous volumetric velocity 75% (%)	68,0±4,79	65,0±5,36	0,683	79,0±9,02	77,0±9,78	0,806
Ккал/день, ед. Kcal/day (units.)	2115,0±99,5	1985,0±86,3	0,332	1980,0±148,7	2103,0±162,4	0,583
Ккал, % Calories (%)	111,0±4,9	106,0±4,9	0,475	105,0±5,88	112,0±7,5	0,473
Биохимический профиль Biochemical profile						
Гликозилированный гемоглобин, % Glycosylated hemoglobin (%)	5,5±0,1	5,2±0,1	0,047	5,4±0,1	5,4±0,1	0,442

Окончание табл. 2 | End of the Table 2

Анализируемый показатель Analyzed indicator	Опытная группа An experimental group		p^*	Контрольная группа Control group		p^*
	1-й этап 1 st stage	2-й этап 2 nd stage		1-й этап 1 st stage	2-й этап 2 nd stage	
Глюкоза, ммоль/л Glucose (mmol/l)	5,2±0,1	5,1±0,1	0,264	5,3±0,1	5,2±0,1	0,213
Инсулин, мМе/мл Insulin (mcme/ml)	9,8±0,7	10,1±0,9	0,202	8,8±1,2	11,4±1,1	0,029
Инсулинорезистентность, усл. ед. Insulin resistance (conl. units)	2,1±0,2	2,1±0,2	0,428	2,0±0,2	2,6±0,3	0,047
Холестерин, ммоль/л Cholesterol (mmol/l)	5,44±0,11	5,21±0,16	0,437	4,98±0,18	4,82±0,23	0,169
Лipoproteины высокой плотности, ммоль/л High-density lipoproteins (mmol/l)	1,34±0,06	1,29±0,04	0,084	1,36±0,07	1,27±0,09	0,193
Лipoproteины низкой плотности, ммоль/л Low-density lipoproteins (mmol/l)	3,56±0,17	3,46±0,14	0,313	3,11±0,17	3,32±0,22	0,275
Лipoproteины очень низкой плотности, ммоль/л Very low density lipoproteins (mmol/l)	0,63±0,05	0,50±0,03	0,042	0,58±0,03	0,49±0,04	0,208
Триглицериды, ммоль/л Triglycerides (mmol/l)	1,05±0,15	1,13±0,13	0,287	0,92±0,05	1,11±0,14	0,172
Коэффициент атерогенности, усл. ед. Coefficient of atherogenicity (conl. units)	3,20±0,18	3,12±0,19	0,261	2,78±0,21	3,02±0,18	0,247
Кортизол, нмоль/л Cortisol (nmol/l)	424,1±32,7	365,2±20,6	0,038	467,0±17,2	420,7±20,5	0,106
Дегидроэпиандростерон, мкг/дл Dehydroepiandrosterone (mcg/dl)	389,7±32,6	353,4±24,1	0,187	414,3±57,4	381,1±20,5	0,321
Концентрация 25(OH) витамина D, нмоль/л Concentration of 25(OH) vitamin D (nmol/l)	70,6±4,4	64,3±2,7	0,879	71,1±5,9	72,1±3,2	0,383
C-реактивный белок, мг/л C-reactive protein (mg/l)	2,8±0,9	0,82±0,11	0,002	2,2±0,2	3,4±0,4	0,004
Омега-3 индекс, % Omega-3 index (%)	8,9±0,4	Нет данных	—	9,1±0,5	Нет данных	—

Примечание. * Уровень значимости различий. Полушпирным начертанием выделены статистически значимые различия. Результаты непараметрических методов обработки представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25-го и 75-го перцентилей, параметрических — средним значением и его ошибкой ($M \pm m$). В случае сравнения связанных выборок статистическая значимость различий определялась с помощью t -критерия Стьюдента для зависимых выборок с нормальным распределением и непараметрического критерия Уилконсона для выборок с распределением, отличающимся от нормального.

Note. * The level of significance of the differences. Statistically significant differences are highlighted in bold. The results of nonparametric methods are presented in the form of the median (Me) and interquartile range in the form of the 25th and 75th percentiles, parametric — the mean and its error ($M \pm m$). In the case of comparing related samples, the statistical significance of the differences was determined using the Student's t -test for dependent samples with a normal distribution and the nonparametric Wilconson test for samples with a distribution other than normal.

макроциркуляторного русла, инсулина и, как следствие, индекса HOMA-IR, а также СРБ.

Помимо регистрации основных показателей, проанализировали процентное соотношение значений, выходящих за референсные пределы, для более детального рассмотрения изменений, происходящих в исследуемых группах (табл. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ

Первый этап исследования позволил констатировать, что все обследуемые мужчины характеризуются наличием избыточной массы тела: в опытной группе доля лиц с избыточной массой тела и ожирением составила 65%, в контрольной — 50%. При изучении антропометрических характеристик на 2-м этапе исследования выявлена

тенденция к снижению процента людей с ожирением в контрольной группе (с 27 до 20%) и возрастание количества людей с данным отклонением в группе наблюдения (с 7 до 13%). Влияние омега-3 ПНЖК на массу и состав тела представляет особый интерес, так как показано, что аналогичные по составу добавки способствуют лечению и профилактике различных компонентов метаболического синдрома, опосредованных ожирением. Данные, полученные относительно положительного влияния омега-3 на массу тела, хоть и противоречивы, но находят подтверждение в некоторых работах [24].

Представленные в табл. 2 показатели, характеризующие деятельность сердечно-сосудистой системы, свидетельствуют о том, что средние величины артериального давления и гемодинамики на 2-м этапе исследований не имели значимых отличий в двух группах. При этом

Таблица 3. Степень отклонений анализируемых показателей от нормативных величин, %**Table 3.** Extent of deviations of the analyzed indicators from standard values (%)

Анализируемые системы и показатели Analyzed systems and indicators	Опытная группа An experimental group		Контрольная группа Control group	
	до эксперимента before the experiment	после эксперимента after the experiment	до эксперимента before the experiment	после эксперимента after the experiment
1. Показатели физического развития Indicators of physical development	65	61	50	53
2. Сердечно-сосудистая система The cardiovascular system	37	27 ↓	35	47 ↑
3. Функция внешнего дыхания The function of external respiration	32	28	28	36
4. Показатели обмена веществ Metabolic indicators	34	34	36	29
5. Микроциркуляция Microcirculation	52	62	66	157 ↑↑↑
6. Уровень напряжения функциональных систем Voltage level of functional systems	48	46	43	50 ↑
7. Уровень стресса (кортизол в крови) Stress level (cortisol in the blood)	86	56 ↓	94	93
8. Снижение репродуктивного потенциала (концентрация ДГЭА-С) Decreased reproductive potential (DHEA-C concentration)	30	13 ↓	22	33 ↑
9. Углеводный обмен Carbohydrate metabolism	30	22 ↓	22	30 ↑
10. Липидный обмен Lipid metabolism	62	43 ↓	57	53
11. Витамин D Vitamin D	66	71	58	60
12. Наличие воспаления (С-реактивный белок) The presence of inflammation (C-reactive protein)	38	0 ↓↓↓	29	35

Примечание. 1 — доля лиц (%) с индексом массы тела более 25 кг/м²; 2 — доля лиц (%) с высоким нормальным артериальным давлением и артериальной гипертензией в сумме по систолическому артериальному давлению и диастолическому артериальному давлению (мм рт. ст.); 3 — среднее значение проходимости мелких бронхов ниже должной величины (%); 4 — энерготраты в состоянии покоя в сутки (ккал/день) ниже должных величин; 5 — степень отклонения показателей микроциркуляторного русла (переходного отдела) относительно должных величин (%); 6 — доля лиц (%) с показателем стресс-индекса вариабельности сердечного ритма больше 150 усл. ед.; 7 — доля лиц (%) с показателем кортизола в крови более 320 нмоль/л; 8 — доля лиц (%) с ДГЭА в крови менее 200 мкг/д; 9 — доля лиц (%) с HOMA-IR более 2.53 усл. ед.; 10 — доля лиц (%) с коэффициентом атерогенности более 3 усл. ед.; 11 — доля лиц (%) с концентрацией витамина D ниже 75 нмоль/л; 12 — доля лиц (%) с показателем С-реактивного белка более 3 мг/л; ↓ — снижение процента отклонений; ↑ — возрастание процента отклонений.

Note. 1 — the proportion of people (%) with a body mass index of more than 25 kg/m²; 2 — the proportion of people (%) with high normal blood pressure and hypertension in total systolic blood pressure and diastolic blood pressure (mmHg); 3 — the average patency of small bronchi below the required value (%); 4 — resting energy consumption per day (kcal/day) is below the required values; 5 — the degree of deviation of the microcirculation (transitional department) relative to the required values (%); 6 — the proportion of persons (%) with a stress index of heart rate variability greater than 150 units; 7 — the proportion of persons (%) with a blood cortisol index greater than 320 nmol/l; 8 — the proportion of persons (%) with DHEA in the blood less than 200 mcg/d; 9 — the proportion persons (%) with HOMA-IR of more than 2.53 con. units; 10 — the proportion of persons (%) with an atherogenicity coefficient of more than 3 con. units; 11 — the proportion of persons (%) with a vitamin D concentration below 75 nmol/l; 12 — the proportion of persons (%) with a C-reactive protein index more than 3 mg/l; ↓ — decrease in the percentage of deviations; ↑ — increase in the percentage of deviations.

выявлена тенденция к снижению ДАД в опытной группе и тенденция к увеличению САД и ЧСС в группе сравнения. На 1-м этапе исследования в опытной группе артериальная гипертензия и высокое нормальное артериальное давление по САД выявляли в 20% случаев, а по ДАД — в 17%. После употребления добавки с ПНЖК данные величины составили 17 и 10% соответственно. В контрольной группе, напротив, отметили возрастание напряжения в работе

сердечно-сосудистой системы, что проявлялось увеличением доли лиц с САД более чем 130 мм рт. ст. с 14 до 27%, тогда как количество людей с ДАД выше 85 мм рт. ст. практически не изменилось: 1-й этап — 21%, 2-й этап — 20%. В целом стоит отметить возрастание напряжения в работе системы кровообращения в контрольной выборке, где суммарный коэффициент напряжения вырос с 35 до 47%, тогда как в опытной группе отмечены

оптимизационные перестройки, о чём свидетельствует снижение суммарного коэффициента напряжения в деятельности сердечно-сосудистой системы с 37 до 27% (см. табл. 3).

Анализ SI не выявил значимых отличий у представителей двух групп на 2-м этапе исследований по сравнению с 1-м этапом. При этом стоит указать, что на 1-м этапе доля лиц с SI более 150 усл. ед. (отражает вегетативную дисрегуляцию и наличие стрессовых проявлений в организме) в опытной группе составила 48%, а в контрольной — 43%. На 2-м этапе в опытной группе частота встречаемости лиц с высокими величинами SI осталась без изменений (46%) на фоне возрастания данной величины до 50% в группе мужчин, не принимавших БАД с омега-3 ПНЖК.

В целом наши данные, свидетельствующие о положительном влиянии БАД омега-3 ПНЖК, сопоставимы с результатами других исследователей [25, 26], что обусловлено плейотропным физиологическим эффектом данных добавок на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы либо прямым воздействием, через включение в мембраны, либо через косвенные механизмы за счёт оптимизации липидного профиля, артериального давления [27].

Оценка микроциркуляции позволила выявить значимую динамику в работе микроциркуляторного русла кровеносной системы, которая в основном была характерна для лиц, принимавших омега-3. Для них было установлено снижение средней длины капилляра, что может говорить о сокращении времени доставки кислорода и питательных веществ из крови в межклеточное пространство (и далее, соответственно, в клетки). Также следует отметить снижение размера периваскулярной зоны с 142 до 117 мкм, которая отражает степень гидратации интерстициального пространства и в норме составляет менее 100 мкм [28], что может свидетельствовать об уменьшении риска развития периваскулярного отёка. Обращает на себя внимание значимое возрастание количества сладжей у лиц группы сравнения. Известно, что слипание между собой эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов вызывает локальный гемостаз, резко повышает вязкость крови и затрудняет её движение по микрососудам. Кроме того, необходимо отметить в этой группе значимое увеличение диаметра венозного отдела, что может косвенно говорить о риске развития микроциркуляторного венозного застоя. Также отметили кратный рост общей степени отклонения показателей микроциркуляторного русла у лиц из группы сравнения относительно референсных величин (с 66 до 157%).

Анализ показателей внешнего дыхания у лиц из опытной группы выявил отчётливую тенденцию к увеличению проходимости крупных и средних бронхов и приближению данных показателей к нормативным величинам. Несмотря на то что все вышеуказанные изменения не были значимы, а имели лишь тенденциозный характер, вероятно,

что долгосрочное применение омега-3 может оказывать выраженное влияние на работу бронхолёгочной системы. В целом можно говорить о снижении степени напряжения системы внешнего дыхания (по показателю проходимости мелких бронхиол) с 32 до 28%, в то время как в контрольной группе наблюдался рост — с 2 до 36%.

Метаболизм целого организма во многом определяется процессами и скоростью этих процессов, ассоциированных с мембранами [29]. Свойства мембран во многом определяются составом жирных кислот [30]. Мембраны, содержащие ПНЖК, более проницаемы для ионов Na⁺, K⁺, H⁺, что приводит к более быстрому обмену веществ [29]. В нашем исследовании прослеживается чёткая тенденция улучшения показателей суточного энергометаболизма у лиц, принимавших омега-3, и приближение его к нормативной величине — со 111 до 106%. Этот факт подтверждается значимым увеличением содержания углекислого газа в выдыхаемом воздухе обследованных лиц из опытной группы. В то же время у лиц из группы сравнения данный показатель, наоборот, отдалается от должного уровня, достигая 112% во время 2-го этапа эксперимента, что, возможно, связано с влиянием выраженного холодного фактора декабря, когда проводилось заключительное обследование. Выявленные изменения могут указывать на положительное влияние длинноцепочечных ПНЖК семейства омега-3 на состояние основного обмена веществ, так как известно, что ПНЖК признаны веществами высокой физиологической ценности для человека и обеспечивают нормальное функционирование метаболизма организма человека [31].

Биохимический анализ крови показал, что в опытной группе на 2-м этапе исследования наблюдается значимое изменение HbA_{1c}, средняя величина которого снижается на 0,3% без выявленной динамики относительно остальных проанализированных показателей. В группе сравнения на фоне отсутствия значимых отличий относительно показателя HbA_{1c} было зафиксировано возрастание концентрации базального инсулина натощак, средние величины которого вплотную приближаются к референсному допустимому пределу для выявления признаков гиперинсулинемии с одновременным возрастанием HOMA-IR, величины которого свидетельствуют о наличии в данной группе признаков инсулинорезистентности. При этом стоит отметить, что, если на 1-м этапе исследований у 30% представителей опытной группы и у 20% представителей контрольной группы были отмечены признаки инсулинорезистентности (HOMA-IR больше 2,53 усл. ед.), то на 2-м этапе эксперимента отметили снижение встречаемости данных проявлений в опытной группе до 22%, а в группе сравнения, напротив, — возрастание до 30%. В контрольной группе зафиксировали напряжение в работе углеводного обмена за счёт возрастания признаков гиперинсулинемии (повышение базального уровня инсулина натощак) и инсулинорезистентности.

Результаты эпидемиологических исследований на людях сопоставимы с нашими результатами, в которых указывается, что омега-3 ПНЖК снижают развитие резистентности к инсулину и формирование диабета, где механизмом выступает уменьшение воспаления, обусловленное приёмом добавок, а также указывается на возможный механизм снижения уровня циркулирующих ТГ и мелких плотных частиц ЛПНП, текучесть мембран, передачу сигнала и другие [32]. В целом полученные данные свидетельствуют о том, что в опытной группе после приёма БАД с ПНЖК отмечается оптимизация углеводного обмена за счёт снижения гликации белков (патологического склеивания белков углеводами), что улучшает все функции организма — гормональную, ферментативную (ускоряющую все реакции организма), транспортную и т.д.

Исследование липидного профиля в группе мужчин, принимавших БАД с ПНЖК, позволило отметить тенденции к его оптимизации, о чём свидетельствуют более низкие среднegrupповые величины общего холестерина, ЛПНП, а также коэффициента атерогенности. В группе сравнения, напротив, отмечены тенденции возрастания данных показателей. В целом стоит указать на значимое снижение липопротеинов очень низкой плотности в опытной группе на 2-м этапе исследования. Механизм данного изменения объясняется следующим образом: встраивание омега-3 ПНЖК в фосфолипиды клеточных мембран приводит к изменению физиологических и биофизических свойств последних, что обуславливает ряд эффектов — снижение вязкости и проницаемости клеточных мембран, изменение активности рецепторов транспортных и сигнальных систем и, как следствие, изменение функционально-структурных свойств ионных каналов. Этими эффектами в определённой мере можно объяснить гиполлипидемический эффект омега-3 ПНЖК, проявляющийся подавлением синтеза ТГ и аполипопротеина, снижение уровня холестерина, липопротеинов очень низкой плотности. В итоге это приводит к увеличению экскреции желчи, улучшению функциональной активности гепатоцитов и другим эффектам [33]. При поступлении в организм омега-3 ПНЖК происходит угнетение синтеза липопротеинов очень низкой плотности, что позволяет значительно снизить риск атерогенных эффектов, возросших в последнее десятилетие и имеющих черты явного омоложения [34].

Таким образом, в опытной группе после приёма добавки с ЭПК и ДГК отмечалась оптимизация липидного профиля, проявляющаяся снижением доли лиц с коэффициентом атерогенности больше 3 усл. ед. (с 62 до 43%), что в целом свидетельствует о снижении риска развития атеросклероза. Также для данной группы было характерно уменьшение концентрации подфракции липидного профиля — липопротеинов очень низкой плотности. В группе сравнения не выявлено значимой динамики ни по одному из анализируемых показателей липидного профиля.

Следует указать на разнонаправленный характер динамики маркера воспалительного фона — СРБ, средние величины которого в опытной группе значимо снижались, а в контрольной — возрастали. Наши данные сопоставимы с результатами других исследователей, которые также отмечали снижение СРБ в крови натошак после приёма ЭПК и ДГК [7]. Данный механизм обусловлен тем, что ПНЖК семейства омега-3 являются предшественниками синтеза специализированных медиаторов, способных бороться с воспалением, и продемонстрировано, что они снижают уровень провоспалительных цитокинов, таких как интерлейкин-6 и фактор некроза опухоли- α , и ингибируют активацию нескольких других факторов транскрипции, которые ингибируют активные формы кислорода [35].

Полученные нами данные по концентрации гормона стресса (кортизола) в крови позволяют констатировать его значимое снижение после приёма омега-3. При этом следует отметить, что, если на 1-м этапе исследований у 86% обследуемых опытной выборки и у 94% из контрольной группы показатели концентрации кортизола в крови превышали верхний предел референсного порога (320 нмоль/л), то на 2-м этапе эксперимента в группе сравнения доля лиц с гиперкортизолемией не изменилась, а в опытной выборке отметили значительное снижение встречаемости высоких значений концентрации кортизола до 56%, что указывает на оптимизацию психического состояния и состояния здоровья в целом [36].

На рис. 1 представлены матрицы напряжения функциональных систем по анализируемым системам в двух группах. Стоит отметить, что проведённый комплексный анализ морфофункционального состояния и биохимического профиля показал, что группы мужчин (опытная и контрольная) на 1-м этапе исследования имеют сходные матрицы функционального напряжения. Для контрольной группы на 2-м этапе фиксируется возрастание степени напряжения анализируемых характеристик, что, по всей видимости, обусловлено критическим периодом года, в котором проведено исследование (осенне-зимний переход температурной кривой через ноль). Критичность данного периода подтверждается нашими более ранними исследованиями, в которых зафиксированы негативные сдвиги физиологических характеристик и снижение функционального состояния обследуемых в критические периоды года (зимне-весенний и осенне-зимний) [37]. И, напротив, представленные данные позволяют наглядно продемонстрировать положительные изменения, произошедшие в опытной группе (которая в течении 1,5 мес. получала добавку омега-3 ПНЖК к пище), несмотря на критический период года. Данные изменения выражаются достаточным снижением площади многогранника на 2-м этапе исследования относительно 1-го, что может свидетельствовать о снижении степени напряжения функциональных резервов организма и оптимизации ряда физиологических параметров вследствие приёма ЭПК и ДГК.

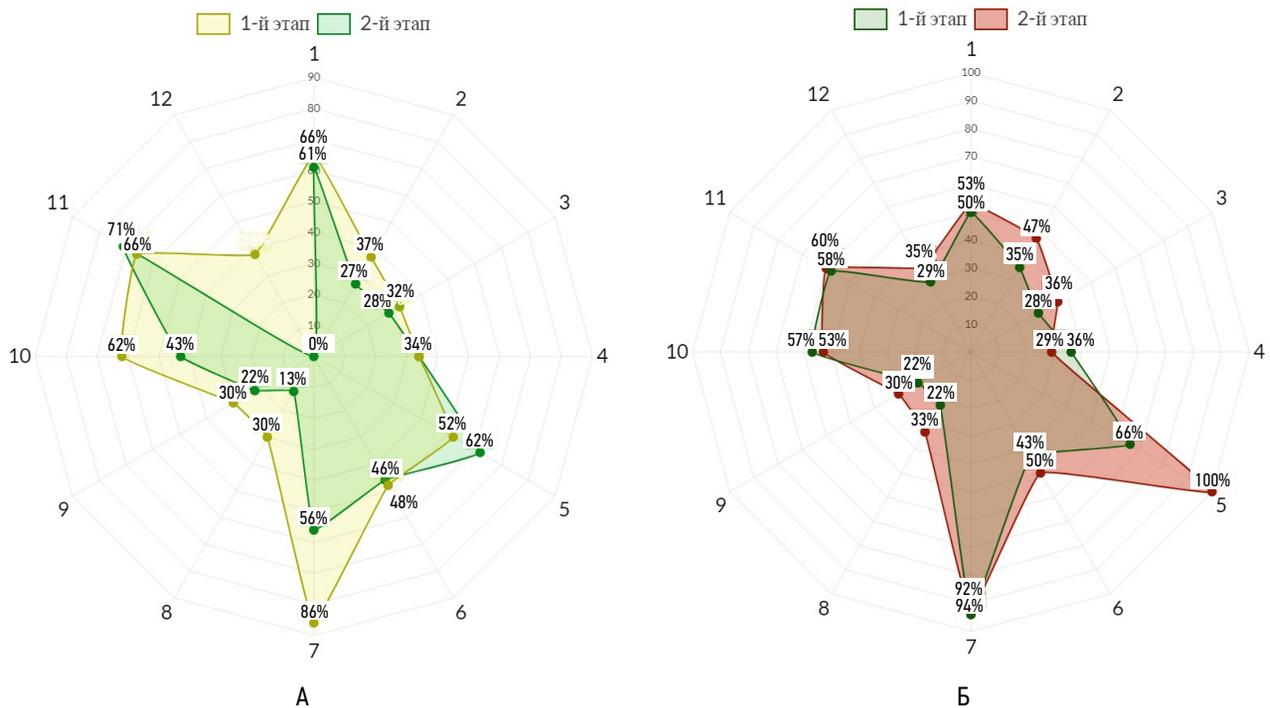


Рис. 1. Динамика паттернов матриц снижения функциональных резервов в опытной (А) и контрольной (Б) группах в ходе исследования; размерность осей от 0 до 100%. Условные обозначения см. в примечании к табл. 3.

Fig. 1. Comparison of patterns of matrix dynamics for reduction of functional reserves between the experimental group (A) and the control group (B) at the study; THE x-axis ranges from 0% to 100%. For symbols, see the note to Table 3.

Ограничения исследования

Настоящее исследование имеет ряд существенных ограничений, заключающихся в малом количестве обследуемых лиц и коротком сроке наблюдения. В дальнейшем проведение более крупных клинических исследований в этом направлении нам представляется весьма целесообразным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты исследования, а также матрицы напряжения функциональных резервов позволяют сделать заключение об оптимизирующем функционале БАД к пище с ПНЖК омега-3 относительно большинства анализируемых систем в опытной группе, тогда как в группе контроля наблюдаются дизадаптационные проявления в функциональном статусе организма. В данном аспекте следует указать, что исследования были проведены в осенне-зимний период года (1-й этап — октябрь 2023 г., 2-й этап — декабрь 2023 г.). Так, в наших более ранних работах было показано, что критическими периодами для функционального состояния обследуемых мужчин являются переходные весенне-летний и осенне-зимний периоды года, связанные с переходом температурной кривой через ноль, что приводит к негативным сдвигам физиологических характеристик и вызывает снижение функционального состояния испытуемых, что совпало с этапами данного исследования.

Можно предположить наличие нивелирующей функции и даже оптимизационной роли приёма БАД к пище с ПНЖК семейства омега-3 относительно сезонных перестроек морфофизиологических и биохимических показателей организма жителей-северян в самый критический период года с переходом температурной кривой через 0 °С.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. И.В. Аверьянова — разработка концепции и дизайна исследования, анализ и интерпретация данных, обзор литературных источников, написание текста и редактирование статьи; О.О. Алёшина — получение, анализ и интерпретация данных, сбор и анализ литературных источников, написание текста; И.Н. Безменова — получение, анализ и интерпретация данных, сбор и анализ литературных источников, написание текста; С.И. Вдовенко — получение, анализ и интерпретация данных, сбор и анализ литературных источников, написание текста. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Работа выполнена за счёт бюджетного финансирования НИЦ «Арктика» ДВО РАН в рамках темы «Изучение межсистемных и внутрисистемных механизмов реакций в формировании функциональных адаптивных резервов организма человека «северного типа» на разных этапах онтогенеза лиц, проживающих в дискомфортных и экстремальных

условиях с определением интегральных информативных индексов здоровья» (рег. номер АААА-А21-121010690002-2) и за счёт спонсорской помощи ООО «ОМЕГА-СИ».

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информированное согласие на участие в исследовании. Все участники до включения в исследование добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. I.V. Averyanova — development of the concept and design of the study, analysis and interpretation of data, review of literary sources, writing and editing the article; O.O. Alyoshina — obtaining, analysis and interpretation of data, collection and analysis of literary sources, writing the text; I.N. Bezmenova, — obtaining, analysis and interpretation of data, collection and analysis of literary sources, writing the text; S.I. Vdovenko — obtaining, analysis and interpretation of data,

collection and analysis of literary sources, writing the text. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding source. The work has been fulfilled with Arktika Scientific Research Center Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, under the financial support of the Russian Federation budget within the framework of the project "Study of intersystem and intrasystem mechanisms involved in developing functional and adaptive reserves of the northern type man at different stages of ontogenesis under discomfort and extreme conditions of residence with the determination of health integral informative indices" (registration number, АААА-А21-121010690002-2) and due to the sponsorship of LLC "OMEGA-SI".

Competing interests. The authors confirm the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Patients' consent. Written consent was obtained from all the study participants before the study screening in according to the study protocol approved by the local ethic committee.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Stark KD, Van Elswyk ME, Higgins MR, et al. Global survey of the omega-3 fatty acids, docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid in the blood stream of healthy adults. *Prog Lipid Res.* 2016;63:132–152. doi: 10.1016/j.plipres.2016.05.001
2. Karsli B. Comparative analysis of the fatty acid composition of commercially available fish oil supplements in Turkey: Public health risks and benefits. *Journal of Food Composition and Analysis.* 2021;103(1-20):104105. doi: 10.1016/j.jfca.2021.104105
3. Berge K, Musa-Veloso K, Harwood M, et al. Krill oil supplementation lowers serum triglycerides without increasing low-density lipoprotein cholesterol in adults with borderline high or high triglyceride levels. *Nutr Res.* 2014;34(2):126–133. doi: 10.1016/j.nutres.2013.12.003
4. Bernstein AM, Ding EL, Willett WC, Rimm EB. A meta-analysis shows that docosahexaenoic acid from algal oil reduces serum triglycerides and increases HDL-cholesterol and LDL-cholesterol in persons without coronary heart disease. *J Nutr.* 2012;142(1):99–104. doi: 10.3945/jn.111.148973
5. Ramel A, Martinez JA, Kiely M, et al. Moderate consumption of fatty fish reduces diastolic blood pressure in overweight and obese European young adults during energy restriction. *Nutrition.* 2010;26(2):168–174. doi: 10.1016/j.nut.2009.04.002
6. Minihane AM, Armah CK, Miles EA, et al. Consumption of fish oil providing amounts of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid that can be obtained from the diet reduces blood pressure in adults with systolic hypertension: a retrospective analysis. *J Nutr.* 2016;146(3):516–523. doi: 10.3945/jn.115.220475
7. Li K, Huang T, Zheng J, et al. Effect of marine-derived n3 polyunsaturated fatty acids on C-reactive protein, interleukin 6 and tumor necrosis factor α : a meta-analysis. *PLoS One.* 2014;9(2):e88103. doi: 10.1371/journal.pone.0088103
8. Yu J, Liu L, Zhang Y, et al. Effects of omega-3 fatty acids on patients undergoing surgery for gastrointestinal malignancy: a systematic review and meta-analysis. *BMC Cancer.* 2017; 17(1):271. doi: 10.1186/s12885-017-3248-y
9. Kiecolt-Glaser JK, Belury MA, Andridge R, et al. Omega-3 supplementation lowers inflammation and anxiety in medical students: a randomized controlled trial. *Brain Behav Immun.* 2011;25(8):1725–1734. doi: 10.1016/j.bbi.2011.07.229
10. Bassett JK, Hodge AM, English DR, et al. Plasma phospholipids fatty acids, dietary fatty acids, and breast cancer risk. *Cancer Causes Control.* 2016;27(6):759–773. doi: 10.1007/s10552-016-0753-2
11. Yang H, Xun P, He K. Fish and fish oil intake in relation to risk of asthma: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2013;8(11):e80048. doi: 10.1371/journal.pone.0080048
12. Zhang Y, Chen J, Qiu J, et al. Intakes of fish and polyunsaturated fatty acids and mild-to-severe cognitive impairment risks: a dose-response meta-analysis of 21 cohort studies. *Am J Clin Nutr.* 2016;103(2):330–340. doi: 10.3945/ajcn.115.124081
13. Stene LC, Joner G, Norwegian Childhood Diabetes Study Group. Use of cod liver oil during the first year of life is associated with lower risk of childhood-onset type 1 diabetes: a large, population-based, case-control study. *Am J Clin Nutr.* 2003;78(6):1128–1134. doi: 10.1093/ajcn/78.6.1128
14. Hoare S, Lithander F, van der Mei I, et al. Higher intake of omega-3 polyunsaturated fatty acids is associated with a decreased risk of a first clinical diagnosis of central nervous system demyelination: results from the Ausimmune study. *Mult Scler.* 2016;22(7):884–892. doi: 10.1177/1352458515604380
15. Harris WS, Tintle NL, Etherton MR, Vasan RS. Erythrocyte long-chain omega-3 fatty acid levels are inversely associated with mortality and with incident cardiovascular disease: the Framingham Heart Study. *J Clin Lipidol.* 2018;12(3):718–727. doi: 10.1016/j.jacl.2018.02.010
16. Heydari B, Abdullah S, Pottala JV, et al. Effect of omega-3 acid ethyl esters on left ventricular remodeling after acute myocardial

- infarction: the OMEGA-REMODEL randomized clinical trial. *Circulation*. 2016;134(5):378–391. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.019949
17. Ramakrishnan U, Gonzalez-Casanova I, Schnaas L, et al. Prenatal supplementation with DHA improves attention at 5 y of age: a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr*. 2016;104(4):1075–1082. doi: 10.3945/ajcn.114.101071
 18. Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, et al. Homeostasis model assessment: insulin resistance and β -cell function from fasting plasma glucose and insulin concentration in man. *Diabetologia*. 1985;28(7):412–419. doi: 10.1007/bf00280883
 19. Klimov AN, Nikul'cheva NG. Lipid and lipoprotein metabolism and its disorders: a guide for doctors. St. Petersburg: Peter Kom; 1999. (In Russ.)
 20. Ezhov MV, Kukharchuk VV, Sergienko IV, et al. Disorders of lipid metabolism. Clinical Guidelines 2023. *Russian Journal of Cardiology*. 2023;28(5):250–297. doi: 10.15829/1560-4071-2023-5471 EDN: YVZOWJ
 21. National Cholesterol Education Program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III). Third Report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III) final report. *Circulation*. 2002;106(25):3143–3421.
 22. Katsuki A, Sumida Y, Gabazza EC, et al. Homeostasis model assessment is a reliable indicator of insulin resistance during follow-up of patients with type 2 diabetes. *Diabetes Care*. 2001;24(2):362–365. doi: 10.2337/diacare.24.2.362
 23. Vitamin D deficiency: clinical recommendations of the Russian Association of Endocrinologists. [cited 2024 Nov 21]. Available from: https://rae-org.ru/system/files/documents/pdf/d_2021.pdf (In Russ.)
 24. Albracht-Schulte K, Kalupahana NS, Ramalingam L, et al. Omega-3 fatty acids in obesity and metabolic syndrome: a mechanistic update. *J Nutr Biochem*. 2018;58:1–16. doi: 10.1016/j.jnutbio.2018.02.012
 25. Krebs J, Browning L, McLean N, et al. Additive benefits of long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids and weight-loss in the management of cardiovascular disease risk in overweight hyperinsulinaemic women. *International Journal of Obesity*. 2006;30(10):1535–1544. doi: 10.1038/sj.ijo.0803309
 26. Sjoberg NJ, Milte CM, Buckley JD, et al. Dose-dependent increases in heart rate variability and arterial compliance in overweight and obese adults with DHA-rich fish oil supplementation. *British Journal of Nutrition*. 2010;103(2):243–248. doi: 10.1017/s000711450999153x
 27. McLennan PL. Cardiac physiology and clinical efficacy of dietary fish oil clarified through cellular mechanisms of omega-3 polyunsaturated fatty acids. *European Journal of Applied Physiology*. 2014;114(7):1333–1356. doi: 10.1007/s00421-014-2876-z
 28. Fedorovich AA. Non-invasive evaluation of vasomotor and metabolic functions of microvascular endothelium in human skin. *Microvascular Research*. 2012;84(1):86–93. doi: 10.1016/j.mvr.2012.03.011
 29. Hulbert AJ, Turner N, Storlien LH, Else PL. Dietary fats and membrane function: implications for metabolism and disease. *Biol Rev*. 2005;80(1):155–169. doi: 10.1017/s1464793104006578
 30. Mason RP, Jacob RF, Shrivastava S, et al. Eicosapentaenoic acid reduces membrane fluidity, inhibits cholesterol domain formation, and normalizes bilayer width in atherosclerotic-like model membranes. *Biochim Biophys Acta*. 2016;1858(12):3131–3140. doi: 10.1016/j.bbame.2016.10.002
 31. Makhutova ON, Gladyshev MI. Essential PUFA in physiology and metabolism of fish and human: functions, needs, sources. *Russian Journal of Physiology*. 2020;106(5):601–621. doi: 10.31857/S0869813920050040 EDN: PKYGZE
 32. Fedor D, Kelley DS. Prevention of insulin resistance by n-3 polyunsaturated fatty acids. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 2009;12(2):138–146. doi: 10.1097/mco.0b013e3283218299
 33. Yakovleva OA, Marchenko KG, Kosovan AI. Omega-3 fatty acids: from physiological significance to evidence-based medicine. *Rational Pharmacotherapy*. 2008;2(2):42–46. (In Russ.)
 34. Kvashnina LV, Ignatova TB, Rodionov VP, Makovkina YuA. Approaches to the treatment of children with vegetative dysfunction occurring with lipid metabolism disorders and endothelial dysfunction. *Sovremennaya Pediatriya*. 2013;(8):102–109. EDN: TTLBVX
 35. De Caterina R, Massaro M. Omega-3 fatty acids and the regulation of expression of endothelial pro-atherogenic and pro-inflammatory genes. *J Membr Biol*. 2005;206(2):103–116. doi: 10.1007/s00232-005-0783-2
 36. Wolkowitz OM, Epel ES, Reus VI. Stress hormone-related psychopathology: pathophysiological and treatment implications. *World J Biol Psychiatry*. 2001;2(3):115–143. doi: 10.3109/15622970109026799
 37. Averyanova IV, Vdovenko SI. Peculiarities of morphological and functional characteristics of residents of the north-east of Russia, depending on background meteorological and heliomagnetic indices. *Cardiometry*. 2018;12:55–65. doi: 10.12710/cardiometry.2018.12.5565

ОБ АВТОРАХ

*Алёшина Ольга Олеговна;

адрес: Россия, 685000, Магадан, пр-кт Карла Маркса, д. 24;
ORCID: 0000-0002-5718-5398;
eLibrary SPIN: 9504-6020;
e-mail: oalesina597@gmail.com

AUTHORS' INFO

*Olga O. Alyoshina;

address: 24 Karl Marx ave, Magadan, Russia, 685000;
ORCID: 0000-0002-5718-5398;
eLibrary SPIN: 9504-6020;
e-mail: oalesina597@gmail.com

Аверьянова Инесса Владиславовна, д-р биол. наук,
профессор ДВО РАН;
ORCID: 0000-0002-4511-6782;
eLibrary SPIN: 9402-0363;
e-mail: Inessa1382@mail.ru

Безменова Ирина Николаевна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0003-3251-5159;
eLibrary SPIN: 9123-7361;
e-mail: lependina_bel@mail.ru

Вдовенко Сергей Игоревич, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0003-4761-5144;
eLibrary SPIN: 5475-4644;
e-mail: vdovenko.sergei@yandex.ru

Inessa V. Averyanova, Dr. Sci. (Biology),
Professor FEB RAS;
ORCID: 0000-0002-4511-6782;
eLibrary SPIN: 9402-0363;
e-mail: Inessa1382@mail.ru

Irina N. Bezmenova, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0003-3251-5159;
eLibrary SPIN: 9123-7361;
e-mail: lependina_bel@mail.ru

Sergei I. Vdovenko, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0003-4761-5144;
eLibrary SPIN: 5475-4644;
e-mail: vdovenko.sergei@yandex.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco637358>

Связь гиперурикемии и сахарного диабета 2-го типа с когнитивными функциями, оценёнными с использованием метода слуховых потенциалов P300, у пожилых людей с контролируемой артериальной гипертензией

О.В. Кривоногова^{1,2}, Е.В. Кривоногова^{1,2}, Л.В. Поскотинова^{1,2}

¹ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия;

² Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В мире число людей с деменцией и когнитивными нарушениями постоянно увеличивается. Выявление факторов риска развития когнитивных нарушений и контроль этих факторов имеют большое значение для сохранения когнитивных функций.

Цель. Оценить связь гиперурикемии и сахарного диабета 2-го типа с когнитивными функциями, оценёнными с помощью параметров слуховых вызванных потенциалов, связанных с событием P300, у пожилых людей с контролируемой артериальной гипертензией.

Материалы и методы. Обследована выборка пожилых людей 60–74 лет. Сформированы четыре группы: группа I (контрольная) — без сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета и с нормальным уровнем мочевины ($n=42$); группа II — с контролируемой артериальной гипертензией ($n=87$); группа III — с контролируемой артериальной гипертензией и сахарным диабетом 2-го типа ($n=34$); группа IV — с контролируемой артериальной гипертензией и гиперурикемией ($n=17$). Параметры слухового вызванного потенциала P300 оценивали с помощью электроэнцефалографа (Neuron-Spectrum-4/VPM, Россия).

Результаты. У пожилых людей с контролируемой артериальной гипертензией не было выявлено статистически значимых различий в латентности и амплитуде P300 по сравнению с контрольной группой. В группе с сахарным диабетом 2-го типа и контролируемой артериальной гипертензией наблюдалось увеличение латентности и снижение амплитуды P300 по сравнению с контрольной группой. В группе с гиперурикемией и контролируемой артериальной гипертензией обнаружена более низкая амплитуда P300, чем в контрольной группе.

Заключение. У пожилых людей с гиперурикемией и контролируемой артериальной гипертензией наблюдалась более низкая амплитуда P300, что указывало на снижение ресурсов внимания. У пожилых людей с контролируемой артериальной гипертензией и сахарным диабетом 2-го типа наблюдалось увеличение латентности и снижение амплитуды P300, что отражает снижение скорости обработки информации и увеличение времени принятия решений, а также снижение ресурсов внимания.

Ключевые слова: артериальная гипертензия; гиперурикемия; сахарный диабет 2-го типа; когнитивная дисфункция; вызванные потенциалы, связанные с событием; пожилые люди.

Как цитировать:

Кривоногова О.В., Кривоногова Е.В., Поскотинова Л.В. Связь гиперурикемии и сахарного диабета 2-го типа с когнитивными функциями, оценёнными с использованием метода слуховых потенциалов P300, у пожилых людей с контролируемой артериальной гипертензией // Экология человека. 2024. Т. 31, № 6. С. 484–493. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco637358>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco637358>

Association of hyperuricemia and type 2 diabetes mellitus with cognitive functions assessed using the event-related P300 potential in older individuals with controlled arterial hypertension

Olga V. Krivonogova^{1, 2}, Elena V. Krivonogova^{1, 2}, Lilia V. Poskotinova^{1, 2}

¹ Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Arkhangelsk, Russia;

² Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The number of individuals with dementia and cognitive impairment is steadily increasing worldwide. Identifying and controlling risk factors for cognitive decline is crucial for preserving cognitive function.

AIM: To assess the association of hyperuricemia and type 2 diabetes mellitus (T2DM) with cognitive functions, evaluated using parameters of the auditory event-related P300 potential in elderly individuals with controlled arterial hypertension (AH).

MATERIALS AND METHODS: A cohort of individuals aged 60–74 years was examined. Four groups were formed: Group I (control), without cardiovascular diseases or diabetes, and with normal uric acid levels ($n=42$); Group II, with controlled AH ($n=87$); Group III, with controlled AH and T2DM ($n=34$); and Group IV, with controlled AH and hyperuricemia ($n=17$). The parameters of the auditory event-related P300 potential were assessed using an electroencephalograph (Neuron-Spectrum-4/VPM, Russia).

RESULTS: No statistically significant differences in P300 latency and amplitude were found in older individuals with controlled AH compared to the control group. In the group with T2DM and controlled AH, an increase in P300 latency and a decrease in amplitude were observed compared to the control group. In the group with hyperuricemia and controlled AH, a lower P300 amplitude was detected compared to the control group.

CONCLUSION: Older individuals with hyperuricemia and controlled AH exhibited a lower P300 amplitude, indicating reduced attentional resources. Those with controlled AH and T2DM showed increased P300 latency and decreased amplitude, reflecting slower information processing, prolonged decision-making time, and diminished attentional resources.

Keywords: hypertension; hyperuricemia; type 2 diabetes mellitus; cognitive dysfunction; event-related potentials; aged.

To cite this article:

Krivonogova OV, Krivonogova EV, Poskotinova LV. Association of hyperuricemia and type 2 diabetes mellitus with cognitive functions assessed using the event-related P300 potential in older individuals with controlled arterial hypertension. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(6):484–493.

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco637358>

Received: 22.10.2024

Accepted: 13.12.2024

Published online: 12.01.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco637358>

高尿酸血症和2型糖尿病与老年高血压患者认知功能的相关性：基于 P300 事件相关电位的评估

Olga V. Krivonogova^{1,2}, Elena V. Krivonogova^{1,2}, Lilia V. Poskotinova^{1,2}¹ Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Arkhangelsk, Russia;² Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

摘要

背景。全球范围内痴呆和认知障碍患者数量持续增加。识别和控制认知功能下降的风险因素对于保持认知功能至关重要。

研究目的。评估高尿酸血症和2型糖尿病对老年高血压患者认知功能的影响，并基于听觉事件相关 P300 电位参数进行认知功能评估。

材料与方法。研究对象为60 - 74 岁的老年人，按照病情分为四组：I 组（对照组）— 无心血管疾病、无糖尿病，且尿酸水平正常（ $n=42$ ）；II 组 — 控制性高血压（ $n=87$ ）；III 组 — 控制性高血压合并2型糖尿病（ $n=34$ ）；IV 组 — 控制性高血压合并高尿酸血症（ $n=17$ ）。通过脑电图仪（Neuron-Spectrum-4/VPM，俄罗斯）测量听觉事件相关 P300 电位的参数，包括P300 潜伏期和振幅。

结果。控制性高血压患者（II 组）的 P300 潜伏期和振幅与对照组相比无统计学显著差异。合并 2型糖尿病（III 组）的患者 P300 潜伏期显著延长，振幅降低。合并高尿酸血症（IV 组）的患者 P300 振幅显著低于对照组。

结论。合并高尿酸血症的老年高血压患者的P300 振幅降低，提示注意力资源减少。合并 2型糖尿病的患者P300 潜伏期延长，振幅降低，反映出信息处理速度下降、决策时间延长及注意力资源减少。

关键词：高血压；高尿酸血症；2型糖尿病；认知功能障碍；事件相关电位；老年人。

引用本文：

Krivonogova OV, Krivonogova EV, Poskotinova LV. 高尿酸血症和2型糖尿病与老年高血压患者认知功能的相关性：基于 P300 事件相关电位的评估. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(6):484–493. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco637358>

收到: 22.10.2024

接受: 13.12.2024

发布日期: 12.01.2025

ОБОСНОВАНИЕ

С увеличением продолжительности жизни растёт распространённость когнитивных нарушений и деменции [1]. Выявление и контроль факторов риска развития когнитивных нарушений имеет большое значение для сохранения здоровья. В последнее время особое внимание уделяется последствиям гиперурикемии [2], которые выходят за рамки проявлений подагры и увеличивают сердечно-сосудистый риск [3]. Распространённость гиперурикемии растёт во всём мире [4] и увеличивается с возрастом [5]. Её влияние на когнитивные функции противоречиво и до конца не изучено, особенно у пожилых людей [3, 4]. Некоторые исследования показали, что у пожилых людей повышенный уровень мочевой кислоты связан с ухудшением рабочей и вербальной памяти [4]. В других исследованиях гиперурикемию связывают со снижением риска развития деменции [4] и улучшением когнитивных функций [3]. Однако установить влияние гиперурикемии на когнитивные функции у пожилых людей несколько затруднительно, поскольку они часто имеют одновременно два или более заболеваний [6]. Самым распространённым заболеванием у пожилых людей является артериальная гипертензия (АГ) [7]. Сочетание повышенного содержания мочевой кислоты и АГ встречается достаточно часто [8]. Исследования показывают, что неконтролируемая АГ является независимым фактором риска развития когнитивных нарушений [9]. Снижение артериального давления у пациентов с АГ и применение антигипертензивной терапии снижают риск развития деменции и недементных когнитивных нарушений [7, 10]. Исследования показывают, что контроль уровня артериального давления может играть важную роль в сохранении когнитивных способностей [11].

Для оценки когнитивных функций используют метод вызванных потенциалов, связанных с событиями Р300. Реакции биоэлектрической активности мозга на стимулы оценивают путём изменения основных параметров потенциалов, связанных с событием, — амплитуды и латентности [12]. Ещё одним распространённым заболеванием у пожилых людей является сахарный диабет 2-го типа (СД2), который увеличивает риск когнитивных нарушений и деменции [13]. СД2 и АГ часто сосуществуют и усугубляют симптомы друг друга [14]. Опубликованы исследования с использованием вызванных потенциалов, связанных с событием, у людей среднего возраста с СД [15] и исследования, охватывающие широкий возрастной диапазон от 7 до 70 лет без стратификации по возрастным подгруппам [16]. Учитывая, что у пожилых людей встречается два и более заболеваний и контроль артериального давления в пределах нормальных значений сохраняет когнитивные функции, для определения связи гиперурикемии и СД2 с когнитивными функциями мы сформировали группы пожилых людей с контролируемой АГ и гиперурикемией, с контролируемой АГ и СД2, с контролируемой АГ и группу

людей без сердечно-сосудистых заболеваний, СД и с нормальным уровнем мочевой кислоты.

Цель исследования. Оценить связь гиперурикемии и СД2 с когнитивными функциями, оценёнными с помощью параметров слуховых вызванных потенциалов, связанных с событием Р300, у пожилых людей с контролируемой АГ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследовано 180 мужчин и женщин 60–74 лет, проживающих в Архангельске, которые являлись участниками случайной популяционной выборки, сформированной для целей поперечного исследования сердечно-сосудистых заболеваний «Узнай своё сердце» (Архангельск, 2015–2017 гг.). В основу легла обезличенная база адресов жителей города, предоставленная региональным фондом обязательного медицинского страхования [17]. На основании полученных информированных согласий на приглашение к участию в новых исследованиях посредством телефонных и почтовых контактов участники исследования «Узнай своё сердце» в 2021 г. приглашались для участия в исследовании ЭССЕ-РФ3 [18, 19], в 2023 г. — для участия в исследовании «Биомаркеры индивидуальной жизнеспособности у жителей Европейского Севера России»¹. В анализ из числа обследованных были включены лица с СД2, АГ, бессимптомной гиперурикемией. В группу сравнения включили пожилых людей соответствующего возраста и пола без сердечно-сосудистых заболеваний и с нормальным уровнем сывороточной мочевой кислоты, а также с отсутствием СД.

Критерии исключения из исследования: более 14 баллов по шкале депрессии Бека, эпилепсия, болезнь Паркинсона, черепно-мозговая травма, острое нарушение мозгового кровообращения, психические заболевания, снижение скорости клубочковой фильтрации (СКФ <60 мл/мин/1,73 м²), фибрилляция предсердий.

Все участники обследованы с помощью общеклинических (сбор анамнеза, антропометрия) и биохимических методов с определением гликемии, гликированного гемоглобина (HbA1c), сывороточной мочевой кислоты, с тестированием по шкале депрессии Бека и оценкой вызванных потенциалов, связанных с событием Р300. Данные о длительности СД2, АГ, приёме препаратов собраны путём опроса участников. Все пациенты с АГ получали антигипертензивную терапию и имели уровни систолического артериального давления (САД) меньше 140 мм рт. ст. и диастолического артериального давления (ДАД) меньше 90 мм рт. ст.

Забор образцов крови у участников производили в 2021 г. в рамках ЭССЕ-РФ3. Кровь брали из локтевой

¹ Карточка проекта фундаментальных и поисковых научных исследований, поддержанного Российским научным фондом: https://rscf.ru/prjcard_int?23-15-20017&ysclid=m5v67afia844644002

вены, натошак. HbA1c (%) определяли в цельной крови турбидиметрическим методом на биохимическом анализаторе Random Access A-15 (BioSystems, Испания) в лаборатории Северного государственного медицинского университета (Архангельск). Сыворотку крови получали путём низкоскоростного центрифугирования при 1900 g в течение 15 мин при температуре +4 °С. Образцы сыворотки замораживали и хранили на сухом льду до трёх недель при температуре от –20 до –24 °С до отправки в био-банк Национального медицинского исследовательского центра терапии и профилактической медицины (Москва) для хранения при –70 °С и проведения лабораторных исследований. Уровень мочевой кислоты (мг/дл), глюкозы (ммоль/л) в сыворотке определяли колориметрическим методом на биохимическом анализаторе Abbott Architect с8000 (США) с использованием диагностических наборов фирмы Abbott Diagnostic (США). Гиперурикемию определяли как уровень мочевой кислоты ≥ 7 мг/дл у мужчин и ≥ 6 мг/дл у женщин. У 4 (8%) пациентов определялась подагра (принимали аллопуринол), у остальных была бессимптомная гиперурикемия.

Исследование когнитивных функций, тестирование на депрессию, инструментальные измерения (артериальное давление, антропометрия) и сбор данных об образе жизни и заболеваниях были проведены в рамках исследования «Биомаркеры индивидуальной жизнеспособности у жителей Европейского Севера России» в 2023 г. Параметры слухового вызванного потенциала Р300 оценивали с помощью электроэнцефалографа (NeuronSpectrum-4/ЕРМ, Россия).

Частота квантования сигнала ЭЭГ составляла 500 Гц, в полосе регистрации — 0,5–35,0 Гц. Сопротивление электродов не превышало 10 кОм. Методика Р300 основывается на парадигме «oddball», где в случайной последовательности подаются серии двух слуховых стимулов, среди которых есть незначимые и значимые [20]. Звуковые тоны поступали через колонки, а испытуемому предлагалось реагировать (нажимать на кнопку) при редко встречающихся (значимых) стимулах и игнорировать часто встречающиеся (незначимые) стимулы. Условия стимуляции: бинауральная, длительность стимула — 50 мс, интенсивность — 80 дБ, период между стимулами — 1 с, частота тона — 2000 Гц (значимый стимул) и 1000 Гц (незначимый стимул). Вероятность предъявления значимого стимула — 20% общего количества стимулов [20]. Число усреднений составляло от 15 до 25 для значимых стимулов. Удаление артефактов проводили на основе визуального анализа записи. Также исключали из усреднения при регистрации вызванных потенциалов сигналы, превышающие амплитуду 100 мкВ. Проводили регистрацию электроокулограммы для последующего удаления глазодвигательных артефактов. Оценивали амплитудно-временные параметры ответа на значимые стимулы: амплитуду от пика до пика N2-Р300 и латентное время Р300. Вызванный потенциал Р300 оценивали в лобных

и центральных областях головного мозга (F3, F4, С3, С4).

САД и ДАД регистрировали на плечевой артерии с помощью автоматического тонометра (OMRON Healthcare). Измерения САД и ДАД проводили трижды с двухминутными интервалами. Индекс массы тела (ИМТ) рассчитывали как вес в килограммах, делённый на рост в квадрате в метрах.

Исследуемая выборка состояла из 126 (70%) женщин и 54 (30%) мужчин. Были сформированы четыре группы: I группа (контрольная) — пожилые люди ($n=42$, из них 40,5% мужчин) без сердечно-сосудистых заболеваний и СД2, с уровнем мочевой кислоты в сыворотке крови в пределах нормы; II группа — пожилые люди ($n=87$, 23,0% мужчин) только с контролируемой АГ; III группа — пожилые люди ($n=34$, 44,0% мужчин) с контролируемой АГ и СД2; IV группа — пожилые люди ($n=17$, 11,8% мужчин) с контролируемой АГ и гиперурикемией.

Категориальные переменные описывали абсолютными значениями (абс.) и процентными долями (%). Для проверки непрерывных переменных на соответствие закону нормального распределения использовали критерий Шапиро–Уилка. С учётом результатов последнего непрерывные признаки описывали медианой (Me) с 25-м и 75-м перцентилями (P25; P75). Сравнение нескольких независимых групп по непрерывным признакам проводили с помощью критерия Краскела–Уоллиса. Для попарного сравнения групп II–IV с контрольной группой I использовали U -критерий Манна–Уитни с поправкой Бонферрони, критический уровень значимости — $p < 0,017$. Корреляционный анализ выполняли с использованием коэффициента корреляции Спирмена. Коррекцию полученных связей на потенциальные вмешивающиеся факторы (ИМТ, возраст, пол) проводили с использованием множественной линейной регрессии. Уровень значимости результатов статистических тестов, за исключением ситуаций попарных сравнений, определяли как $p < 0,050$. Условия применимости линейного регрессионного анализа проводили посредством визуальной оценки графиков распределения остатков. Статистическую обработку проводили с помощью программы Statistica 10 (StatSoft, США) и Stata 18.0 (Stata Corp, США).

Протокол исследования ЭССЕ-РФ3 для Архангельской области одобрен локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО СГМУ (Архангельск) Минздрава России (протокол № 01/02-21 от 17.02.2021). Исследование «Биомаркеры индивидуальной жизнеспособности у жителей Европейского Севера России» одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО СГМУ (Архангельск) Минздрава России (протокол № 03/04-23 от 26.04.2023). Все участники предоставили добровольные информированные согласия на участие в каждом из исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Концентрации глюкозы и HbA1c были статистически

Таблица 1. Показатели мочевой кислоты, глюкозы и гликированного гемоглобина в группах исследования, Ме (25; 75)**Table 1.** Uric acid, glucose and glycated hemoglobin levels in groups, Me (25; 75)

Параметры Parameters	I группа I group (n=42)	II группа II group (n=87)	III группа III group (n=34)	IV группа IV group (n=17)
Мочевая кислота, мг/дл Uric acid (mg/dL)	4,8 (4,0; 5,6)	5,1 (4,3; 5,8)	5,5 (4,2; 6,4)	6,8 (6,4; 7,3)*
Глюкоза, ммоль/л Glucose (μmol/L)	5,7 (5,2; 5,9)	5,7 (5,2; 6,2)	6,3 (5,4; 7,1)*	5,7 (5,4; 6,1)
Гликированный гемоглобин, % Glycated hemoglobin (%)	5,3 (4,9; 5,3)	5,1 (4,9; 5,4)	6,0 (5,4; 6,3)*	5,1 (4,9; 5,2)

* $p < 0,001$ — статистически значимые различия по сравнению с контрольной группой, U -критерий Манна–Уитни.

* $p < 0,001$ — statistically significant differences compared to the control group, the Mann–Whitney U test.

значимо выше в III группе, чем в контрольной (табл. 1). Концентрация мочевой кислоты в сыворотке крови была значительно выше в IV группе. Уровни САД и ДАД в группах II, III, IV не отличались (табл. 2). Уровень САД в данных группах был статистически значимо выше по сравнению с контрольной группой, но медиана — в пределах нормальных значений.

Сравнительный анализ компонентов P300 между группой пожилых людей с контролируемой АГ (II группа) и контрольной группой не выявил различий (табл. 3). Латентность P300 в группе с контролируемой АГ и СД2 (III группа) была значительно увеличена в лобных (F_4 , $p=0,004$; F_3 , $p=0,004$) и центральных областях головного мозга (C_4 , $p=0,004$; C_3 , $p=0,012$), а амплитуда P300 снижена в центральных отделах головного мозга (C_4 , $p=0,001$; C_3 , $p=0,008$) по сравнению с контрольной группой. У участников с контролируемой АГ и гиперурикемией

(IV группа) амплитуда P300 была статистически значимо ниже в лобных (F_4 , $p=0,019$; F_3 , $p=0,005$) и центральных областях головного мозга (C_4 , $p=0,005$; C_3 , $p=0,005$) по сравнению с контрольной группой. Статистически значимых различий в латентности P300 между IV и контрольной группами выявлено не было. Корреляционный анализ показал, что амплитуда P300 отрицательно коррелировала с содержанием мочевой кислоты в центральных (C_4 , $r=-0,24$, $p=0,001$; C_3 , $r=-0,18$, $p=0,011$) и лобных (F_4 , $r=-0,24$, $p=0,001$; F_3 , $r=-0,23$, $p=0,001$) областях головного мозга. Латентность P300 не имела какой-либо значимой корреляции с содержанием мочевой кислоты. Уровень HbA1c положительно коррелировал с латентностью P300 в центральных (C_4 , $r=0,22$, $p=0,002$; C_3 , $r=0,20$, $p=0,005$) и лобных (F_4 , $r=0,18$, $p=0,014$; F_3 , $r=0,21$, $p=0,004$) областях и отрицательно коррелировал с амплитудой P300 в центральной (C_4 , $r=-0,25$, $p=0,001$) и лобных (F_4 ,

Таблица 2. Основные демографические показатели и характеристики здоровья участников исследования, Ме (25; 75)**Table 2.** Demographic and health characteristics of study participants, Me (25; 75)

Параметры Parameters	I группа I group (n=42)	II группа II group (n=87)	III группа III group (n=34)	IV группа IV group (n=17)
Возраст, лет Age (years)	64,9 (62,0; 67,0)	65,0 (62,0; 70,0)	69 (65,5; 73,0)***	67,0 (65,0; 68,0)*
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст. Systolic blood pressure (mm Hg)	117,0 (110,0; 126,0)	129,0 (123,0; 133,0)***	127,5 (115,5; 134,5)**	126,0 (119,0; 134,0)**
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст. Diastolic blood pressure (mm Hg)	76,7 (70,0; 82,0)	82,0 (77,0; 87,0)**	75,5 (70,0; 83,0)	77,0 (72,0; 84,0)
Индекс массы тела, кг/м ² Body mass index (kg/m ²)	26,1 (23,2; 28,7)	28,9 (25,1; 31,2)**	29,4 (26,7; 32,1)***	33,9 (29,4; 36,5)***
Продолжительность артериальной гипертензии, лет Duration of arterial hypertension (years)	—	11 (7; 20)	20 (10; 27)	15 (10; 20)
Продолжительность сахарного диабета 2-го типа, лет Type 2 diabetes mellitus duration (years)	—	—	9 (2; 17)	—

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ — статистически значимые различия по сравнению с контрольной группой, U -критерий Манна–Уитни.

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ — statistically significant differences compared to the control group, the Mann–Whitney U test.

Таблица 3. Латентность и амплитуда слухового вызванного потенциала P300, связанного с событием, Me (25; 75)**Table 3.** Latency and amplitude of the event-related potential P300, Me (25; 75)

Каналы ЭЭГ EEG channels	I группа I group (n=42)	II группа II group (n=87)	III группа III group (n=34)	IV группа IV group (n=17)
Латентность P300, мс P300 latency (ms)				
C4	365,1 (346,0; 383,0)	368,0 (348,0; 398,0)	378,0 (356,0; 422,0)*	352,0 (340,0; 384,0)
C3	367,0 (350,0; 384,0)	380,0 (351,0; 401,0)	382,5 (364,5; 418,5)*	368,0 (338,0; 390,0)
F4	360,2 (344,0; 377,0)	364,0 (345,0; 400,0)	382,0 (356,0; 425,0)**	361,0 (354,0; 384,0)
F3	362,9 (345,0; 378,0)	373,0 (350,0; 398,0)	383,0 (365,5; 422,5)**	368,0 (345,0; 388,0)
Амплитуда P300, мВ P300 amplitude (μV)				
C4	11,3 (7,5; 13,7)	10,3 (6,2; 12,5)	6,7(3,7; 11,5)**	6,6 (5,3; 8,9)*
C3	11,1 (7,4; 13,2)	10,1 (7,3; 13,3)	6,8 (3,2; 12,7)*	7,3 (5,2; 7,8)*
F4	9,4 (5,7; 11,0)	8,3 (5,9; 12,8)	6,9 (3,8; 10,1)	5,6 (2,3; 9,5)*
F3	8,9 (5,0; 10,2)	8,4 (5,3; 11,2)	6,3 (3,7; 9,1)	5,2 (4,0; 6,7)*

* $p < 0,05$, ** $p < 0,001$ — статистически значимые различия по сравнению с контрольной группой, U -критерий Манна–Уитни.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.001$ — statistically significant differences compared to the control group, the Mann–Whitney U test.

$r = -0,22$, $p = 0,003$; F3, $r = -0,19$, $p = 0,009$) областях головного мозга. Концентрация глюкозы отрицательно коррелировала с амплитудой P300 в лобных областях (F4, $r = -0,18$, $p = 0,012$; F3, $r = -0,19$, $p = 0,009$) и положительно — с латентностью P300 в лобных областях (F4, $r = 0,17$, $p = 0,02$; F3, $r = 0,17$, $p = 0,02$) и центральной справа (C4, $r = 0,16$, $p = 0,031$). Амплитуда и латентность P300 не имели значимой корреляции с длительностью СД2. После поправки на потенциальные вмешивающиеся факторы

(возраст, ИМТ, пол) не было обнаружено различий в латентности и амплитуде P300 между II и контрольной группами (табл. 4). В III группе наблюдалось увеличение латентности P300 в правой лобной (F4) и центральных (C4, C3) областях, а также снижение амплитуды P300 в центральных (C4, C3) и левой лобной (F3) областях головного мозга по сравнению с контрольной группой. В IV группе наблюдалось снижение амплитуды P300 в правой центральной (C4) и лобных (F4, F3) областях головного мозга.

Таблица 4. Отличия средних значений латентного времени P300 и амплитуды P300 между группами II–IV и контрольной группой I с коррекцией на пол, возраст, индекс массы тела**Table 4.** Differences in mean values of P300 latency and P300 amplitude between groups II–IV with the control group I, adjusted for gender, age, body mass index

Каналы ЭЭГ EEG Leads	I группа I group (n=42)	II группа II group (n=87)	III группа III group (n=34)	IV группа IV group (n=17)
Латентность P300, мс P300 latency (ms)				
C4	Референс Reference	11,01 (–7,11; 29,31)	24,50 (3,18; 51,80)	11,67 (–14,94; 38,28)
C3	Референс Reference	10,28 (–9,51; 30,07)	27,11 (0,71; 53,52)	6,12 (–22,81; 35,04)
F4	Референс Reference	6,26 (–12,46; 24,99)	26,05 (1,05; 51,04)	14,42 (–12,95; 41,79)
F3	Референс Reference	4,01 (–15,52; 23,54)	22,96 (–3,11; 49,02)	9,69 (–18,85; 38,24)
Амплитуда P300, мВ P300 amplitude (μV)				
C4	Референс Reference	–2,04 (–4,81; 0,72)	–5,11 (–8,79; –1,41)	–5,14 (–9,19; –1,09)
C3	Референс Reference	–0,51 (–3,18; 2,18)	–3,93 (–7,49; –0,37)	–4,31 (–8,21; 0,39)
F4	Референс Reference	–0,73 (–3,55; 2,09)	–3,34 (–7,11; 0,43)	–4,69 (–8,82; –0,56)
F3	Референс Reference	–0,41 (–2,94; 2,12)	–3,54 (–6,92; –0,16)	–4,14 (–7,85; –0,44)

Примечание. Множественный линейный регрессионный анализ: регрессионный коэффициент B (95% ДИ).

Note. Multiple linear regression: regression coefficients B (95% CI).

ОБСУЖДЕНИЕ

В этом исследовании оценивали связь гиперурикемии и СД2 с когнитивными функциями с помощью метода вызванных потенциалов, связанных с событием Р300, у пожилых людей с контролируемой АГ. Латентность Р300 отражает скорость нейронных функций, лежащих в основе обработки информации и принятия решений [12, 15, 21]. Амплитуда Р300 пропорциональна ресурсам внимания [21]. В нашем исследовании не было выявлено статистически значимых различий в латентности и амплитуде Р300 у пожилых людей с контролируемой АГ по сравнению с контрольной группой. Это может быть связано с регулярным приёмом гипотензивных препаратов и достижением нормальных значений артериального давления. В группе с СД2 и контролируемой АГ наблюдалось увеличение латентности Р300 по сравнению с контрольной группой. Увеличение латентности Р300 в группе пожилых людей с СД2 и контролируемой АГ свидетельствует о снижении скорости обработки информации, увеличении времени принятия решений по сравнению с контрольной группой. Так как в этой группе артериальное давление находилось в пределах нормальных значений, а пожилые люди регулярно принимали гипотензивные препараты, вполне вероятно, что СД2 играет важную роль в снижении скорости обработки информации головным мозгом. Исследования других авторов подтверждают, что при СД2 особенно сильно страдают скорость когнитивных процессов и исполнительные функции [22]. В литературе имеются данные об увеличении латентности Р300 [16], а также об увеличении латентности Р300 на фоне снижения амплитуды Р300 у людей с СД [15]. Концентрации глюкозы и HbA1c положительно коррелировали с латентностью Р300 и отрицательно — с амплитудой Р300. Амплитуда и латентность Р300 не коррелировали с длительностью СД2. Это позволяет предположить, что гипергликемия влияет на снижение скорости обработки информации и внимание. Повышение уровня глюкозы в крови связано с окислительным стрессом, воспалением и другими факторами, которые могут влиять на нейронную пластичность, синаптическую передачу и приводить к когнитивным нарушениям [23].

В группе с гиперурикемией и контролируемой АГ была обнаружена более низкая амплитуда Р300, чем в контрольной группе, что указывает на снижение ресурсов внимания. Корреляционный анализ показал, что амплитуда Р300 отрицательно коррелировала с содержанием мочевой кислоты. Точные механизмы того, как мочевая кислота влияет на когнитивные функции, остаются неизвестными. Предполагается, что её влияние может быть связано с концентрацией и периодом воздействия. В литературе показано, что повышенный уровень мочевой кислоты связан с атрофией белого вещества больших полушарий головного мозга и ухудшением когнитивных способностей [24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У пожилых людей с гиперурикемией и контролируемой АГ наблюдалась более низкая амплитуда Р300, что указывало на снижение ресурсов внимания. У пожилых людей с контролируемой АГ и СД2 наблюдалось увеличение латентности и снижение амплитуды Р300, что отражает снижение ресурсов внимания, скорости обработки информации и увеличение времени принятия решений. Для снижения распространённости когнитивных нарушений необходимо информировать пациентов о влиянии гиперурикемии и гипергликемии на когнитивные функции, контроле данных параметров, а также о необходимости изменения образа жизни, коррекции рациона питания, повышению приверженности к назначенному лечению.

У исследования есть некоторые ограничения. Одним из них является небольшой размер выборки.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Благодарность. Авторы выражают благодарность А.В. Кудрявцеву.

Вклад авторов. О.В. Кривоногова — концепция и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных, написание текста статьи; Е.В. Кривоногова — концепция и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных, написание текста статьи; Л.В. Поскотинова — получение данных, одобрение финальной версии статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Данная статья подготовлена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-15-20017 «Биомаркеры внутреннего потенциала у жителей Европейского Севера России».

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информированное согласие на участие в исследовании. Все обследования проходили после получения у участников информированного согласия с соблюдением норм биомедицинской этики.

ADDITIONAL INFORMATION

Acknowledgments. The authors express their gratitude to A.V. Kudryavtsev.

Authors' contributions. The greatest contribution is distributed as follows: O.V. Krivonogova – developed the concept and design of the study, received, analyzed and interpreted the data, wrote the text of the article; E.V. Krivonogova – developed the concept and design of the study, received, analyzed and interpreted the data, wrote the text of the article; L.V. Poskotinova – reading and approval of the final version of the article. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research

and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding source. This article was prepared with support by grant No. 23-15-20017 of the Russian Science Foundation "Biomarkers of intrinsic capacity in residents of the European North of Russia".

Conflicts of interest. The authors confirm the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this

article.

Patients' consent. Written consent was obtained from all the study participants before the study screening in according to the study protocol approved by the local ethic committee.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Zueva IB, Krivonosov DS, Buch AV. Assessment of cognitive functions using cognitive evoked potential in patients with arterial hypertension. *International Heart and Vascular Disease Journal*. 2017;5(13):9–12. EDN: YQEDLT
- Drapkina OM, Mazurov VI, Martynov AI, et al. "Focus on hyperuricemia". The resolution of the Expert Council. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2023;22(4):77–84. doi: 10.15829/1728-8800-2023-3564 EDN: KRCKAU
- Tana C, Ticinesi A, Prati B, et al. Uric Acid and cognitive function in older individuals. *Nutrients*. 2018;10(8):975. doi: 10.3390/nu10080975
- Mijailovic NR, Vesic K, Borovcanin MM. The influence of serum uric acid on the brain and cognitive dysfunction. *Frontiers in Psychiatry*. 2022;13:828476. doi: 10.3389/fpsyt.2022.828476
- Shalnova SA, Deev AD, Artamonov GV, et al. Hyperuricemia and its correlates in the Russian population (results of ESSE-RF epidemiological study). *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2014;10(2):153–159. doi: 10.20996/1819-6446-2014-10-2-153-159 EDN: SCOUHN
- Putilina MV. Comorbidity in elderly patients. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2016;116(5):106–111. doi: 10.17116/jnevro201611651106-111 EDN: WAPALL
- Ostroumova OD, Parfenov VA, Ostroumova TM, et al. Expert consensus. Effect of antihypertensive therapy on cognitive functions. *Systemic Hypertension*. 2021;18(1):5–12. doi: 10.26442/2075082X.2021.1.200575 EDN: EXNFNY
- Choi HK, Soriano LC, Zhang Y, Rodríguez, L.A. Antihypertensive drugs and risk of incident gout among patients with hypertension: population based case-control study. *BMJ*. 2012;344:d8190. doi: 10.1136/bmj.d8190
- Zaharov VV, Vahnina NV. Cognitive disorders in arterial hypertension. *Nervous Diseases*. 2013;(3):16–21. (In Russ.) EDN: RHTULZ
- Sánchez-Nieto JM, Rivera-Sánchez UD, Mendoza-Núñez VM. Relationship between arterial hypertension with cognitive performance in elderly. Systematic review and meta-analysis. *Brain Sci*. 2021;11(11):1445. doi: 10.3390/brainsci11111445
- de Menezes ST, Giatti L, Brant LCC, et al. Hypertension, prehypertension, and hypertension control: association with decline in cognitive performance in the ELSA-Brasil Cohort. *Hypertension*. 2021;77(2):672–681. doi: 10.1161/hypertensionaha.120.16080
- Dzhos YuS, Kalinina LP. Cognitive event-related potentials in neurophysiology research (review). *Journal of Medical and Biological Research*. 2018;6(3):223–235. doi: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.223 EDN: XZ0GBV
- Saedi E, Gheini MR, Faiz F, Arami MA. Diabetes mellitus and cognitive impairments. *World Journal of Diabetes*. 2016;7(17):412–422. doi: 10.4239/wjcd.v7.i17.412
- Kálcza Jánosi K, Lukács A. Independent and interactive effect of type 2 diabetes and hypertension on memory functions in middle aged adults. *BMC Endocrine Disorders*. 2023;23(1):59. doi: 10.1186/s12902-023-01308-3
- Anandhalakshmi S, Rajkumar R, Arulmurugan K, et al. Study of neurocognitive function in type 2 diabetes mellitus patients using P300 event-related potential. *Annals of Neurosciences*. 2020;27(3-4):98–103. doi: 10.1177/0972753120966824
- Alvarenga Kde F, Duarte JL, Silva DP, et al. Cognitive P300 potential in subjects with Diabetes Mellitus. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*. 2005;71(2):202–207. doi: 10.1016/s1808-8694(15)31311-2
- Cook S, Malyutina S, Kudryavtsev AV, et al. Know Your Heart: rationale, design and conduct of a cross-sectional study of cardiovascular structure, function and risk factors in 4500 men and women aged 35–69 years from two Russian cities, 2015–18. *Wellcome Open Research*. 2018;3:67. doi: 10.12688/wellcomeopenres.14619.3
- Drapkina OM, Shalnova SA, Imaeva AE, et al. Epidemiology of cardiovascular diseases in regions of Russian Federation. Third survey (ESSE-RF-3). Rationale and study design. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2022;21(5):48–57. doi: 10.15829/1728-8800-2022-3246 EDN: EZUGUW
- Drachev SN, Popov VA, Simakova AA, et al. Study profile: oral health assessment among participants of "Epidemiology of cardiovascular diseases in Russian regions. Third study" in the Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(7):513–526. doi: 10.17816/humeco109191 EDN: JBRRMF
- Gnezditkiy VV, Korepina OS, Chatskaya AV, Klochkova OI. Memory, cognition and the endogenous evoked potentials of the brain: the estimation of the disturbance of cognitive functions and capacity of working memory without the psychological testing. *Progress in Physiological Science*. 2017;48(1):3–23. EDN: YKVECX
- Polich J, Herbst KL. P300 as a clinical assay: rationale, evaluation, and findings. *Int J Psychophysiol*. 2000;38(1):3–19. doi: 10.1016/s0167-8760(00)00127-6
- Ostroumova OD, Surkova EV, Shikh EV, et al. Cognitive impairment in patients with type 2 diabetes mellitus: prevalence, pathogenetic mechanisms, the effect of antidiabetic drugs. *Diabetes Mellitus*. 2018;21(4):307–318. doi: 10.14341/DM9660 EDN: VJNTYI
- Zhang S, Zhang Y, Wen Z, et al. Cognitive dysfunction in diabetes: abnormal glucose metabolic regulation in the brain. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2023;14:1192602. doi: 10.3389/fendo.2023.1192602
- Tian T, Liu X R, Li TT, et al. Detrimental effects of long-term elevated serum uric acid on cognitive function in rats. *Scientific Reports*. 2021;11(1):6732. doi: 10.1038/s41598-021-86279-y

ОБ АВТОРАХ

***Кривоногова Елена Вячеславовна**, канд. биол. наук;
адрес: Россия, 163020, Архангельск, Никольский пр-кт, д. 20;
ORCID: 0000-0002-2323-5246;
eLibrary SPIN: 9022-9696;
e-mail: elena200280@mail.ru

Кривоногова Ольга Вячеславовна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0002-7267-8836;
eLibrary SPIN: 1086-3008;
e-mail: ja.olga1@gmail.com

Поскотинова Лилия Владимировна, д-р биол. наук,
канд. мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-7537-0837;
eLibrary SPIN: 3148-6180;
e-mail: liliya200572@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Elena V. Krivonogova**, Cand. Sci. (Biology);
address: 20 Nikolsky ave, Arkhangelsk, Russia, 163020;
ORCID: 0000-0002-2323-5246;
eLibrary SPIN: 9022-9696;
e-mail: elena200280@mail.ru

Olga V. Krivonogova, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0002-7267-8836;
eLibrary SPIN: 1086-3008;
e-mail: ja.olga1@gmail.com

Lilia V. Poskotinova, Dr. Sci. (Biology), MD, Cand. Sci. (Medicine),
Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-7537-0837;
eLibrary SPIN: 3148-6180;
e-mail: liliya200572@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author