

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

ЭКОЛОГИЯ



ЧЕЛОВЕКА

EKOLOGIYA CHELOVEKA
(HUMAN ECOLOGY)

Volume 32, Issue 1, 2025

1

Том 32

2025



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: Россия, 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: Россия, 163000, 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 ВИННИТИ
- Global Health
- CAB Abstracts
- ProQuest
- InfoBase Index
- КиберЛенинка

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

Литературный редактор: И.Г. Шевченко

Корректор: И.Г. Шевченко

Вёрстка: О.В. Устинкова

Сдано в набор 03.05.2025.

Подписано в печать 04.07.2025.

Выход в свет 16.07.2025.

Формат 60 × 88%. Печать офсетная.

Заказ 5-6703-1v. Цена свободная.

Усл. печ. л. 8,6.

Тираж 300 экз.

Отпечатано в ООО «Типография Экспресс B2B»

Россия, 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>



Экология человека. 2025. Т. 32, № 1.

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

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Ежемесячный научный рецензируемый журнал

Том 32 • № 1 • 2025

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: 0000-0001-8936-7324

Заместители главного редактора

Гудков Андрей Борисович, д-р мед. наук, профессор (Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0001-5923-0941

Ушаков Игорь Борисович, д-р мед. наук, профессор (Москва, Россия)
ORCID: 0000-0002-0270-8622

Научный редактор

Марьяндышев Андрей Олегович, д-р мед. наук, профессор, член-корреспондент РАН
(Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0002-8485-5625

Ответственный секретарь

Постоев Виталий Александрович, канд. мед. наук (Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0003-4982-4169



РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Баранов Александр Васильевич, д.м.н.,
(Сыктывкар, Россия)
ORCID: 0000-0002-3553-9001

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

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

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

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

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

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

Ичитовкина Елена Геннадьевна, д.м.н.,
доцент (Москва, Россия)
ORCID: 0000-0001-8876-669X

Макарова Валерия Ивановна, д.м.н.,
профессор (Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0002-8150-9110
Author ID: 7005797378

Мордовский Эдгар Артурович, д.м.н.,
доцент (Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0002-2346-9763

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 163000,
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](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 32 • Issue 1 • 2025

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), Associate Professor

North State Medical University (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0001-8936-7324

Deputy Editor-in-Chief

Andrey B. Gudkov, MD, Dr. Sci. (Med), Professor (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0001-5923-0941

Igor B. Ushakov, MD, Dr. Sci. (Med), Professor (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-0270-8622

Science editor

Andrey O. Maryandyshev, MD, Dr. Sci. (Med), Professor, RAS Corresponding Member
(Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-8485-5625

Executive editor

Vitaly A. Postoev, MD, Cand. Sci. (Med) (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0003-4982-4169

EDITORIAL COUNCIL

Alexander V. Baranov,

MD, Dr. Sci. (Med), (Syktyvkar, Russia)
ORCID: 0000-0002-3553-9001

Ivan N. Bolotov, Dr. Sci. (Biol), Professor

(Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-3878-4192

Roman V. Buzinov, MD, Dr. Sci. (Med),

Associate Professor (St. Petersburg, Russia)

ORCID: 0000-0002-8624-6452

Valeriy A. Chereshev, MD, Dr. Sci. (Med),

Professor (Ekaterinburg, Russia)

ORCID: 0000-0003-4329-147X

Nataliya V. Dorshakova, MD, Dr. Sci. (Med),

Professor (Petrozavodsk, Russia)

ORCID: 0000-0003-1072-9164

Mika Gissler, Professor (Finland)

ORCID: 0000-0001-8254-7525

Andrej M. Grjibovski,

MD, PhD (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-5464-0498

Lyubov N. Gorbatova, MD, Dr. Sci. (Med),

Professor (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0003-0675-3647

Elena G. Ichitovkina, MD, Dr. Sci. (Med),

Associate Professor (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-8876-669X

Rhonda Johnson, Professor (USA)

ORCID: 0000-0002-7730-7452

Valeriya I. Makarova, MD, Dr. Sci. (Med),

Professor (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-8150-9110

Scopus Author ID: 7005797378

Edgar A. Mordovsky, MD, Dr. Sci. (Med),

Associate Professor (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-2346-9763

Igor G. Mosyagin, MD, Dr. Sci. (Med), Professor

(Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-9485-6584

Evert Nieboer, Professor (Canada)

ORCID: 0000-0001-5165-2832

Kersti Pärna, Associate Professor (Estonia)

ORCID: 0000-0001-7677-9493

Magnus Per, Professor (Norway)

ORCID: 0000-0002-6427-4735

Kalediene Ramune, Professor (Lithuania)

ORCID: 0000-0003-3434-8091

Arja Rautio, Professor (Finland)

ORCID: 0000-0002-5816-533X

Halina Röllin, Professor (South Africa)

ORCID: 0000-0001-5247-6519

Marilza Vieira Cunha Rudge,

Professor (Brazil)

ORCID: 0000-0002-9227-832X

Jonatan Ruiz, Professor (Spain)

ORCID: 0000-0002-7548-7138

Zumin Shi, Professor (Qatar)

ORCID: 0000-0002-3099-3299

Genrikh A. Sofronov, MD, Dr. Sci. (Med),

Professor (St. Petersburg, Russia)

ORCID: 0000-0002-8587-1328

Andrey G. Soloviev, MD, Dr. Sci. (Med),

Professor (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-0350-1359

Pal Weihe, Professor (Faroe Islands)

ORCID: 0000-0001-8174-3671

Agneta Yngve, Professor (Sweden)

ORCID: 0000-0002-7165-279X

Canqing Yu, Professor (China)

ORCID: 0000-0002-0019-0014

Nina V. Zaytseva, MD, Dr. Sci. (Med),

Professor (Perm, Russia)

ORCID: 0000-0003-2356-1145

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРЫ

И.О. Балунов, А.С. Михалищина, А.А. Венерин, О.С. Глазачев
Технологии искусственного интеллекта в медико-биологических исследованиях
адаптации и дезадаптации человека к различным факторам среды7

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Е.П. Муртазина, О.И. Ермакова, С.С. Перцов
Стратегии совместной когнитивной деятельности в диадах испытуемых с разными
индивидуально-типологическими характеристиками..... 20

О.Н. Рагозин, L. Muthelo, Е.Ю. Шаламова, А.Б. Гудков, И.В. Радыш, Э.Р. Рагозина, И.А. Погонишева
Цирканнуальные вариации парциальной плотности кислорода в зависимости
от уровня солнечной активности и климатического пояса 32

И.В. Мыльникова, О.Г. Богданова, Е.З. Урбанова, Н.В. Ефимова
Оценка психофункциональных возможностей центральной нервной системы детей-бурят
при избыточном использовании смартфонов 42

И.В. Заикина, Н.Е. Комлева, С.И. Мазилев, М.В. Поздняков, В.Н. Долич, С.В. Райкова
Оценка пищевого статуса работающего населения в зависимости от пола и коэффициента
физической активности 52

В.Н. Ананьев, Г.В. Ананьев, В.И. Торшин, О.В. Ананьева
Адренорецепторные механизмы функционального симпатолизиса в регуляции
регионального кровотока на эпинефрин на фоне 5-дневной холодовой адаптации 64

CONTENTS

REVIEWS

<i>Ilya O. Balunov, Alina S. Mikhailishchina, Andrey A. Venerin, Oleg S. Glazachev</i> Artificial intelligence technologies in biomedical research on human adaptation and maladaptation to environmental factors.....	7
--	---

ORIGINAL STUDY ARTICLES

<i>Elena P. Murtazina, Olga I. Ermakova, Sergey S. Pertsov</i> Joint cognitive task strategies in participant dyads with different personality profiles	20
<i>Oleg N. Ragozin, Livhuwani Muthelo, Elena Yu. Shalamova, Andrei B. Gudkov, Ivan V. Radysh, Elina R. Ragozina, Irina A. Pogonysheva</i> Circannual variations in partial oxygen density depending on solar activity level and climatic zone	32
<i>Inna V. Mylnikova, Olga G. Bogdanova, Ekaterina Z. Urbanova, Natalya V. Efimova</i> Assessment of psychophysiological functions of the central nervous system in buryat children with excessive smartphone use	42
<i>Inna V. Zaikina, Nataliia E. Komleva, Svyatoslav I. Mazilov, Michail V. Pozdnyakov, Vladimir N. Dolich, Svetlana V. Raikova</i> Assessment of nutritional status in the working population based on sex and physical activity level.....	52
<i>Vladimir N. Ananov, Georgy V. Ananov, Vladimir I. Torshin, Olga V. Ananov</i> Adrenergic receptor mechanisms of functional sympatholysis in the regulation of regional blood flow in response to epinephrine after 5-day cold acclimation	64

Технологии искусственного интеллекта в медико-биологических исследованиях адаптации и дезадаптации человека к различным факторам среды

И.О. Балунов¹, А.С. Михалищина², А.А. Венерин², О.С. Глазачев²

¹ Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия;

² Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Количество факторов внешней среды, воздействующих на человека одновременно, чрезвычайно велико. Отслеживание их в динамике стало возможно благодаря развитию технологий искусственного интеллекта, включая алгоритмы машинного обучения, глубокого обучения и генеративный искусственный интеллект. Внедрение данного спектра технологических решений нового поколения в медико-биологические науки позволяет обнаруживать неявные взаимосвязи исследуемых элементов и процессов, упускаемые ранее. В контексте исследований механизмов адаптации и дезадаптации человека особое внимание следует уделить экзогенной гипоксии как одному из наиболее значимых факторов внешней среды, исследуемых в рамках экологии, физиологии и клинической медицины. Тема индивидуальных маркеров устойчивости человека к гипоксии до сих пор остаётся открытой и регулярно освещаемой в физиологических и патофизиологических работах. В последних методы машинного и глубокого обучения уже нашли широкое применение, включая анализ мультимодальных физиологических данных. Например, разработана модель машинного обучения, прогнозирующая развитие острой горной болезни с чувствительностью 0,998 и специфичностью 0,978. Для обучения модели использовались физиологические показатели испытуемых и климатические данные, фиксируемые в режиме реального времени. Таким образом, применение инструментов искусственного интеллекта для планирования научных исследований, обработки полученных данных и создания прогностических моделей существенно расширяет горизонт актуального понимания физиологических механизмов адаптации человека к гипоксии и позволяет на новом технологическом уровне подойти к анализу других факторов внешней среды.

Ключевые слова: искусственный интеллект; факторы среды; гипоксия; машинное обучение; адаптация.

Как цитировать:

Балунов И.О., Михалищина А.С., Венерин А.А., Глазачев О.С. Технологии искусственного интеллекта в медико-биологических исследованиях адаптации и дезадаптации человека к различным факторам среды // Экология человека. 2025. Т. 32, № 1. С. 7–19. DOI: 10.17816/humeco643537 EDN: WCVHEG

Artificial Intelligence Technologies in Biomedical Research on Human Adaptation and Maladaptation to Environmental Factors

Ilya O. Balunov¹, Alina S. Mikhlishchina², Andrey A. Venerin², Oleg S. Glazachev²

¹ N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia;

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

The number of environmental factors simultaneously affecting the human body is extremely large. Tracking these factors in time has become possible thanks to the development of artificial intelligence technologies, including machine learning algorithms, deep learning algorithms, and generative artificial intelligence. The integration of this new generation of technological solutions into biomedical sciences enables the identification of hidden interdependencies among studied elements and processes that were previously overlooked. In the context of research on the mechanisms of human adaptation and maladaptation, special attention should be given to exogenous hypoxia as one of the most significant environmental factors studied within ecology, physiology, and clinical medicine. The topic of individual markers of human resistance to hypoxia remains open and is regularly addressed in physiological and pathophysiological works. In recent works, methods of machine and deep learning have already found wide application, including the analysis of multimodal physiological data. For example, a machine learning model has been developed to predict the development of acute mountain sickness with a sensitivity of 0.998 and a specificity of 0.978. The model was trained using physiological indicators of test subjects and real-time climate data. Thus, the application of artificial intelligence tools for scientific research planning, data processing, and the creation of predictive models significantly expands the current understanding of physiological mechanisms of human adaptation to hypoxia and enables the analysis of other environmental factors to be carried out at a new technological level.

Keywords: artificial intelligence; environmental factors; hypoxia; machine learning; adaptation.

To cite this article:

Balunov IO, Mikhlishchina AS, Venerin AA, Glazachev OS. Artificial intelligence technologies in biomedical research on human adaptation and maladaptation to environmental factors. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(1):7–19. DOI: 10.17816/humeco643537 EDN: WCVHEG

人工智能技术在医学-生物科学研究中用于分析人类对不同环境因素的适应与失调

Ilya O. Balunov¹, Alina S. Mikhlishchina², Andrey A. Venerin², Oleg S. Glazachev²

¹ N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia;

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

摘要

在同一时刻作用于人体的环境因素数量极为庞大。随着人工智能技术的发展，特别是机器学习、深度学习以及生成式人工智能算法的广泛应用，动态监测这些因素已成为可能。新一代人工智能解决方案在医学-生物科学研究中的引入，使得研究者能够识别出此前未被发现的研究要素与生理过程之间的隐性相互关系。在探讨人类对环境适应与失调机制的研究背景下，外源性低氧应作为生态学、生理学及临床医学中最重要的环境因素之一被重点关注。个体对低氧耐受的标志物仍是一个开放性议题，至今仍频繁出现在生理学和病理生理学研究中。机器学习和深度学习已被广泛应用于该领域，尤其是在多模态生理数据的分析方面。例如，研究人员已构建出一种预测急性高原病发生的机器学习模型，其灵敏度达0.998，特异性为0.978。该模型基于受试者的生理参数与实时采集的气候数据进行训练。因此，在科研设计、数据分析和预测建模过程中应用人工智能工具，显著拓宽了对人体低氧适应生理机制的当前认识，并使我们能够在新的技术层面上开展对其他环境因素的分析。

关键词：人工智能；环境因素；低氧；机器学习；适应。

引用本文：

Balunov IO, Mikhlishchina AS, Venerin AA, Glazachev OS. 人工智能技术在医学-生物科学研究中用于分析人类对不同环境因素的适应与失调. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(1):7–19. DOI: 10.17816/humeco643537 EDN: WCVHEG

ОБОСНОВАНИЕ

Технологии искусственного интеллекта (ИИ) стали центральными в развивающемся шестом технологическом цикле. Влияние новых инструментов на научные исследования в самых разных областях невозможно переоценить. Из аналитического отчёта публикационной активности следует, что в период с 2019 по 2023 г. число публикаций российских авторов на конференциях в области ИИ уровня А* увеличилось на 70%, а экономический эффект от внедрения ИИ оценивается в десятки триллионов рублей к концу десятилетия [1]. Грандиозный потенциал ИИ имеет и в сфере медико-биологических наук. Например, ИИ используется для анализа медицинских изображений, таких как рентгеновские снимки, КТ и МРТ, с целью раннего выявления заболеваний. Новым направлением, обязанным своим появлением технологиям ИИ, являются виртуальные ассистенты и носимые устройства, которые собирают данные о состоянии здоровья пациентов и помогают контролировать хронические заболевания [2]. ИИ применим не только в клинической практике, но и в фундаментальных исследованиях. Так, анализ больших объёмов данных ускоряет процесс разработки новых лекарственных средств и форм доставки препаратов.

Возможности искусственного интеллекта активно используются в российском здравоохранении. Так, сервисы ТОП-3 и AIDA внедрены в медицинскую информационную систему, где оказывают поддержку врачу-терапевту в постановке диагнозов, а суммарный объём поставленных заключительных диагнозов уже превысил 1,3 млн [3]. Развитие систем поддержки принятия врачебных решений нового поколения стало возможным с появлением технологий генеративного ИИ, который применяется в самом широком спектре медицинских задач, начиная с анализа электронных медицинских карт и заканчивая медицинским образованием, разработкой лекарственных препаратов и проведением научных исследований [4–7]. В России генеративный ИИ также активно развивается в медицинском направлении. Так, большая языковая модель GigaChat в феврале 2024 г. успешно сдала экзамен в формате государственной итоговой аттестации по специальности 31.05.01 «лечебное дело» в Национальном медицинском исследовательском центре им. В.А. Алмазова [8].

Мы сфокусируем своё внимание на интеграции технологий ИИ в исследовательские проекты, связанные с изучением физиологических функций человека. Отдельные попытки обобщить имеющийся опыт машинного обучения в различных физиологических методах исследований уже предпринимались [9]. Однако ввиду стремительного развития ИИ такие обзоры актуального состояния данного направления особенно важны.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: МАШИННОЕ И ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ

Современное развитие ИИ характеризуется стремительной эволюцией методов и подходов, которые находят применение в самых различных областях, от медицины и фармакологии до обработки естественного языка и компьютерного зрения. В рамках данной работы мы сосредоточимся на анализе трёх ключевых направлений развития ИИ: машинного обучения, глубокого обучения и генеративного ИИ. Эти технологии, хотя и имеют общие корни, существенно различаются по своим архитектурным принципам, методам обучения и практической реализации, что делает их применимыми для решения различных классов задач.

Машинное обучение как классический подход базируется на использовании статистических моделей и инженерии признаков, что позволяет эффективно работать со структурированными данными и интегрировать экспертные знания [10]. Однако его ограниченность в обработке сложных неструктурированных данных и зависимость от качества признаков стимулировали развитие более продвинутых методов. Глубокое обучение, основанное на многослойных нейронных сетях, стало прорывом в обработке неструктурированных данных, таких как изображения, аудио и текст, благодаря способности автоматически извлекать иерархические признаки. В контексте глубокого обучения нейронные сети представляют собой иерархические архитектуры, способные автоматически извлекать иерархические признаки из данных благодаря наличию множества скрытых слоёв. Каждый слой преобразует входные данные с использованием линейных и нелинейных операций, что позволяет модели обучаться сложным зависимостям и закономерностям в данных. Фундаментальной статьёй для глубокого обучения является публикация Y. LeCun и соавт. [11]. Тем не менее его высокая требовательность к вычислительным ресурсам и данным, а также проблема «чёрного ящика» остаются существенными ограничениями. Генеративный ИИ, представляющий собой следующую ступень эволюции ИИ, фокусируется на создании новых данных и решений, что открывает возможности для креативных приложений, таких как генерация изображений, текстов и даже проектирование новых материалов, основанных на новой архитектуре нейронных сетей — трансформерах [12]. Однако и здесь возникают свои вызовы, включая сложности в управлении множеством параметров и обеспечении синтезируемости генерируемых решений.

Каждое из этих направлений решает специфические задачи: от работы со структурированными данными

и извлечения иерархических признаков до генерации новых данных и решений. Совокупность этих методов образует обобщенное понятие — ИИ, где каждая технология дополняет и расширяет возможности других, несмотря на присущие им ограничения. Таким образом, ИИ является интегративной дисциплиной, объединяющей разнообразные методы и подходы для решения широкого спектра задач. Ниже представлена сравнительная таблица описанных выше технологий ИИ: машинного и глубокого, а также отдельно особенности генеративного ИИ (табл. 1).

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ
КАК ПРОРЫВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
В МЕДИЦИНСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ
НАУКАХ

Применение искусственного интеллекта
в клинической практике

Компьютерное зрение — первая технология ИИ, которая нашла широкое применение в клинической практике.

Таблица 1. Сравнение машинного обучения, глубокого обучения и генеративного искусственного интеллекта

Table 1. Comparison of machine learning, deep learning and generative artificial intelligence

Аспект Aspect	Машинное обучение Machine Learning	Глубокое обучение Deep learning	Генеративный искусственный интеллект Generative artificial Intelligence
Подход к вычислениям An approach to computing	Использует инженерию признаков и статистические модели. Требуется переменной вычислительной мощности Uses feature engineering and statistical models. Requires variable computing power	Использует многослойные нейронные сети для иерархической экстракции признаков. Требуется высокой вычислительной мощности и больших объемов данных Uses multilayer neural networks for hierarchical feature extraction. It requires high computing power and large amounts of data.	Применяет методы, такие как вариационные автокодировщики и генеративно-состязательные сети, для моделирования процесса генерации данных Applies methods such as variational autoencoding and generative-adversarial networks to simulate the data generation process.
Механизмы обучения Learning mechanisms	Использует контролируемое, неконтролируемое и подкрепляемое обучение на структурированных данных Uses supervised, unsupervised, and reinforced learning based on structured data	Использует обратное распространение и глубокое обучение с подкреплением на крупных наборах сырых данных Uses backpropagation and deep reinforcement learning on large sets of raw data	Использует состязательное обучение и вариационное логическое обучение на специализированных больших наборах данных Uses adversarial learning and variational logic learning on specialized large datasets
Практическая реализация Practical implementation	Интегрирует экспертные знания через спроектированные признаки, но может упускать новые закономерности Integrates expert knowledge through designed features, but may miss new patterns	Эффективно работает с неструктурированными данными (например, распознавание изображений, обработка естественного языка), но имеет ограниченную прозрачность («чёрный ящик») It works effectively with unstructured data (for example, image recognition, natural language processing), but has limited transparency ("black box")	Создаёт новые экземпляры мультимодальных данных: тексты, изображения, видео и т.д. Creates new instances of multimodal data: texts, images, videos, etc.
Преимущества Advantages	Простота интерпретации, возможность интеграции экспертных знаний Ease of interpretation, the ability to integrate expert knowledge	Высокая эффективность в обработке сложных неструктурированных данных High efficiency in processing complex unstructured data	Способность генерировать новые данные и решать сложные задачи без специализированного обучения The ability to generate new data and solve complex problems without specialized training
Недостатки Disadvantages	Ограниченность в выявлении сложных закономерностей, зависимость от качества признаков Limitations in identifying complex patterns, dependence on the quality of features	Высокие требования к вычислительным ресурсам и данным, низкая прозрачность High demands on computing resources and data, low transparency	Высокая стоимость обучения моделей, необходимость в огромном объеме данных для обучения The high cost of training models, the need for a huge amount of data for training

С помощью нейронной сети врач может быстро узнать о наличии патологических изменений, их размеры, объём и наиболее вероятный диагноз [13]. Автоматический анализ медицинских изображений уже используется в области лучевой диагностики для диагностирования патологий сетчатки, для выявления меланомы и других новообразований кожи, для идентификации и классификации злокачественных клеток на гистологических срезах, для детектирования полипов толстой кишки при колоноскопии, а также для автоматического анализа ЭКГ [14–19]. В Российской Федерации действует проект «МосМедИИ», в рамках которого все медицинские учреждения в стране могут направить радиологические исследования для обработки ИИ-системой для поддержки принятия врачебных решений. По итогам 2023 г. обработано более 250 тыс. исследований [20].

Обработка естественного языка — второй набор технологий ИИ, который широко используется в медицине. В электронной медицинской карте пациента содержится огромное количество медицинской информации, которая может повлиять на решение врача. Значительная часть данных о пациенте — это свободный текст, описывающий жалобы, данные осмотров, заключение по результатам диагностических исследований. Модели машинного обучения для обработки естественного языка способны выполнять задачи анализа большого объёма неструктурированных данных и формулировать выводы [21]. Обработка естественного языка в электронной медицинской карте используется для определения времени начала аллергического заболевания, выявления пациентов с высоким риском развития астмы на основе клинических записей и данных лабораторной диагностики, автоматического выделения информации об онкологическом заболевании, выявления информации о делирии в анамнезе [22–24]. В России ряд ИИ-сервисов для обработки медицинских карт имеет регистрационное удостоверение и используется в клинической практике: AIDA, ТОП-3, Webiomed, MedicBK.

Главный вызов для ИИ в этой сфере — поддержка принятия врачебных решений о проведении вмешательств, назначении исследований и постановки клинического диагноза. С появлением мультимодальных систем ИИ, обрабатывающих большое количество параметров, в медицине открылись возможности для создания рекомендательных систем, способных учитывать хронические заболевания, пол, возраст, результаты лабораторных и инструментальных исследований и социальные детерминанты здоровья [25, 26].

Применение искусственного интеллекта в молекулярной биологии

Модели глубокого обучения могут выявлять сложные паттерны в многомерных данных, что делает их особенно полезными в исследованиях омиксных данных. Y. Hwang и соавт. [27] обучили геномную лингвистическую модель gLM для предсказания функции белка на основе

генома, классифицировать геномные последовательности и выявлять ко-регулируемые модули генов, такие как опероны бактерий. Модель была провалидирована на геноме *E. coli* K-12 и продемонстрировала абсолютную точность (absolute accuracy) в 59,2% случаев. Это исследование уникально, поскольку оно впервые показало способность моделей глубокого обучения определять «контекст» в нуклеотидных последовательностях с помощью тех же алгоритмов, которые используются для обработки языка.

В другом исследовании модель машинного обучения MethylBoostER эффективно предсказывала патоморфологический подтип опухоли почки, основываясь на профиле метилирования ДНК [28]. На тестовой выборке данных модель машинного обучения достигла точности предсказания 0,960. Такая высокая точность говорит о том, что после валидации в клинических исследованиях данная модель может быть использована для оценки прогноза пациента до операции.

ИИ изменил и ускорил процесс создания новых препаратов. У исследователей не было инструмента, способного предсказать трёхмерную структуру белка по аминокислотной последовательности до 2021 г., когда исследователи Google DeepMind создали модель ИИ AlphaFold, решающую эту задачу с высокой точностью [29]. Инновационный инструмент сделал прорыв в области химии и молекулярной биологии, а его создатели получили Нобелевскую премию по химии в 2024 г. В этом же году в журнале Nature была опубликована статья о модели AlphaFold 3 [30]. Обновлённая модель способна с высокой точностью предсказывать структуры белков, нуклеиновых кислот, малых молекул и модифицированных остатков, а также моделировать взаимодействия «белок–лиганд». Среднеквадратическое отклонение для предсказания структуры молекулы составляет менее 0,2 нанометра. Сейчас в фармацевтической индустрии используются модели нейронных сетей для идентификации мишеней, скрининга молекул-кандидатов, прогнозирования их фармакокинетических и фармакохимических свойств [31].

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СФЕРЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Большие языковые модели по типу GPT (Generative Pre-trained Transformer) стали важным инструментом в здравоохранении и открыли новые сценарии для взаимодействия врача и пациента. Обученные на большом объёме текстов модели успешно проходят различные форматы медицинских тестирований. В исследовании 2023 г. большая языковая модель ChatGPT преодолела порог в тестировании United States Medical Licensing Exam (USMLE), а в феврале 2024 г. модель GigaChat сдала экзам

по специальности «лечебное дело» [32]. Чат-боты с ИИ, генерирующие текст по запросу пользователя, способны оптимизировать работу врача. Модель ChatGPT-4, получив расшифровку диалога врача и пациента на консультации, способна суммаризировать диалог и сгенерировать медицинскую запись в структурированном формате [33]. В декабре 2024 г. Сеченовский университет и компания «Нейромед» сообщили о клинических испытаниях ИИ-ассистента для кардиологов [34]. ИИ-ассистент генерирует протоколы приёмов и выписные эпикризы, предоставляет доступ к профессиональной информации о препаратах, даёт рекомендации по диагностике и лечению на основе актуальных клинических руководств и автоматически оценивает индивидуальные риски пациента.

Большие языковые модели — это перспективный инструмент для оказания психологической помощи. В 2022 г. платформа Wysa с встроенным ИИ для оказания психотерапевтической помощи получила одобрение FDA для пациентов с мышечно-скелетными болями, тревогой и депрессией на основании когортного исследования [35]. В исследовании участвовали 153 пациента, разделённые на 3 когорты: одна когорта не получала психологическую помощь; пациенты во второй когорте получали не менее одной психологической консультации; пациенты третьей когорты получали доступ к цифровой платформе с мобильным чат-ботом с встроенной нейронной сетью для проведения когнитивно-поведенческой терапии. Помимо чат-бота, на платформе пациент мог получить дистанционную консультацию от специалиста. В группе пациентов с доступом Wysa наблюдалось улучшение на 2,8–3,7 балла по сравнению с группой, не получавшей психологические консультации, по шкалам измерения симптомов депрессии и тревоги. В группе Wysa наблюдалось улучшение физической функции по опроснику PROMIS на 2,4 балла по сравнению с группой психологического консультирования.

ИНСТРУМЕНТЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

ИИ становится важным инструментом в исследовании патогенеза патологических состояний. Модель машинного обучения способна анализировать миллионы научных статей и выявлять сложные взаимосвязи, синтезируя таким образом научные данные более полно и менее предвзято. В исследовании Z. Wei и соавт. [36] использовались модели машинного обучения для выявления пересечений в молекулярной патофизиологии болезни Альцгеймера, бокового амиотрофического склероза и лобно-височной деменции. В частности, применялись методы машинного обучения для сравнения и выявления общих молекулярных механизмов между этими заболеваниями. Для этого была построена семантическая сеть знаний SemNet 2.0

на основе более чем 33 млн биомедицинских статей. Модели ИИ выявляли в сети наиболее важные узлы, связанные с каждым заболеванием, используя алгоритм ранжирования на основе машинного обучения. Эти узлы представляли собой белковые молекулы, играющие ключевую роль в патогенезе данных заболеваний. Такой подход к анализу научной литературы позволяет найти наиболее перспективные направления в исследовании патогенеза болезни Альцгеймера, бокового амиотрофического склероза и лобно-височной деменции.

Исследователи в области физиологии используют ИИ для открытия новых взаимосвязей между генотипом и фенотипом при различных патологиях. Asencio и соавт. [37] использовали модель машинного обучения для обработки временных характеристик кардиальных сокращений и классификации различных типов патологии саркомеров на их основе. С помощью данной модели исследователям удалось достичь точности $78,5 \pm 0,1\%$ в классификации мутаций саркомеров. Это исследование демонстрирует возможности ИИ для изучения механизмов развития кардиомиопатии при различных типах мутаций.

Нейронные сети широко используются для детектирования физиологических сигналов при патологических состояниях. В исследовании Peng и соавт. [38] описана модель назального давления воздушного потока и уровня кислорода в крови (SpO_2) для детектирования эпизодов апноэ и гипопноэ. По словам авторов, интеграция данных электрокардиограммы, электроэнцефалограммы и паттернов движения тела позволят создать ещё более точные системы диагностики обструктивного апноэ сна.

ИИ может стать инструментом в поиске «красных флагов» для предсказания жизнеугрожающих событий (остановки сердца, сепсиса, геморрагического шока или дыхательной недостаточности) на основе анализа большого количества данных о физиологических показателях человека [39]. Технологии ИИ позволяют создавать новые методики для изучения физиологических процессов. В исследовании S. Cai и соавт. [40] продемонстрирована эффективность методики велосиметрии с ИИ для количественной оценки скорости и напряжений кровотока. Исследователям удалось объединить изображения, экспериментальные данные и физические основы с помощью нейронных сетей, что позволяет автоматически анализировать экспериментальные данные и делать выводы о ключевых гемодинамических показателях. Эти открытия позволяют изучить процессы, происходящие в поражённых микроаневризмами сосудах.

Предобученные языковые модели могут иметь достаточно высокий уровень знаний в области физиологии для использования их в образовании. В исследовании S.O. Soulagе и соавт. [41] большая языковая модель ChatGPT-3.5 справилась со сдачей экзамена по физиологии лучше, чем большинство студентов медицинского университета, обучавшихся физиологии. Большие языковые модели, обученные на материалах по физиологии,

могут стать эффективным инструментом для обучения студентов. Возможные образовательные сценарии ChatGPT включают генерацию вводной информации для изучения сложной темы, генерацию вопросов для самопроверки, составление образовательного плана и поиск дополнительных ресурсов [42].

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

До недавнего времени большинство исследований, изучающих ожирение у детей, рассматривали влияние внешних факторов лишь на одном из уровней социально-экологической модели (например, на индивидуальном или общественном) [43]. Исследовать влияние совокупности экологических, социальных и индивидуальных факторов ожирения было сложной задачей до появления инструментов машинного обучения. В. Allen и соавт. [44] использовали в качестве алгоритма машинного обучения метод случайного леса, который обычно применяется в исследовании взаимодействия генов. Исследование подтвердило гипотезу, что молодые люди с одинаковым уровнем образования и благосостояния в семье имеют разный уровень риска ожирения в зависимости от экономических и образовательных ресурсов в их районе. Также модель показала, что на развитие ожирения у детей в семьях с низким уровнем дохода значительно влияет степень загрязнения окружающей среды. Однако методы машинного обучения требуют дополнительных исследований и интерпретации, так как использованные модели не способны установить механизмы выявленных взаимосвязей. Одна из фундаментальных проблем — интерпретируемость моделей. Большинство ИИ работают по принципу «чёрного ящика», установить алгоритм принятия решений нейронной сетью не представляется возможным.

K.V. Ojha и соавт. [45] исследовали влияние факторов городской среды на физиологические реакции организма с помощью моделей машинного обучения. Тридцать участников исследования, оснащённые носимыми сенсорами (Empatica E4) и рюкзаками с датчиками, фиксирующими параметры окружающей среды, такие как уровень шума, температура, влажность, освещённость и концентрация пыли в воздухе, перемещались по городу. Носимые сенсоры измеряли электродермальную активность, отражающую состояние возбуждения и применяемую в нейрофизиологических исследованиях для анализа влияния внешних факторов. При ретроспективном анализе алгоритм бинарной классификации предсказывал состояние возбуждения испытуемых, чувствительность составила 0,89, специфичность — 0,84. С помощью алгоритма глубокого обучения были выявлены закономерности влияния внешних факторов на развитие возбуждения:

звуки выше 66 дБ, низкий уровень освещённости (<580 люкс) и температура выше 22 °C чаще всего вызывали физиологическое возбуждение. С помощью модели для кластеризации SOM исследователи выделили группы испытуемых в зависимости от степени их реакции на изменение внешних факторов. Исследователи подтвердили, что машинное обучение может автоматизировать анализ сложных взаимодействий множества факторов и с высокой точностью предсказывать физиологические реакции в ответ на раздражители в разных группах людей. Основным ограничением в исследовании было низкое качество данных электродермальной активности, содержавших большое количество шума и артефактов, из-за чего данные 10 из 30 испытуемых не были включены в анализ.

Помимо ретроспективного анализа влияния окружающих факторов на здоровье человека, ИИ способен анализировать данные в реальном времени. Такой инструмент может использоваться для изучения влияния резкого изменения окружающей среды на функциональное состояние человека и детектировать патологические изменения. Исследование S.Y. Wei и соавт. [46] показало высокую эффективность методов машинного обучения в предсказании риска развития горной гипоксии на основании анализа индивидуальных физиологических показателей испытуемых и факторов окружающей среды, измеряемых в реальном времени. ИИ анализировал частоту сердечных сокращений, вариабельность сердечного ритма, насыщение крови кислородом и факторы внешней среды (температуру окружающей среды, атмосферное давление, относительную влажность и скорость восхождения). На основании этих данных были обучены и протестированы 25 алгоритмов машинного обучения. Самая точная модель достигла чувствительности 0,998 и специфичности 0,978 в диагностике острой горной болезни лёгкой степени (mild acute mountain sickness).

В медицине рутинно используются носимые устройства с биосенсорами, фиксирующие изменения окружающей среды и физиологические показатели человека, что особенно распространено в спортивной медицине. В статье Y. Shen и соавт. [47] представлены биосенсоры для неинвазивного определения уровня лактата, повышение которого является одним из маркеров развития гипоксии ввиду переключения метаболических процессов на анаэробный гликолиз. Например, электрохимические сенсоры могут измерять электрический ток, возникающий при окислении лактата ферментом (например, лактатоксидазой или лактатдегидрогеназой), и преобразуют его в концентрацию лактата. Они могут работать в широком диапазоне концентраций (от микромолярных до миллимолярных уровней) и отличаются высокой точностью. Потенциометрические сенсоры фиксируют изменение электрического потенциала на электроде в зависимости от концентрации лактата, а импедансные — изменение сопротивления или ёмкости при взаимодействии лактата с биосенсорным слоем. Оптические биосенсоры

регистрируют изменения оптических сигналов, (интенсивность флуоресценции или цветовые изменения в колориметрических тестах). Например, при окислении лактата ферментом выделяется перекись водорода, которая вступает в реакцию с хромогенным субстратом (например, тетраметилбензидином), приводя к изменению цвета, которое можно измерить с помощью камеры смартфона или портативного спектрометра. Полупроводниковые биосенсоры, такие как полевые транзисторы и органические электрохимические транзисторы, детектируют изменение проводимости канала транзистора при связывании лактата с биорецептором (например, ферментом). Они особенно чувствительны к низким концентрациям лактата и могут интегрироваться в гибкие подложки. Самозаряжающиеся биосенсоры, например пьезоэлектрические, преобразуют механическую энергию (например, движение тела) в электрический сигнал, который модулируется концентрацией лактата. Биотопливные элементы используют окисление лактата для генерации тока, величина которого коррелирует с его уровнем. С увеличением количества сенсоров появляется всё больше данных, на основе которых можно сделать вывод о функциональном состоянии организма и необходимости коррекции образа жизни, назначения терапии и определения риска заболеваний. J.P. Kimball и соавт. [48] описали модель машинного обучения, учитывающую физиологические и внешние факторы и прогнозирующую развитие состояния гиповолемии. Физиологические показатели включали данные фотоплетизмографии, электрокардиографии, сейсмокардиографии, а также параметры сердечного выброса, ударного объёма, частоты сердечных сокращений, артериального давления, температуры кожи и тела, общего периферического сопротивления и объёма крови. Применение такой технологии особенно актуально для спортсменов и военных, испытывающих тяжёлые физические нагрузки и изменение климатических условий.

Прогнозирование патологий с помощью нейронных сетей сейчас активно исследуется. Однако до сих пор ИИ не нашёл широкого использования в изучении адаптационных процессов в изменённых внешних условиях. Для обучения таких алгоритмов необходимо накопление данных о физиологических показателях человека при гипербарии, гипо- и гипероксии. Подобные исследования позволяют выявить физиологические параметры организма, на которые положительно влияют тренировки в подобных условиях. Таким образом, развитие ИИ приведёт к новым открытиям в области спортивной медицины.

Несмотря на большие перспективы, есть ряд ограничений, не позволяющих широко внедрить ИИ при изучении влияния факторов внешней среды на организм человека. Используемые исследователями алгоритмы машинного обучения эффективно обнаруживают корреляции, но не могут точно объяснить, почему определённые факторы вызывают ту или иную реакцию. Сейчас большинство моделей машинного обучения позволяет

выдвигать новые гипотезы, но не позволяет их подтверждать. Создание интерпретируемых алгоритмов является большим вызовом для будущих исследований в области физиологии [49].

Большинство исследований включали маленькую выборку, о чём заявляют сами исследователи. Для обучения точных прогностических моделей необходимо провести большое количество трудозатратных испытаний с моделированием изменённых параметров внешней среды. При этом необходимо соблюсти баланс классов в параметрах среды и группах испытуемых, чтобы данные для обучения были достаточно репрезентативными. Кроме того, биосенсоры для детекции физиологических изменений организма могут быть подвержены шуму и артефактам, что значительно затрудняет проведение данных исследований.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ГИПОКСИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЧЕЛОВЕКА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Гипоксический потенциал человека представляет собой способность организма адаптироваться к условиям пониженного содержания кислорода в окружающей среде: подъём на высоту, во время физических упражнений высокой интенсивности, а также в других экстремальных ситуациях. Исследование гипоксической адаптации имеет важное значение как для медицины, так и для спорта, космической биологии и многих других областей науки. В разделе адаптационной медицины интерес к моделям машинного обучения только набирает обороты, количество опубликованных работ по этой теме минимально.

Модель машинного обучения может использоваться для разработки персонализированных тренировочных программ, учитывающих индивидуальные реакции организма на гипоксическую нагрузку. Это особенно важно в спорте высоких достижений, где даже небольшие улучшения могут иметь решающее значение. В одном из исследований [50] была создана модель машинного обучения на основании данных некоторых физиологических параметров (количество эритроцитов и концентрация гемоглобина) 64 профессиональных конькобежцев, прошедших 10-недельную программу тренировок (3 недели — подготовительный период (на уровне моря), 4 недели — гипоксические тренировки, 3 недели — восстановительный период). Модель машинного обучения продемонстрировала большую точность в оценке физиологических переменных по сравнению с полиномиальной моделью и позволила создать эффективную систему для прогнозирования физиологических изменений

в условиях гипоксической тренировки на основе измерений, выполненных на уровне моря.

Кроме спортивной медицины, ИИ находит своё место и в авиации. В исследовании [51] рассматривалось использование носимых датчиков и алгоритмов машинного обучения для раннего обнаружения признаков гипоксии и предотвращения аварийных ситуаций. В рамках эксперимента 85 участникам было предложено пройти двухфазовое исследование, в котором они использовали авиационные маски, контролирующие подачу кислорода. Участники выполняли когнитивные тесты и симулировали полёт на тренажёре, при этом уровень кислорода постепенно снижался, имитируя подъём на высоту. Данные, полученные с помощью сухих электродов ЭЭГ, были обработаны методами машинного обучения, а извлечённые характеристики мозговой активности преобразованы. Алгоритмы машинного обучения показали высокую чувствительность (от 0,83 до 1,00) и специфичность (от 0,91 до 1,00) в обнаружении гипоксии. Это исследование демонстрирует значительный прогресс в создании систем реального времени для обнаружения гипоксии в полёте.

В исследовании M.S. Mazing и соавт. [52] была показана способность моделей машинного обучения детектировать состояние тканевой гипоксии при снижении уровня вдыхаемого кислорода и оценивать индивидуальную устойчивость к гипоксии. С помощью оптического сенсора исследователи оценивали тканевую гипоксемию у испытуемых. Полученные данные были использованы для обучения самоорганизующейся карты Кохонена (SOM) — нейронной сети, использующейся для поиска скрытых закономерностей и кластеризации объектов по группам. В результате модель разделила испытуемых на 3 группы с различной устойчивостью к гипоксии и функциональным состоянием организма. Данное исследование показывает возможность создания простого воспроизводимого теста для оценки индивидуальной устойчивости человека к гипоксии на основе нейронных сетей.

Использование моделей ИИ в исследовании гипоксических адаптационных механизмов является перспективным направлением научных работ. Модели машинного обучения можно применять в качестве инструмента по обработке и анализу большого объёма данных, выявления скрытых закономерностей и прогнозирования индивидуальных реакций на гипоксические нагрузки. Например, всё ещё нет точных и конкретных параметров, позволяющих оценить объективно гипоксическую устойчивость человека при проведении гипоксического теста. Имеется много дополнительных параметров, по которым косвенно можно дополнить картину гипоксической толерантности конкретного индивидуума [53]. Множество дискуссионных вопросов остаётся при выборе режима интервальной гипоксической стимуляции: окислительно-воспалительные процессы, развивающиеся при интервальных гипоксических тренировках [54, 55], роль активных форм кислорода в периоде восстановления [56, 57].

Неоспоримые преимущества ИИ-подходов, позволяющих обнаруживать сложные закономерности в данных при выявлении гипоксии, заключаются первоочередно в возможности быстрой обработки мультимодальных данных: носимые устройства с биосенсорами (лактат, SpO_2 , частота сердечных сокращений, вариабельность сердечного ритма), климатические параметры (температура, влажность, атмосферное давление) и др. Классические подходы требовали бы формирования конкретных гипотез и длительной статистической обработки с предварительной предобработкой данных для возможности их сопоставления. Выше было описано, как нейросети обрабатывают неструктурированные данные: ЭЭГ, ЭКГ, изображения микроциркуляции, а также пример анализа назального потока воздуха и SpO_2 для детекции апноэ, что было бы невозможно при рутинной полисомнографии из-за высокой стоимости и сложности интерпретации.

Вероятно, что применение ИИ в данной области позволит по-новому взглянуть на получаемые данные о гипоксической устойчивости, о реализации адаптационных механизмов на молекулярном и системном уровнях, а также взаимосвязях этих структур между собой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современная среда характеризуется множеством одновременно действующих внешних факторов, влияние которых на организм человека становится возможным отслеживать благодаря достижениям в области ИИ, таких как алгоритмы машинного обучения, глубокое обучение и генеративные модели. Эти технологии открывают новые горизонты в медико-биологической сфере, позволяя выявлять скрытые взаимосвязи между элементами и процессами. Особое внимание заслуживает исследование экзогенной гипоксии — одного из ключевых факторов окружающей среды, изучаемых в экологии, физиологии и клинической медицине. Вопросы индивидуальной устойчивости организма к гипоксическим условиям остаются актуальными и активно обсуждаются в научной литературе. Современные исследования всё чаще используют методы машинного и глубокого обучения для анализа многомерных физиологических данных. Применение этих подходов в планировании научных экспериментов, обработке данных и создании прогнозирующих моделей значительно улучшает понимание адаптационных механизмов человеческого организма при гипоксии и открывает новые пути для изучения влияния других факторов внешней среды. Текущие разработки демонстрируют значительный потенциал дальнейшего прогресса в этой области, способствуя повышению эффективности исследовательских процедур через оптимизацию статистического анализа, обработку результатов и проектирование экспериментальных схем. Важным направлением является изучение адаптивных возможностей человека, где создание классификационных моделей для идентификации

групп с различной устойчивостью к стрессу представляет интерес для различных областей медицины, биологии и психологии. Разработка моделей прогнозирования толерантности к гипоксии может найти применение как в совершенствовании методов машинного обучения, так и в решении практических задач клинической, авиационной и космической медицины. Однако существует ряд ограничений, затрудняющих применение ИИ в изучении адаптации: сложности в получении достаточного количества данных, недостаточное качество биосенсоров, отсутствие интерпретируемых моделей машинного обучения для исследования факторов внешней среды.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. И.О. Балунов — сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; А.С. Михалищина — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; А.А. Венерин — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; О.С. Глазачев — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование 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).

Этическая экспертиза. Неприменимо.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая статья рассматривалась в порядке ускоренной процедуры (fast track). В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution: I.O. Balunov: collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the text of the article; A.S. Mikhailishchina: literature review, collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the text of the article; A.A. Venein: literature review, collection and analysis of literary sources, writing the text and editing the article; O.S. Glazachev: 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).

Ethical expertise: Not applicable.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities or interests for the last three years related with for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: In creating this work, the authors did not use previously published information (text, illustrations, data).

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, and no new data was collected or created.

Generative AI: Generative AI technologies were not used for this article creation.

Provenance and peer-review: This article was reviewed in an expedited procedure (fast track). Two external reviewers, a member of the editorial board, and the scientific editor of the publication participated in the review.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Analytical report on the publication activity of Russian specialists at conferences in the field of artificial intelligence level A for the period from 2019 to 2023, part 1 (NCRII) [Internet]. Moscow: AI.GOV. RU; 2024 [cited 2025 Jan 24]. Available from: https://ai.gov.ru/knowledgebase/investitsionnaya-aktivnost/2024_analiticheskiy_otchet_po_publicacionnoy_aktivnosti_rossiyskih_specialistov_na_konferenciayah_v_oblasti_iskusstvennogo_intellekta_urovnya_a_za_period_s_2019_g_po_2023_g_chasty_1_ncrii/
2. Babu M, Lautman Z, Lin X, et al. Wearable devices: implications for precision medicine and the future of health care. *Annu Rev Med*. 2024;75:401–415. doi: 10.1146/annurev-med-052422-020437
3. SberMed. How digital physician assistants Top 3 and Aida help Moscow doctors [Internet]. 2023 Feb 9 [cited 2025 Jan 24]. Available from: <https://sbermed.ai/kak-cifrovye-pomoschniki-vracha-top-3-i-aida-pomogayut-moskovskim-vracham>
4. Rashidi HH, Pantanowitz J, Chamanzar A, et al. Generative artificial intelligence in pathology and medicine: a deeper dive. *Mod Pathol*. 2025;38(4):100687. doi: 10.1016/j.modpat.2024.100687
5. Boscardin CK, Gin B, Golde PB, Hauer KE. ChatGPT and generative artificial intelligence for medical education: potential impact and opportunity. *Acad Med*. 2024;99(1):22–27. doi: 10.1097/ACM.00000000000005439
6. Doron G, Genway S, Roberts M, Jasti S. Generative AI: driving productivity and scientific breakthroughs in pharmaceutical R&D. *Drug Discov Today*. 2025;30(1):104272. doi: 10.1016/j.drudis.2024.104272
7. Mojadeddi ZM, Rosenberg J. AI in medical research. *Ugeskr Laeger*. 2024;186(16):V08230532. doi: 10.61409/V08230532
8. Lenta.ru. Giga Chat passed the doctor's exam [Internet]. 2024 Feb 13 [cited 2025 Jan 24]. Available from: <https://lenta.ru/news/2024/02/13/vracha/>
9. Ong CS, Burattini L, Schena S. Editorial: Artificial intelligence in human physiology. *Front Physiol*. 2022;13:1075819. doi: 10.3389/fphys.2022.1075819
10. Cherkasov DY, Ivanov VV. Machine learning. *Science, Technology and Education*. 2018;(5):85–87. EDN: XOPNID
11. LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *Nature*. 2015;521(7553):436–444. doi: 10.1038/nature14539
12. Vaswani N, Shazeer N, Parmar J, et al. Attention is all you need. *Neural Information Processing Systems*. 2017;(30):5998–6008.
13. Elyan E, Vuttipittayamongkol P, Johnston P, et al. Computer vision and machine learning for medical image analysis: recent advances, challenges, and way forward. *Art Int Surg*. 2022;2:24–45. doi: 10.20517/ais.2021.15
14. Kelly BS, Judge C, Bollard SM, et al. Radiology artificial intelligence: a systematic review and evaluation of methods (RAISE). *Eur Radiol*. 2022;32(11):7998–8007. doi: 10.1007/s00330-022-08784-6
15. Grzybowski A, Jin K, Zhou J, et al. Retina fundus photograph-based artificial intelligence algorithms in medicine: a systematic review. *Ophthalmol Ther*. 2024;13(8):2125–2149. doi: 10.1007/s40123-024-00981-4
16. Beltrami EJ, Brown AC, Salmon PJM, et al. Artificial intelligence in the detection of skin cancer. *J Am Acad Dermatol*. 2022;87(6):1336–1342. doi: 10.1016/j.jaad.2022.08.028

17. Niazi MKK, Parwani AV, Gurcan MN. Digital pathology and artificial intelligence. *Lancet Oncol.* 2019;20(5):e253–e261. doi: 10.1016/S1470-2045(19)30154-8
18. Hassan C, Spadaccini M, Iannone A, et al. Performance of artificial intelligence in colonoscopy for adenoma and polyp detection: a systematic review and meta-analysis. *Gastrointest Endosc.* 2021;93(1):77–85.e6. doi: 10.1016/j.gie.2020.06.059
19. Attia ZI, Harmon DM, Behr ER, Friedman PA. Application of artificial intelligence to the electrocardiogram. *Eur Heart J.* 2021;42(46):4717–4730. doi: 10.1093/eurheartj/ehab649
20. Gusev AV, Artemova OR, Vasiliev YuA, Vladzimirskiy AV. Integration of AI-based software as a medical device into Russian healthcare system: results of 2023. *National Health Care (Russia).* 2024;5(2):17–24. doi: 10.47093/2713-069X.2024.5.2.17-24
21. Lee S, Kim HS. Prospect of artificial intelligence based on electronic medical record. *J Lipid Atheroscler.* 2021;10(3):282–290. doi: 10.12997/jla.2021.10.3.282
22. Juhn Y, Liu H. Artificial intelligence approaches using natural language processing to advance EHR-based clinical research. *J Allergy Clin Immunol.* 2020;145(2):463–469. doi: 10.1016/j.jaci.2019.12.897
23. Datta S, Bernstam EV, Roberts K. A frame semantic overview of NLP-based information extraction for cancer-related EHR notes. *J Biomed Inform.* 2019;100:103301. doi: 10.1016/j.jbi.2019.103301
24. Fu S, Lopes GS, Pagali SR, et al. Ascertainment of delirium status using natural language processing from electronic health records. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2022;77(3):524–530. doi: 10.1093/gerona/glaa275
25. Topol EJ. As artificial intelligence goes multimodal, medical applications multiply. *Science.* 2023;381(6663):adk6139. doi: 10.1126/science.adk6139
26. Ralevski A, Taiyab N, Nossal M, et al. Using large language models to abstract complex social determinants of health from original and deidentified medical notes: development and validation study. *J Med Internet Res.* 2024;26:e63445. doi: 10.2196/63445
27. Hwang Y, Cornman AL, Kellogg EH, et al. Genomic language model predicts protein co-regulation and function. *Nat Commun.* 2024;15(1):2880. doi: 10.1038/s41467-024-46947-9
28. Rossi SH, Newsham I, Pita S, et al. Accurate detection of benign and malignant renal tumor subtypes with MethylBoostER: An epigenetic marker-driven learning framework. *Sci Adv.* 2022;8(39):eabn9828. doi: 10.1126/sciadv.abn9828
29. Jumper J, Evans R, Pritzel A, et al. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature.* 2021;596(7873):583–589. doi: 10.1038/s41586-021-03819-2
30. Abramson J, Adler J, Dunger J, et al. Accurate structure prediction of biomolecular interactions with AlphaFold 3. *Nature.* 2024;630(8016):493–500. doi: 10.1038/s41586-024-07487-w
31. Singh S, Kaur N, Gehlot A. Application of artificial intelligence in drug design: A review. *Comput Biol Med.* 2024;179:108810. doi: 10.1016/j.combiomed.2024.108810
32. Kung TH, Cheatham M, Medenilla A, et al. Performance of ChatGPT on USMLE: Potential for AI-assisted medical education using large language models. *PLOS Digital Health.* 2023;2(2):e0000198. doi: 10.1371/journal.pdig.0000198
33. Lee P, Bubeck S, Petro J. Benefits, limits, and risks of GPT-4 as an AI chatbot for medicine. *N Engl J Med.* 2023;388(13):1233–1239. doi: 10.1056/NEJMs2214184
34. CNews. Sechenov University developed an algorithm for diagnosing cardiovascular diseases using artificial intelligence [Internet]. 2024 Dec 25 [cited 2025 Jan 24]. Available from: https://corp.cnews.ru/news/line/2024-12-25_sechenovskij_universitet
35. Leo AJ, Schuelke MJ, Hunt DM, et al. Digital mental health intervention plus usual care compared with usual care only and usual care plus in-person psychological counseling for orthopedic patients with symptoms of depression or anxiety: cohort study. *JMIR Form Res.* 2022;6(5):e36203. doi: 10.2196/36203
36. Wei Z, Iyer MR, Zhao B, et al. Artificial intelligence-assisted comparative analysis of the overlapping molecular pathophysiology of alzheimer's disease, amyotrophic lateral sclerosis, and frontotemporal dementia. *Int J Mol Sci.* 2024;25(24):13450. doi: 10.3390/ijms252413450
37. Asencio A, Malingen S, Kooiker KB, et al. Machine learning meets Monte Carlo methods for models of muscle's molecular machinery to classify mutations. *Journal of General Physiology.* 2023;155(5):e202213291. doi: 10.1085/jgp.202213291
38. Peng D, Yue H, Tan W, et al. A bimodal feature fusion convolutional neural network for detecting obstructive sleep apnea/hypopnea from nasal airflow and oximetry signals. *Artif Intell Med.* 2024;150:102808. doi: 10.1016/j.artmed.2024.102808
39. Rush B, Celi LA, Stone DJ. Applying machine learning to continuously monitored physiological data. *J Clin Monit Comput.* 2019;33(5):887–893. doi: 10.1007/s10877-018-0219-z
40. Cai S, Li H, Zheng F, et al. Artificial intelligence velocimetry and microaneurysm-on-a-chip for three-dimensional analysis of blood flow in physiology and disease. *Proc Natl Acad Sci.* 2021;118(13):e2100697118. doi: 10.1073/pnas.2100697118
41. Soulage CO, Van Coppenolle F, Guebre-Egziabher F. The conversational AI "ChatGPT" outperforms medical students on a physiology university examination. *Adv Physiol Educ.* 2024;48(4):677–684. doi: 10.1152/advan.00181.2023
42. Favero TG. Using artificial intelligence platforms to support student learning in physiology. *Adv Physiol Educ.* 2024;48(2):193–199. doi: 10.1152/advan.00213.2023
43. Pereira MMCE, Padez CMP, Nogueira HGDSM. Describing studies on childhood obesity determinants by Socio-Ecological Model level: a scoping review to identify gaps and provide guidance for future research. *Int J Obes.* 2019;43(10):1883–1890. doi: 10.1038/s41366-019-0411-3
44. Allen B, Lane M, Steeves EA, Raynor H. Using explainable artificial intelligence to discover interactions in an ecological model for obesity. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(15):9447. doi: 10.3390/ijerph19159447
45. Ojha KV, Griego DM, Kuliga S, et al. Machine learning approaches to understand the influence of urban environments on human's physiological response. *Information Sciences.* 2019;474:154–169. doi: 10.1016/j.ins.2018.09.061
46. Wei CY, Chen PN, Lin SS, et al. Using machine learning to determine the correlation between physiological and environmental parameters and the induction of acute mountain sickness. *BMC Bioinformatics.* 2021;22(Suppl 5):628. doi: 10.1186/s12859-022-04749-0
47. Shen Y, Liu C, He H, et al. Recent Advances in Wearable Biosensors for Non-Invasive Detection of Human Lactate. *Biosensors (Basel).* 2022;12(12):1164. doi: 10.3390/bios12121164
48. Kimball JP, Inan OT, Convertino VA, et al. Wearable sensors and machine learning for hypovolemia problems in occupational, military and sports medicine: physiological basis, hardware and algorithms. *Sensors.* 2022;22(2):442. doi: 10.3390/s22020442
49. Westphal A, Mrowka R. Special issue European Journal of Physiology: Artificial intelligence in the field of physiology and medicine. *Pflügers Arch.* 2025;477(4):509–512. doi: 10.1007/s00424-025-03071-x
50. Han J, Liu M, Shi J, Li Y. Construction of a machine learning model to estimate physiological variables of speed skating athletes under hypoxic training conditions. *J Strength Cond Res.* 2023;37(7):1543–1550. doi: 10.1519/JSC.0000000000004058
51. Snider DH, Linnville SE, Phillips JB, Rice GM. Predicting hypoxic hypoxia using machine learning and wearable sensors. *Biomed Signal Process Control.* 2022;71:103110. doi: 10.1016/j.bspc.2021.103110
52. Mazing MS, Zaitceva AY, Davydov RV. Application of the Kohonen neural network for monitoring tissue oxygen supply under hypoxic conditions. *J Phys.* 2021;2086:012116. doi: 10.1088/1742-6596/2086/1/012116
53. Dzhililova D, Makarova O. Differences in tolerance to hypoxia: physiological, biochemical, and molecular-biological characteristics. *Biomedicine.* 2020;8(10):428. doi: 10.3390/biomedicine8100428
54. Leveque C, Mrakic Spota S, Theunissen S, et al. Oxidative stress response kinetics after 60 minutes at different levels (10% or 15%) of normobaric hypoxia exposure. *Int J Mol Sci.* 2023;24(12):10188. doi: 10.3390/ijms241210188

55. Zembron-Lacny A, Tylutka A, Wacka E, et al. Intermittent hypoxic exposure reduces endothelial dysfunction. *Biomed Res Int*. 2020;2020:6479630. doi: 10.1155/2020/6479630
56. Hafner S, Beloncle F, Koch A, et al. Hyperoxia in intensive care, emergency, and peri-operative medicine: Dr. Jekyll or Mr. Hyde? A 2015 update. *Ann Intensive Care*. 2015;5(1):42. doi: 10.1186/s13613-015-0084-6
57. Gorni D, Finco A. Oxidative stress in elderly population: A prevention screening study. *Aging Medicine*. 2020;3(3):205–213. doi: 10.1002/agm2.12121

ОБ АВТОРАХ

***Венерин Андрей Андреевич;**

адрес: Россия, 119991, Москва, ул. Трубетская, д. 8, стр. 2

ORCID: 0000-0002-8960-5772;

eLibrary SPIN: 8881-1892;

e-mail: venerin.andrey@gmail.com

Балунов Илья Олегович;

ORCID: 0009-0006-3400-9523;

eLibrary SPIN: 3434-2440;

e-mail: ilya@balunov.com

Михалищина Алина Сергеевна;

ORCID: 0000-0003-4028-6405;

eLibrary SPIN: 2134-6830;

e-mail: alina.mikhalishchina@gmail.com

Глазачев Олег Станиславович, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0001-9960-6608;

eLibrary SPIN: 6168-2110;

e-mail: glazachev_o_s@staff.sechenov.ru

AUTHORS' INFO

***Andrey A. Venerin;**

address: 8 Trubetskaya st, bild 2, Moscow, Russia, 119991;

ORCID: 0000-0002-8960-5772;

eLibrary SPIN: 8881-1892;

e-mail: venerin.andrey@gmail.com

Ilya O. Balunov;

ORCID: 0009-0006-3400-9523;

eLibrary SPIN: 3434-2440;

e-mail: ilya@balunov.com

Alina S. Mikhalishchina;

ORCID: 0000-0003-4028-6405;

eLibrary SPIN: 2134-6830;

e-mail: alina.mikhalishchina@gmail.com

Oleg S. Glazachev, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0001-9960-6608;

eLibrary SPIN: 6168-2110;

e-mail: glazachev_o_s@staff.sechenov.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Экология человека

Рецензируемый медицинский
научно-практический журнал

Периодичность: 12 номера в год



ПОДПИСКА

- На сайте издания: заполните форму, оплатите подписку, ждите свой первый подписной номер
- В издательстве: позвоните по телефону +7(495)409-83-39 либо напишите запрос на подписку в свободной форме на e-mail: podpiska@eco-vector.com
- Через Научную электронную библиотеку [eLibrary.ru](http://elibrary.ru)
- Через подписные агентства:
 - Объединённый каталог «Пресса России», <https://www.pressa-rf.ru>, www.akc.ru;
 - ООО «Урал-Пресс», <http://www.ural-press.ru>;
 - ООО «Руспресса», тел.: +7(495)651-8219;
 - ООО «Прессинформ» (Санкт-Петербург), тел.: +7(812)786-8119, e-mail: podpiska@crp.spb.ru;
 - Creative Service Band Communication & Subscription Agency (Москва), тел.: +7(499)685-1330, <https://periodicals.ru>

Подписной индекс на полугодие — 20454, на год — 85748.



Перейти на сайт журнала

Стратегии совместной когнитивной деятельности в диадах испытуемых с разными индивидуально-типологическими характеристиками

Е.П. Муртазина, О.И. Ермакова, С.С. Перцов

Федеральный исследовательский центр оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Актуальной проблемой социальной психофизиологии является изучение стратегий достижения результатов командной деятельности и факторов, определяющих их выбор, в различных профессиональных сферах.

Цель. Выявить стратегии достижения совместного результата когнитивной деятельности в диадах у испытуемых с различными личностными характеристиками и показателями персональной результативности.

Материалы и методы. Обследованы 52 пары мужчин и 50 пар женщин (средний возраст — 17 лет 9 мес. $\pm$ 3 мес., знакомые друг с другом в диадах), давших добровольное, информированное согласие. Личностные характеристики определяли по методике «Большая пятёрка». Участники выполняли тест «Установление закономерностей» индивидуально, соревнуясь и кооперативно в диадах.

Результаты. Выявлены совместная и раздельная стратегии кооперации, с сопоставимыми значениями интегральной успешности и одинаковым распределением по всей выборке и в группах диад мужчин и женщин. Показатели кооперативной деятельности диад с разными стратегиями отличались по временным характеристикам и ошибочностью. При раздельной стратегии, по сравнению с совместной, пары быстрее проходили тест, отмечая большее число закономерностей, но с большим числом ошибок. Для испытуемых с совместной стратегией кооперации были характерны более высокие уровни индивидуальной ошибочности, их разниц между партнёрами и сходство темпа деятельности по сравнению с участниками пар, выбравших в последующем раздельную стратегию. У испытуемых пар с совместной стратегией были выше уровни исходных личностных характеристик «понимание» и «расслабленность» и ниже показатель активности по сравнению с участниками, выбравшими раздельную стратегию.

Заключение. Полученные факты вносят вклад в понимание выбора стратегий командной интеллектуальной деятельности и их взаимосвязей с персональными особенностями партнёров. Выявленные закономерности могут лечь в основу методик подбора людей, сотрудничающих при достижении интегральных результатов в различных сферах деятельности.

Ключевые слова: стратегии совместной когнитивной деятельности; темп деятельности; ошибочность; внутридиадическая разница; личностные характеристики.

Как цитировать:

Муртазина Е.П., Ермакова О.И., Перцов С.С. Стратегии совместной когнитивной деятельности в диадах испытуемых с разными индивидуально-типологическими характеристиками // Экология человека. 2025. Т. 32, № 1. С. 20–31. DOI: 10.17816/humeco655823 EDN: QWQJYX

Joint Cognitive Task Strategies in Participant Dyads with Different Personality Profiles

Elena P. Murtazina, Olga I. Ermakova, Sergey S. Pertsov

Federal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: A current issue in social psychophysiology is the investigation of strategies for achieving outcomes in team activities and the factors influencing their selection across various professional domains.

AIM: To identify strategies for achieving joint cognitive task outcomes in dyads of subjects with different personality traits and individual performance indicators.

METHODS: 52 male dyads and 50 female dyads (mean age: 17 years 9 months $\pm$ 3 months, dyad members were acquainted with each other) were examined after providing voluntary informed consent. Personality traits were assessed using the Big Five questionnaire. Participants performed the Pattern Recognition test individually, competitively, and cooperatively in dyads.

RESULTS: Joint and separate cooperation strategies were identified, characterized by comparable levels of integral success and similar distribution across the entire sample and within male and female dyad groups. Performance indicators under the two strategies differed in timing and error rates. Compared to the joint strategy, the separate strategy resulted in faster completion and identification of more patterns, but with more errors. Dyads employing the joint strategy demonstrated higher individual error rates, greater error differences between partners, and more similar work pace, compared with those who later adopted the separate strategy. Dyad participants with a joint cooperation strategy exhibited higher baseline levels of the personality traits "agreeableness" and "relaxedness," and a lower level of activity compared with participants who adopted a separate strategy.

CONCLUSION: The findings contribute to the understanding of strategic choices in team-based intellectual activity and their association with individual partner characteristics. These patterns may serve as a basis for developing methods to select collaborators for achieving integrated results in various fields of activity.

Keywords: joint cognitive activity strategies; task pace; error rate; intra-dyad difference; personality traits.

To cite this article:

Murtazina EP, Ermakova OI, Pertsov SS. Joint cognitive task strategies in participant dyads with different personality profiles. *Human Ecology*. 2025;32(1): 20–31. DOI: 10.17816/humeco655823 EDN: QWQJYX

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco655823>

EDN: QWQJYX

具有不同个体类型特征的受试者二人组中协同认知活动的策略

Elena P. Murtazina, Olga I. Ermakova, Sergey S. Pertsov

Federal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies, Moscow, Russia

摘要

论证。在社会心理生理学中，研究团队活动成果达成策略及其选择因素，尤其在专业领域中，仍是一个重要课题。

目的。揭示在具有人格特征和个人绩效差异的被试者二人组中达成认知活动共同结果的策略。

材料与方法。共评估52对男性与50对女性组成的二人组（平均年龄17岁9个月±3个月，组内成员彼此熟识），所有参与者均签署知情同意书。个体人格特征采用“五大人格特质”法进行评估。受试者在三种条件下完成“模式识别”测试任务：单独完成、竞争模式下完成、二人协作完成。

结果。识别出协作策略的两种类型——共同策略与分工策略，两者在综合成功率方面相当，并在总体样本及男性与女性二人组中呈现出相同的分布特征。采用不同协作策略的二人组在时间特征和错误率方面存在差异。在分工策略下，与共同策略相比，二人组完成测试的速度更快，识别出的规律更多，但同时错误率也更高。采用共同协作策略的受试者表现出更高的个体错误率、更大的组内差异，以及较分工策略组更一致的活动节奏。在采用共同策略的受试者对中，“理解性”和“放松度”的初始人格特质水平高于选择分工策略的参与者，而活跃度水平则较低。

结论。所得结果有助于深化对团队智力活动中策略选择机制及其与组员个体特征之间关系的理解。所揭示的规律可为在多种活动领域中协作完成综合性任务时的人员选配方法提供依据。

关键词：协同认知策略；活动节奏；错误性；二人组内差异；人格特征。

引用本文：

Murtazina EP, Ermakova OI, Pertsov SS. 具有不同个体类型特征的受试者二人组中协同认知活动的策略. *Human Ecology*. 2025;32(1):20–31. DOI: 10.17816/humeco655823 EDN: QWQJYX

收到: 12.02.2025

接受: 04.04.2025

发布日期: 02.06.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Среди основных факторов психосоматического здоровья человека, развития хронических заболеваний у населения выделяют экосоциальные: начиная с социального благополучия в ближайшем семейном окружении, статуса в социальных сетях и заканчивая социально-экономической организацией общества и природных особенностей окружающей среды [1, 2]. Особенно актуально изучение социальных взаимодействий людей с целью обеспечения эффективности деятельности в экстремальных или неблагоприятных условиях, включая работу в коллективах с вахтовым режимом организации труда [3, 4]. Также перспективным направлением исследований совместной деятельности является изучение командной эффективности междисциплинарных бригад, в частности неотложной медицинской помощи, спасательных служб, и при оказании медико-социальной поддержки населению [5–7].

Исследования поведенческих и физиологических механизмов межличностных взаимодействий привлекают внимание специалистов разных областей науки: социологов, психофизиологов, организаторов медицины и практиков, занимающихся повышением эффективности производственных процессов [8, 9].

Сотрудничество даёт значительные преимущества в достижении целей отдельным индивидам и компаниям при недостатке каких-либо собственных компетенций или ресурсов посредством создания альянсов с другими субъектами, обладающими дополнительными навыками или активами [10, 11].

Кооперация требует от партнёров реорганизации своего поведения для координации с другими членами коллектива, группового планирования и выбора стратегий сотрудничества. Под термином «стратегия» понимают генеральную программу действий или набор правил для принятия решений, направленных на достижение цели. Выявляют две основные стратегии кооперации: интеграция усилий субъектов с совместным выполнением общей задачи или разделение её на подзадачи с их параллельным решением [12, 13]. Для эффективного сотрудничества в коллективах формируются функционально-ролевые структуры с композицией или компиляцией ролей участников [9, 14]. Под композицией понимаются структуры, в которых функции их членов имеют значительное сходство между собой, их вклад примерно одинаков. Компиляция предполагает интеграцию различных, несходных между собой ролей.

Показано, что личностные характеристики партнёров имеют высокую значимость для понимания и прогнозирования взаимоотношений, ролевых функций, а также эффективности командной деятельности [15, 16].

Во многих исследованиях совместной деятельности используются задачи, требующие определённого типа межличностных взаимодействий без возможности выбора разных стратегий кооперации. Мало изучена зависимость

командной эффективности от типа выбираемых взаимодействий. Недостаточно внимания уделено оценке особенностей формирования разных стратегий кооперации в зависимости от исходных психофизиологических характеристик индивидов.

Цель исследования. Выявить стратегии достижения совместного результата когнитивной деятельности в диадах у испытуемых с различными личностными характеристиками и показателями персональной результативности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С марта 2022 г. по июнь 2023 г. обследованы 204 здоровых испытуемых (средний возраст — 17 лет 9 мес. $\pm$ 3 мес.). Исследование одобрено межвузовским комитетом по этике при ассоциации медицинских и фармацевтических вузов (протокол № 3 от 17.02.2022, получен в отделе организации научных проектов и исследовательских программ ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова). После ознакомления с особенностями обследования все испытуемые добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом. Участники, ранее знакомые друг с другом, проходили тестирования в парах одного пола (52 диады мужчин и 50 диад женщин).

Личностные характеристики выявляли по методике «Большая пятёрка», адаптированной А.Б. Хромовым [17]. В качестве модели когнитивной деятельности использовали компьютерный тест, разработанный в лаборатории на основе методики «Установление закономерностей» [18]. На мониторе испытуемым предъявляется матрица с заданным количеством строк, в каждой из которых слева представлено одно эталонное сочетание шести букв латинского алфавита и справа 5 разных шестизначных чисел. Задача испытуемых — последовательно просмотреть все строки представленной матрицы, выявляя в них полное соответствие или расхождение между закономерностью расположения повторяющихся или разных букв в эталонном слове и местоположением цифр в пяти числах каждой строки. Участники должны отметить все цифровые группы с помощью левой или правой клавиши компьютерной мышки на наличие или отсутствие в них закономерностей. Каждое действие испытуемого (клики на левую или правую кнопки мышки по всем отдельным цифровым группам во всех строках матрицы одного тестового задания), правильность выбора соответствия или несоответствия представленным в словах закономерностям и время их осуществления после начала теста фиксировали в отдельный файл для последующего анализа. Выделяли следующие показатели результативности выполнения отдельного задания: общее количество отмеченных цифровых групп (N, максимальное количество — число строк $\times$ 5 цифровых групп); суммарное количество верно выявленных закономерностей (З); количество неверно отмеченных цифровых групп (Нош.); количество

неотмеченных/пропущенных цифровых групп ($N_{\text{проп.}}$); длительность выполнения теста (T); среднее время анализа одной цифровой группы ($T_{\text{ц.гр.}} = T/N$, с). По этим показателям вычисляли коэффициент успешности (KY) по следующей формуле:

$$KY = N \times [(3 - N_{\text{проп.}}) / (3 + N_{\text{ош.}})].$$

При повторных предъявлениях испытуемым данного теста матрицы были сравнимой сложности, но их содержание отличалось, включая другие сочетания букв в эталонных словах и цифр в анализируемых числах всех строк. Это исключало запоминание содержания ранее представленной матрицы.

На индивидуальном этапе испытуемые одновременно проходили тест по одинаковым матрицам за отдельными мониторами, разделёнными перегородками. При тренировочной сессии предъявлялась матрица из шести строк без ограничения по времени, контрольное тестирование испытуемые выполняли по матрице из 12 строк, предъявляемой на 3 мин. Затем перегородки убирали, испытуемых информировали о соревновательном характере задания и необходимости выполнить его быстрее и точнее, чем соперник. Новые матрицы также состояли из 12 строк и предъявлялись на отдельных экранах с ограничением по времени в 3 мин. На следующем этапе испытуемые инструктировались действовать кооперативно, то есть выявлять закономерности вместе в строках новой матрицы, демонстрируемой на одном мониторе компьютера с двумя активными компьютерными мышками. Участники диад сначала обсуждали программу совместных действий, затем проходили сеанс тренировки без временного ограничения по матрице из шести строк. Затем пары участников выполняли контрольное кооперативное задание по новой матрице из 12 строк, предъявляемой на 3 мин.

Статистический анализ и графическое представление данных осуществляли с помощью программ Statistica 12.5 и GraphPad Prism 8. Проверка распределений данных в выборках (по методам Шапиро–Вилкоксона и Колмогорова–Смирнова) выявила их несоответствие параметрам нормальности. Исходя из этого, в дальнейшем использовали непараметрические статистические методы. Различия показателей между группами испытуемых анализировали по критерию Манна–Уитни и с помощью метода Краскела–Уоллиса (KW) с поправкой для множественных парных сравнений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ видеозаписей и пространственно-временных паттернов действий партнёров позволил выделить совместную (1) и раздельную (2) стратегии кооперативной деятельности испытуемых в диадах (рис. 1). При совместной стратегии кооперации (А-1 и В-1 на рис. 1) испытуемые сообща последовательно обсуждали и анализировали все цифровые группы каждой строки матрицы. Один из партнёров при этом отмечал мышкой наличие

или отсутствие закономерностей после принятия общего решения. Окончание выполнения теста в парах с этой стратегией происходило в нижних строках матрицы.

При второй стратегии кооперации участники выполняли части задания отдельно, самостоятельно анализируя и отмечая цифровые группы своими компьютерными мышками в отдельных строках матрицы поочерёдно: чётные–нечётные или верхние–нижние (А-2 на рис. 1). При этом на графике пространственного паттерна (В-2 на рис. 1) отражаются переходы действий от одного партнёра к другому (в представленной паре с верхних строк к нижним и обратно). Окончание выполнения задания в представленной паре произошло соответственно в середине матрицы.

Распределения числа пар по всем группам с разными стратегиям кооперации были сопоставимы и достоверно не различались (1 — 52,9%, $n=54$; 2 — 47,1%, $n=48$), как и между отдельными группами диад мужчин и женщин (1♂ — 27,5%, $n=28$; 2♂ — 23,5%, $n=24$; 1♀ — 25,5%, $n=26$; 2♀ — 23,5%, $n=24$).

Достоверных различий значений KY между группами пар с разными стратегиями кооперации и между всеми подгруппами диад мужчин и женщин не выявлено. Также не обнаружено значимых различий KY между парами с разными стратегиями кооперации отдельно в мужских и женских выборках.

Обнаружены достоверные различия временных характеристик кооперативной деятельности между парами с разными стратегиями кооперации и полом партнёров (рис. 2). Все пары с раздельной стратегией, по сравнению со всеми диадами с совместной стратегией, достоверно быстрее выполняли тест (рис. 2А), просматривая значительно большее число цифровых групп (рис. 2В), затрачивая меньше времени на анализ отдельных чисел (рис. 2С). Такие же различия выявлены между мужскими парами с разными стратегиями, но не между женскими диадами с разными стратегиями кооперации и не между мужскими и женскими парами, действовавшими совместно. Половые различия временных характеристик деятельности найдены между диадами, выбравшими стратегию разделения задания на подзадачи: эти пары мужчин быстрее выполняли тест и отметили больше цифровых групп по сравнению с аналогичными парами женщин.

Анализ показателей ошибочности кооперативной деятельности выявил, что пары женщин с совместной стратегией совершают меньше пропусков, по сравнению с аналогичными диадами мужчин ($p < 0,05$) и с женскими парами с раздельной стратегией ($p < 0,05$). Обнаружены половые различия числа неверно выявленных закономерностей ($p=0,08$) и общего количества ошибок ($p < 0,10$), но вне зависимости от стратегий кооперации: все мужские пары совершали их больше, чем все женские.

Далее проведён сравнительный анализ показателей результативности испытуемых на индивидуальном этапе деятельности и значений их внутридиадических

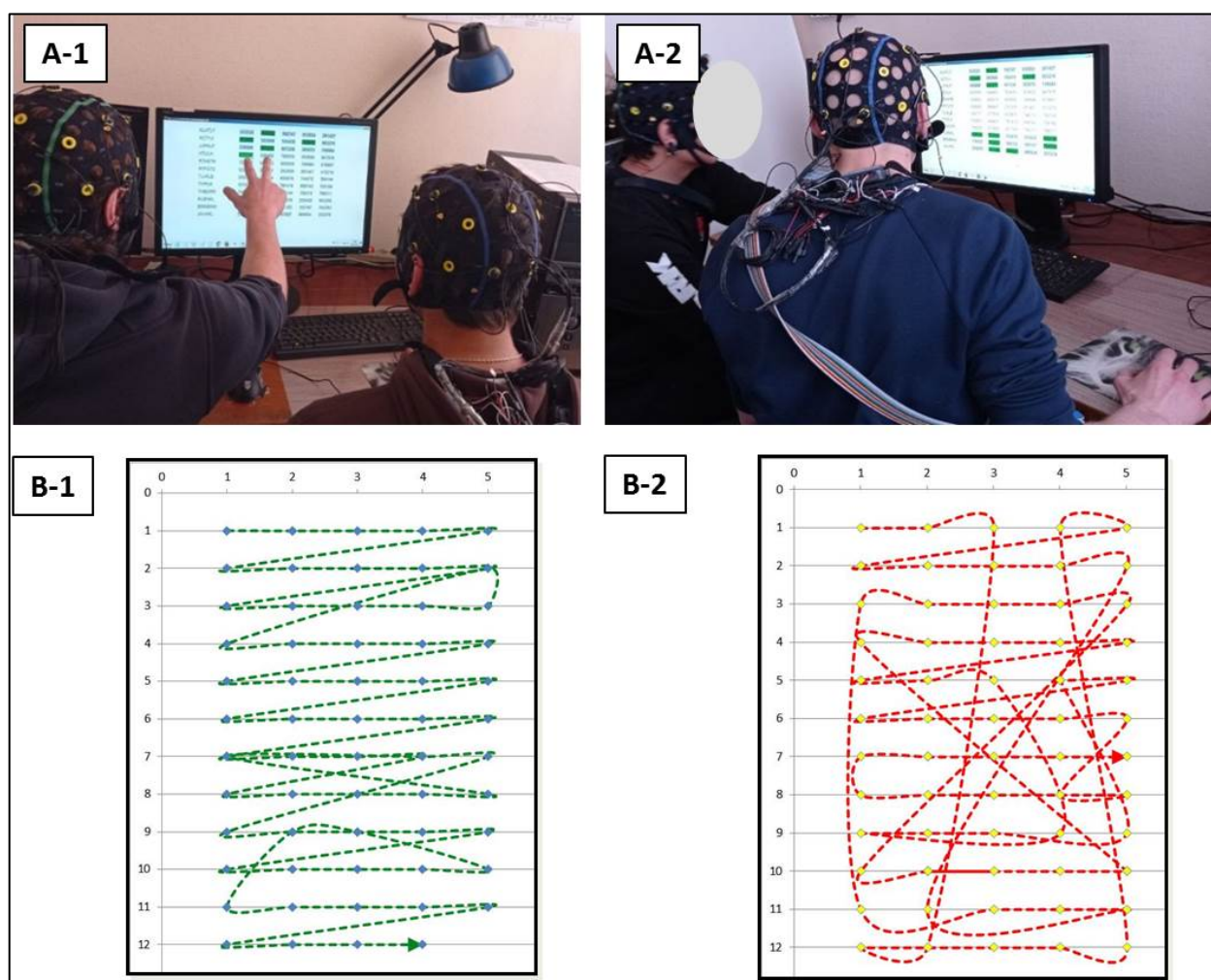


Рис. 1. Иллюстрации выполнения теста «Установление закономерностей»: фотографии партнёров с совместной (А-1) и раздельной (А-2) стратегиями кооперации; графики последовательных кликов компьютерными мышками в 2-мерном пространстве матрицы теста при совместной (В-1) и раздельной (В-2) стратегиях кооперации. Оси абсцисс — номера цифровых групп в строках, оси ординат — номера строк матрицы, пунктирные линии — траектории переходов нажатий от одной цифровой группы к следующей, стрелки — место окончания выполнения теста.

Fig. 1. Illustrations of the Pattern Recognition Test Performance: Photographs of partners employing joint (A-1) and separate (A-2) cooperation strategies; graphs of sequential mouse clicks in the two-dimensional matrix space of the test under joint (B-1) and separate (B-2) cooperation strategies. The x-axis shows the numbers of digit groups in rows; the y-axis shows the row numbers in the matrix; dashed lines represent the trajectories of transitions between digit groups, and arrows indicate the point at which the test was completed.

разниц при соревновании между группами участников пар, которые в последующем выбрали разные стратегии кооперации (табл. 1). Обнаружено, что показатели индивидуальной ошибочности и внутридиадические различия числа ошибок при соревновании были выше у участников с последующей совместной стратегией кооперации, по сравнению с теми, кто выбрал раздельную. Однако у испытуемых с совместной стратегией кооперации внутридиадические различия количества просмотренных чисел и среднего времени их анализа при соревновании были значимо меньше, чем в парах с раздельной стратегией. Это свидетельствует о том, что пары, выбравшие совместную стратегию кооперации, состояли из партнёров, у которых была большая исходная индивидуальная ошибочность и их различия при соревновании, но они имели при этом близкий темп деятельности. У участников диад с раздельной стратегией были меньшие значения

ошибочности на индивидуальном этапе и их различия в парах при соревновании, но они больше различались по временным показателям индивидуальной и соревновательной деятельности.

Сравнительный анализ личностных характеристик между испытуемыми, которые выполняли когнитивный тест в парах с разными стратегиями кооперации, показал, что для всей выборки участников с совместной стратегией кооперации были характерны больший уровень баллов по субшкале «понимание» фактора «доброжелательность» и по субшкале «расслабленность» фактора «нейротизм» пятифакторной модели личности, по сравнению с участниками с раздельной стратегией (рис. 3). У последних были выше баллы по субшкале «активность» фактора «экстраверсия».

Совокупные достоверные различия субфакторов «понимание» ($\text{stat(KW)}=20,01$; $p < 0,001$) и «расслабленность»

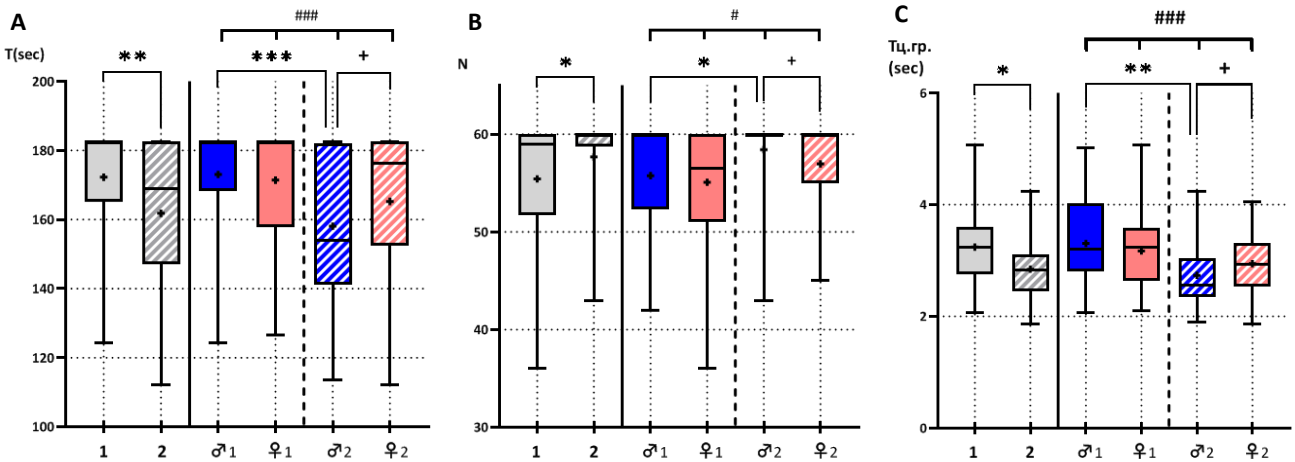


Рис. 2. Диаграммы показателей кооперативной деятельности пар испытуемых: А — общее время выполнения теста «Установление закономерности»; В — суммарное количество отмеченных цифровых сочетаний; С — средняя длительность анализа цифровых групп. По осям абсцисс группы сравнения: 1 и 2 — все пары с разными стратегиями кооперации; ♂1, ♂2, ♀1, ♀2 — мужские и женские диады с разными стратегиями. По осям ординат шкалы показателей. Линии внутри боксов — медианные значения, границы боксов — квартили Q1 и Q3, «усы» — минимальные и максимальные значения, крестики в боксах — средние значения. Достоверность различий: * — между стратегиями (критерий Манна–Уитни), + — между полом (критерий Манна–Уитни), # — между всеми четырьмя группами (метод Краскела–Уоллиса). Количество символов соответствует уровням значимости: $p < 0,05$, $p < 0,01$ и $p < 0,001$.

Fig. 2. Diagrams of cooperative performance indicators in participant dyads: A, total time to complete the Pattern Recognition Test; B, total number of identified digit combinations; C, average duration of digit group analysis. On the x-axis comparison groups: 1 and 2 represent all dyads with different cooperation strategies; ♂1, ♂2, ♀1, ♀2 represent male and female dyads with different strategies. On the y-axis: scales of the indicators. Lines inside the boxes represent medians; box edges correspond to Q1 and Q3 quartiles; whiskers indicate minimum and maximum values; crosses inside the boxes denote means. Statistical significance: * between cooperation strategies (Mann–Whitney test), + between sexes (Mann–Whitney test), # across all four groups (Kruskal–Wallis test). The number of symbols corresponds to levels of significance: $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$.

Таблица 1. Показатели индивидуальной результативности и внутридиадических разниц испытуемых при соревновании в парах с разными стратегиями последующей кооперации

Table 1. Indicators of individual performance and intra-dyadic differences among participants during competitive tasks in dyads with different subsequent cooperation strategies

Показатели Indicator	Стратегии кооперации Cooperation strategy		p (критерий Манна–Уитни) p (Mann–Whitney test)
	1	2	
Nпроп. Nomitted	1,5±0,2 1 (0,0; 2,0)	1,1±0,3 0 (0,0; 1,0)	0,019
ΔNпроп. ΔNomitted	2,0±0,3 1 (1,0; 3,0)	1,7±0,4 1 (0,0; 2,0)	0,06
Noш. Nincorrect	4,5±0,5 3 (1,0; 7,0)	2,7±0,4 1 (0,0; 4,0)	0,048
ΔNoш. ΔN (incorrectly)	5,2±0,6 4,5 (1,5; 9,0)	3,4±0,5 2 (0,0; 4,0)	0,03
N (все ошибки) N (all errors)	5,9±0,6 4 (1,0; 8,5)	3,8±0,5 2 (0,0; 6,0)	0,002
ΔN (все ошибки) ΔN (all errors)	6,0±0,7 5 (1,5; 9,5)	4,2±0,6 3 (1,0; 5,0)	0,06
ΔN	8,2±1,0 5 (2,0; 14,0)	11,3±1,2 10 (5,5; 15,0)	0,04
ΔТц.гр., с ΔTgr. (s)	0,9±0,1 0,9 (0,3; 1,3)	1,4±0,2 1 (0,5; 1,6)	0,08

Примечание. N — количество отмеченных цифровых групп; Noш. — количество неверно отмеченных цифровых групп; Nпроп. — количество не-отмеченных/пропущенных цифровых групп; Тц.гр. — среднее время анализа одной цифровой группы. Представлены средние значения ± ошибки средних и медианы с квартилями (Q1; Q3); p — достоверность различий между группами с разными стратегиями кооперации.

Note: N, number of identified digit groups; Nincorrect, number of incorrectly identified digit groups; Nomitted, number of omitted/unmarked digit groups; Tdigit group, average time spent analyzing one digit group. Values are presented as means ± standard errors and medians with quartiles (Q1; Q3). p , statistical significance of differences between groups with different cooperation strategies.

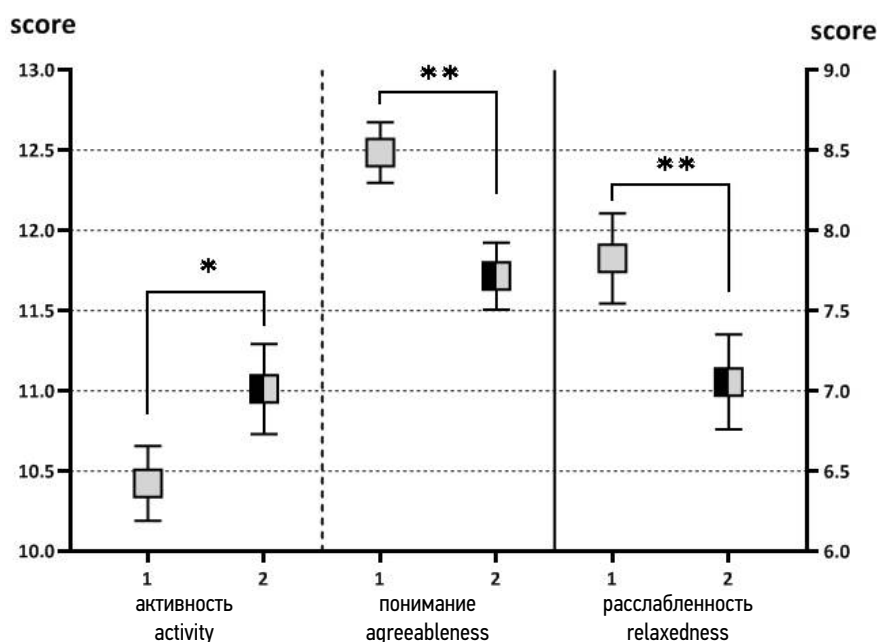


Рис. 3. График уровней личностных характеристик испытуемых с совместной (1) и раздельной (2) стратегиями последующей кооперации в диадах. Представлены средние значения с ошибками средних в группах и достоверностью межгрупповых различий: * $p < 0,1$, ** $p < 0,05$.

Fig. 3. Levels of personality traits in participants with joint (1) and separate (2) strategies of subsequent cooperation in dyads. Mean values with standard errors are presented for each group; the significance of intergroup differences is indicated as follows: * $p < 0,1$, ** $p < 0,05$.

(stat(KW)=23,66; $p < 0,001$) выявлены между всеми четырьмя группами испытуемых: мужчин и женщин с разными стратегиями кооперации. По обеим характеристикам женщины отличались большими значениями баллов по сравнению со всеми мужчинами ($p < 0,001$). При этом выявлены множественные парные различия баллов по субшкале «понимание» между следующими группами участников ($J1 > [J2 \approx M1] > M2$): выше у мужчин с совместной, чем у мужчин с раздельной стратегией ($M1 > M2$, $p < 0,05$), и выше у женщин с совместной стратегией кооперации по сравнению с мужчинами с той же стратегией ($J1 > M1$, $p < 0,001$). По субшкале «расслабленность» значения баллов имели следующий градиент значимых ($p < 0,05$) межгрупповых различий: $[J1 \approx J2] > M1 > M2$.

Кроме того, выявлены отличия других личностных качеств отдельно в выборках мужчин и женщин с разными стратегиями кооперации в диадах. Мужчины с совместной стратегией имели более высокий уровень значений по субшкалам «поиск впечатлений» фактора «экстраверсия» ($p < 0,05$), «эмоциональная стабильность» фактора «нейротизм» ($p < 0,1$) и были менее доверчивы (субшкала основного фактора «доброжелательность», $p < 0,05$), по сравнению с мужчинами, выбравшими раздельную стратегию. У женщин, выбравших совместную стратегию, были выше показатели по субшкалам самоконтроля фактора «добросовестность» ($p < 0,05$) и сенситивности фактора «открытость» ($p < 0,1$), чем у женщин с раздельной стратегией, которые имели более высокий уровень характеристики по субшкале «чувство вины» фактора «экстраверсия» ($p < 0,01$).

ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного исследования показано, что диады испытуемых выбирали две разные стратегии кооперативного выполнения когнитивного задания: совместную или раздельную. Полученные данные согласуются с рядом исследований, в которых также выделены две аналогичные стратегии кооперативной деятельности, первая из которых обозначается как совместная, интегративная или ролевая компиляция, а вторая — как сегрегация функций или композиция ролей партнеров [9, 12–14].

Большинство эмпирических исследований проведены с использованием четких типов заданий и инструкций, которые предполагают однозначное использование той или иной стратегии взаимодействий в группах. Продемонстрирована зависимость стратегий кооперации от типа решаемых партнерами задач: в зрительно-пространственных тестах преобладало сотрудничество со стратегией сегрегации, тогда как при необходимости принятия совместных перцептивных решений пары выбирали интегративный тип кооперации [11]. Авторы объясняют эти различия в первую очередь структурой и уровнем сложности задач, от которых зависит возможность отдельных членов группы взять на себя решение части задания, например, пространственное разделение поиска объектов. Также показано, что решение группой аддитивных задач, как правило, осуществляется посредством композиции ролей или сегрегации функций, тогда как выполнение дизъюнктивных и конъюнктивных задач преимущественно происходит с формированием компиляционной функционально-ролевой структуры команды [14].

Нами выявлено, что интегральный показатель успешности не различался между парами с разными стратегиями кооперации. Это свидетельствует о том, что результат командной деятельности одного уровня может быть достигнут разными способами или стратегиями действий участников. Аналогичные данные получены в исследованиях как результативности индивидуальной деятельности человека [19], так и командной эффективности [20]. Такие результаты соответствуют принципу эквивалентности, предложенному Bertalanffy [21] для любых открытых систем, и узловым механизмам теории функциональных систем П.К. Анохина [22].

В нашей работе обнаружено, что эти две стратегии отличались по характеристикам кооперативной деятельности пар. При раздельной стратегии тест выполнялся быстрее, но с большей общеконтактной ошибочностью по сравнению с совместной. Этот факт объясняется тем, что при совместной стратегии анализа закономерностей партнёры использовали возможность коммуникации для принятия общего решения и прихода к согласию. Тогда как при раздельной стратегии этот аспект взаимодействий отсутствовал, партнёры не вмешивались в решения друг друга, только визуально согласовывая двигательный компонент выполнения общего задания (проставление отметок собственной мышкой поочерёдно в своих строках). А время, затрачиваемое партнёром на эти действия, использовалось другим участником для визуального анализа своих строк теста. При этом отсутствие взаимного контроля правильности выявления закономерностей в парах с раздельной стратегией приводило к большей командной ошибочности.

Анализ персональных показателей результативности когнитивной деятельности испытуемых и их исходных личностных характеристик выявил прогностические факторы последующего выбора партнёрами разных стратегий кооперации. Совместную стратегию кооперации преимущественно выбирали испытуемые с более высокой ошибочностью на индивидуальном этапе деятельности и её разницей в паре при соревновании, близким темпом деятельности партнёров и более высокими уровнями оценок по субшкале «понимание других», меньшими значениями по фактору «нейротизм».

Выявленные нами высокие показатели ошибочности при индивидуальной деятельности и их внутридиагностические различия при соревновании в сочетании с меньшей доверчивостью участников пар с последующей совместной стратегией кооперации согласуются с возможным формированием в этих диадах ролевой структуры «лидер–последователь» [23] с дополнительной рациональной возможностью взаимного контроля качества когнитивной деятельности. Более низкие показатели исходной индивидуальной ошибочности, высокое доверие к партнёру и большая разница темпа деятельности других испытуемых могли способствовать тому, что они в последующем выбрали равноправную раздельную стратегию кооперации.

Нами показано, что у участников с совместной стратегией был близкий персональный темп когнитивной деятельности. Это согласуется с исследованиями, в которых доказана роль психологического и нейрофизиологического сходства и различий, а также возможной комплиментарности качеств партнёров в эффективности совместной деятельности [24–26]. Высокая разница темпа деятельности между участниками может также способствовать их стремлению выполнять отдельные части задачи независимо.

Взаимосвязи личностных характеристик индивидов с результативностью командной деятельности показаны во многих исследованиях. Выделяют влияние отдельных черт личности на микроклимат социальных взаимоотношений в коллективе, а других качеств — непосредственно на процессы командных взаимодействий [15]. Обе группы персональных характеристик членов команд прямо или косвенно влияют на эффективность достижения общего результата кооперации. Jolić Marjanović и соавт. [16] приводят результаты исследований взаимосвязей личностных качеств с характеристиками сотрудничества, демонстрирующие, что добросовестность и доброжелательность положительно связаны с качеством выполнения задач, требующих принятия совместных решений. При этом добросовестность в большей степени сказывалась на процессах деятельности команды, а доброжелательность была взаимосвязана с социальными отношениями и ролями в группах. Также показано, что степень экстраверсии значима для позиционирования субъектов внутри группы, а эмоциональная стабильность влияет на сплочённость команды. Такие взаимосвязи объясняются тем, что у людей с большей степенью экстраверсии и доброжелательности сильнее проявляется «эффект Саймона», который отражает способность человека интегрировать представления о действиях партнёров и своих собственных [27].

Нами выявлены половые различия показателей деятельности диад: мужчины совершали большее число ошибок и быстрее выполняли тест, чем женщины, особенно при сравнении пар с раздельной стратегией кооперации. Также обнаружены половые особенности различий личностных характеристик между испытуемыми с разными стратегиями последующей кооперации. Эти результаты согласуются с данными исследований, в которых показано большее предпочтение к сотрудничеству у женщин, чем у мужчин, склонных к конкурентным взаимоотношениям [28]. Эти половые различия являются результатом формирования разных социальных ролей и функций мужчин и женщин в процессе эволюции человеческих сообществ.

К ограничению исследования следует отнести молодую возрастную группу испытуемых, большинство которых были студентами вузов и имели на момент участия в исследованиях социальный опыт только в семейном общении и в образовательных коллективах. В последующем необходимо

провести исследования совместной деятельности мужчин и женщин среднего и старшего возрастов, с большим социальным опытом в разных сферах профессиональной деятельности. В дальнейшем перспективно проведение лонгитюдных исследований процессов формирования команд, их устойчивого развития на протяжении более длительных периодов времени и по возможности в условиях реальной трудовой деятельности или на основе симуляционных командных тренингов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого исследования выявлены совместная и раздельная стратегии кооперативной когнитивной деятельности пар испытуемых. Распределения числа пар по группам с разными стратегиями кооперации были сопоставимы и достоверно не различались, как и между отдельными выборками диад мужчин и женщин. Не обнаружено отличий значений интегральной успешности пар между группами с разными стратегиями и полом испытуемых. Пары с раздельной стратегией кооперации быстрее выполняли когнитивное задание, но с большей ошибочностью по сравнению с диадами с совместной стратегией.

Выявлены персональные прогностические факторы выбора испытуемыми разных стратегий кооперации в диадах. У партнёров с совместной и раздельной стратегиями значимо отличались исходные показатели индивидуальной результативности, внутридиадические разницы ошибочности и временных параметров когнитивной деятельности, а также ряд личностных характеристик.

Показаны половые отличия временных характеристик и ошибочности деятельности диад с раздельной стратегией кооперации. Кроме общих для обоих полов психологических характеристик (понимание, расслабленность и активность), дополнительные личностные качества различались между парами мужчин (доверие, поиск впечатлений, эмоциональная стабильность) и диадами женщин (самоконтроль, сенситивность и чувство вины), выбравших разные стратегии кооперации.

Полученные данные могут лечь в основу разработки новых методических подходов к подбору команд с высокой эффективностью совместной деятельности при разных требованиях к характеру её выполнения. Например, при необходимости скорейшего получения результата целесообразнее выбор исполнителей, способных без лишних коммуникаций раздельно выполнить подзадачи для быстрого достижения общей цели. В условиях без временного ограничения и с высокими требованиями к качеству конечного результата необходимо обеспечить совместную стратегию командной работы партнёров, контролирующую действия друг друга, способных к взаимопониманию и схожих по темпу деятельности, для эффективной межличностной координации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Е.П. Муртазина — сбор и анализ литературных источников, биоинформатический анализ данных, подготовка и написание текста статьи; О.И. Ермакова — проведение обследований, обработка данных; С.С. Перцов — редактирование статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Исследование одобрено межвузовским комитетом по этике при ассоциации медицинских и фармацевтических вузов (протокол № 3 от 17.02.2022, получен в отделе организации научных проектов и исследовательских программ ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова).

Согласие на публикацию. Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источники финансирования. Исследование проведено в рамках Государственного задания.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

Благодарность. Авторы выражают признательность Е.С. Галушка и О.М. Зотовой за помощь в проведении обследований.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: E.P. Murtazina: formal analysis, writing—original draft; O.I. Ermakova: investigation, data curation; S.S. Pertsov: writing—review & editing. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The study was approved by the Interuniversity Ethics Committee under the Association of Medical and Pharmaceutical Universities (Protocol No. 3 dated February 17, 2022, obtained through the Department of Scientific Projects and Research Programs of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry).

Consent for publication: All participants provided written informed consent prior to inclusion in the study.

Funding sources: The study was conducted under a State Assignment.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer-review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process

involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

Acknowledgments: The authors express their gratitude to E.S. Galushka and O.M. Zotova for their assistance in conducting the examinations.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Chashchin VP, Kovshov AA, Gudkov AB, Morgunov BA. Socioeconomic and behavioral risk factors of disabilities among the indigenous population in the far north. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2016;23(6):3–8. doi: 10.33396/1728-0869-2016-6-3-8 EDN: VZZFET
- Giesinger I, Buajitti E, Siddiqi A, et al. The association between total social exposure and incident multimorbidity: A population-based cohort study. *SSM Popul Health*. 2024;29:101743. doi: 10.1016/j.ssmph.2024.101743
- Korneeva Ya, Simonova N. Job stress and working capacity among fly-in-fly-out workers in the oil and gas extraction industries in the Arctic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(21):7759. doi: 10.3390/ijerph17217759 EDN: UGQELN
- Murtazina EP, Korobeynikova II, Poskotinova LV, et al. Analysis of cognitive functions and neurophysiological processes in adaptation of human to conditions of the Arctic region. *IP Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2023;31(2):293–304. doi: 10.17816/PAVLOVJ109581 EDN: FLNEIA
- Sidorov PI. Mental health service. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2014;21(8):44–56. doi: 10.17816/humeco17215 EDN: SMKJMD
- Andreatta PB, Graybill JC, Renninger CH, et al. Five influential factors for clinical team performance in urgent, emergency care contexts. *Military Medicine*. 2023;188(7–8):e2480–e2488. doi: 10.1093/milmed/usac269
- Dawe J, Cronshaw H, Frerk C. Learning from the multidisciplinary team: advancing patient care through collaboration. *Br J Hosp Med*. 2024;85(5):1–4. doi: 10.12968/hmed.2023.0387
- Momennejad I. Collective minds: social network topology shapes collective cognition. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. 2022;377(1843):20200315. doi: 10.1098/rstb.2020.0315
- Kozlowski SWJ. A multilevel, emergent journey to unpack team process dynamics. *Small Group Research*. 2024;56(3):487–523. doi: 10.1177/10464964241281347
- Child J, Faulkner D. *Strategies of cooperation: managing alliances, networks, and joint ventures*. Oxford University Press; 1998. 371 p. ISBN: 10: 0198774842
- Wahn B, Kingstone A, König P. Group benefits in joint perceptual tasks — a review. *Ann N Y Acad Sci*. 2018;1426(1):166–178. doi: 10.1111/nyas.13843
- Gordon J, Knoblich G, Pezzulo G. Strategic task decomposition in joint action. *Cogn Sci*. 2023;47(7):e13316. doi: 10.1111/cogs.13316
- Gulati R, Wohlgezogen F, Zhelyazkov P. The two facets of collaboration: cooperation and coordination in strategic alliances. *Academy of Management Annals*. 2012;6(1):531–583. doi: 10.1080/19416520.2012.691646
- Belousova AK, Kachan YuM. Functional-role distribution of students in the joint solution of problems of different types. *Bulletin of Udmurt University. Series Philosophy. Psychology. Pedagogy*. 2024;34(1):26–37. doi: 10.35634/2412-9550-2024-34-1-26-37 EDN: EGZVYT
- Prewett MS, Brown MI, Goswami A, Christiansen ND. Effects of team personality composition on member performance: a multilevel perspective. *Group & Organization Management*. 2018;43(2):316–348. doi: 10.1177/1059601116668633
- Jolić Marjanović Z, Krstić K, Rajić M, et al. The big five and collaborative problem solving: a narrative systematic review. *European Journal of Personality*. 2024;38(3):457–475. doi: 10.1177/08902070231198650
- Khromov AB. *A five-factor personality questionnaire*. Kurgan: Izd-vo Kurganskogo gosuniversiteta; 2000. 23 p. (In Russ.) ISBN: 5-86328-381-5
- Logutova EV. *Diagnosis of cognitive development*. Orenburg: OGU; 2021. 142 p. (In Russ.) EDN: MYFXGU
- Umryukhin YeA, Dzhebrailova T D, Korobeynikova II. Individual characteristics of achieving the results of purposeful activity and spectral characteristics of students' EEG in a pre-examination situation. *Psychological Journal*. 2005;26(4):57–65. (In Russ.) EDN: HRWFIZ
- Marlin D, Ketchen DJ, Lamont B. Equifinality and the strategic groups — performance relationship. *Journal of Management Issues*. 2007;19(2):208–232. URL: <http://www.jstor.org/stable/40604564>
- von Bertalanffy L. *General system theory: foundations, development, applications*. New York: G. Braziller; 1969. 289 p. URL: <https://archive.org/details/generalsystemthe0000bert>
- Anokhin PK. *Fundamental issues of the general theory of functional systems*. Moscow; 1971. 61 p. (In Russ.) URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007229347
- Rosing F, Boer D, Buengeler C. When timing is key: how autocratic and democratic leadership relate to follower trust in emergency contexts. *Front Psychol*. 2022;13:904605. doi: 10.3389/fpsyg.2022.904605
- Wahn B, Czeszumski A, König P. Performance similarities predict collective benefits in dyadic and triadic joint visual search. *PLoS ONE*. 2018;13(1):e0191179. doi: 10.1371/journal.pone.0191179
- Dziura SL, Hosangadi A, Shariq D, et al. Partner similarity and social cognitive traits predict social interaction success among strangers. *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2023;18(1):nsad045. doi: 10.1093/scan/nsad045
- Varfolomeyeva AV, Tishchenko AG, Alexandrov Yul. Variants of mutual coordination of individuals with similar and different psychological characteristics. *Experimental Psychology*. 2024;17(2):84–97. doi: 10.17759/exppsy.2024170205. EDN: DRFEWI
- Campos-Moinier K, Murday V, Brunel L. Individual differences in social interaction contexts: examining the role of personality traits in the degree of self-other integration. *Personality and Individual Differences*. 2022;203:112002. doi: 10.1016/j.paid.2022.112002
- Paletta P, Bass N, Aspesi D, Choleris E. Sex differences in social cognition. *Curr Top Behav Neurosci*. 2023;62:207–234. doi: 10.1007/7854_2022_325

ОБ АВТОРАХ

***Муртазина Елена Павловна**, канд. мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 125315, Москва, Балтийская, д. 8;
ORCID: 0000-0002-4243-8727;
eLibrary SPIN: 4445-4178;
e-mail: murtazina_ep@academpharm.ru

AUTHORS' INFO

***Elena P. Murtazina**, MD, Cand. Sci. (Medicine);
Associate Professor;
address: 8 Baltiyskaya st, Moscow, Russia, 125315;
ORCID: 0000-0002-4243-8727;
eLibrary SPIN: 4445-4178;
e-mail: murtazina_ep@academpharm.ru

Ермакова Ольга Игоревна;

ORCID: 0000-0003-4860-6151;

eLibrary SPIN: 4609-3885;

e-mail: olyadze26@gmail.com

Перцов Сергей Сергеевич, д-р мед. наук, профессор,
чл.-корр. РАН;

ORCID: 0000-0001-5530-4990;

eLibrary SPIN: 3876-0513;

e-mail: pertsov_ss@academpharm.ru

Olga I. Ermakova;

ORCID: 0000-0003-4860-6151;

eLibrary SPIN: 4609-3885;

e-mail: olyadze26@gmail.com

Sergey S. Pertsov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor,
Corresponding Member of the RAS;

ORCID: 0000-0001-5530-4990;

eLibrary SPIN: 3876-0513;

e-mail: pertsov_ss@academpharm.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Цирканнуальные вариации парциальной плотности кислорода в зависимости от уровня солнечной активности и климатического пояса

О.Н. Рагозин¹, Л. Muthelo², Е.Ю. Шаламова¹, А.Б. Гудков³, И.В. Радыш⁴,
Э.Р. Рагозина¹, И.А. Погонышева⁵

¹ Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, Ханты-Мансийск, Россия;

² Университет Лимпопо, Полокване, Южно-Африканская Республика;

³ Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия;

⁴ Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия;

⁵ Нижневартковский государственный университет, Нижневартковск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Существуют медицинские классификации погоды, где определяющим параметром, влияющим на самочувствие человека, является снижение в воздухе парциальной плотности кислорода, которая может модулироваться не только метеофакторами, но и гелиогеофизической обстановкой. Необходимо отметить, что среди типов погод не рассматриваются синоптические комбинации с повышенным содержанием кислорода, хотя в ряде исследований установлено негативное воздействие гипероксии на здоровье.

Цель. Оценить влияние околгодовых вариаций солнечной активности на динамику парциальной плотности кислорода атмосферного воздуха в субарктическом и субтропическом регионах.

Материалы и методы. Для расчёта парциальной плотности кислорода использовали ежедневные среднесуточные значения температуры, атмосферного давления и относительной влажности окружающего воздуха. Данные о числе солнечных пятен получены из общедоступных материалов Королевской обсерватории Бельгии. Сравнивали данные за 2007 г., как наиболее спокойный год 23-го цикла солнечной активности, и за 2001 г., когда активность солнца была высокой. Для математической обработки применяли вейвлет-анализ.

Результаты. В годы спокойного (2007 г.) и активного (2001 г.) солнца значительно отличаются мезоры числа солнечных пятен, амплитуда их колебаний, коэффициент вариации и спектр ритмов. В 2001 г. наиболее мощным являлся ритм, близкий к полугодовому. В 2007 г. динамика числа солнечных пятен составляла 27,27 сут. В Ханты-Мансийске размах сезонных колебаний парциальной плотности кислорода в 2001 г. был ~147 г/м³, в 2007 ~70 г/м³. В годовом цикле превалирует гипероксия с верхней границей 395 г/м³ (норма 285 г/м³). В Полокване в 2001 г. зимне-летняя вариация парциальной плотности кислорода составляет ~24 г/м³ (практически не отличается от 2007 г. — 30 г/м³), что попадает в разряд неблагоприятной гипоксической погоды. В год активного солнца (2001 г.) обнаруживается полиритмия постоянных и вставочных ритмов парциальной плотности кислорода как в субарктическом, так и в субтропическом регионах.

Заключение. В субарктическом регионе в зимний период наблюдаются высокие значения парциальной плотности кислорода в год спокойного солнца и очень высокие — в год активного солнца. Сезонная вариативность состояния «гипероксия/гипоксия» выходит далеко за рамки благоприятного типа погоды. Для субтропического климата характерны колебания парциальной плотности кислорода в пределах гипоксического статуса вне зависимости от уровня солнечной активности. В год высокой солнечной активности в обоих исследованных регионах выявлена полиритмия парциальной плотности кислорода как признак десинхронизации. Медицинские классификации погод рекомендуем дополнить такими пунктами, как «гипероксический день» и «гипероксический тип погоды».

Ключевые слова: экстремальные погодные условия; кислород; гипоксия; гипероксия; Север.

Как цитировать:

Рагозин О.Н., Мутело Л., Шаламова Е.Ю., Гудков А.Б., Радыш И.В., Рагозина Э.Р., Погонышева И.А. Цирканнуальные вариации парциальной плотности кислорода в зависимости от уровня солнечной активности и климатического пояса // Экология человека. 2025. Т. 32, № 1. С. 32–41.

DOI: 10.17816/humeco648668 EDN: JVEJYU

Circannual Variations in Partial Oxygen Density Depending on Solar Activity Level and Climatic Zone

Oleg N. Ragozin¹, Livhuwani Muthelo², Elena Yu. Shalamova¹,
Andrei B. Gudkov³, Ivan V. Radysh⁴, Elina R. Ragozina¹, Irina A. Pogonysheva⁵

¹ Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia;

² University of Limpopo, Polokwane, South Africa;

³ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;

⁴ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia;

⁵ Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Some medical weather classifications identify reduced partial oxygen density in the air as a key parameter affecting human well-being. This parameter can be modulated not only by meteorological factors but also by the helio-geophysical environment. It should be noted that synoptic combinations with elevated oxygen content are not considered among the weather types, although several studies have shown that hyperoxia can have adverse effects on health.

AIM: To assess the influence of circannual variations in solar activity on the changes of atmospheric partial oxygen density in subarctic and subtropical regions.

METHODS: Calculations of partial oxygen density were based on daily average values of air temperature, atmospheric pressure, and relative humidity of the ambient air. Sunspot number data were obtained from publicly available sources provided by the Royal Observatory of Belgium. Data from 2007 (a year of low solar activity in the 23rd solar cycle) and 2001 (a year of high solar activity) were compared. Wavelet analysis was used for mathematical processing.

RESULTS: The mesor, amplitude, coefficient of variation, and rhythm spectrum of sunspot numbers differed significantly between the years of low (2007) and high (2001) solar activity. In 2001, the dominant rhythm was close to a semiannual cycle. In 2007, the rhythm of sunspot numbers was 27.27 days. In Khanty-Mansiysk, the seasonal range of partial oxygen density was ~147 g/m³ in 2001 and ~70 g/m³ in 2007. The annual cycle was characterized by prevailing hyperoxia, with upper values reaching 395 g/m³ (normal: 285 g/m³). In Polokwane, the winter–summer variation in partial oxygen density in 2001 was approximately 24 g/m³ (virtually the same as in 2007, 30 g/m³), which falls into the category of unfavorable hypoxic weather. In the year of high solar activity (2001), a polyrhythmic pattern of both stable and transient rhythms of partial oxygen density was observed in both subarctic and subtropical regions.

CONCLUSION: In the subarctic region, wintertime values of partial oxygen density were high in the year of low solar activity and very high in the year of high activity. Seasonal fluctuations between hyperoxia and hypoxia extended far beyond the range of favorable weather types. Fluctuations in partial oxygen density characteristic of the subtropical climate consistently remained within hypoxic ranges, regardless of solar activity levels. During the year of elevated solar activity, both examined regions exhibited polyrhythmic patterns of partial oxygen density, indicative of desynchronization. It is recommended that medical weather classifications be expanded to include “hyperoxic day” and “hyperoxic weather type.”

Keywords: extreme weather conditions; oxygen; hypoxia; hyperoxia; North.

To cite this article:

Ragozin ON, Muthelo L, Shalamova EYu, Gudkov AB, Radysh IV, Ragozina ER, Pogonysheva IA. Circannual variations in partial oxygen density depending on solar activity level and climatic zone. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(1):32–41. DOI: 10.17816/humeco648668 EDN: JVEJYU

日光活动水平与气候带对氧密度年周期变化的影响

Oleg N. Ragozin¹, Livhuwani Muthelo², Elena Yu. Shalamova¹,
Andrei B. Gudkov³, Ivan V. Radysh⁴, Elina R. Ragozina¹, Irina A. Pogonysheva⁵

¹ Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia;

² University of Limpopo, Polokwane, South Africa;

³ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;

⁴ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia;

⁵ Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia

摘要

论证。在医学气象分类中，影响人体舒适感受的一个关键因素是空气中氧密度的下降，而该参数不仅受气象条件的调节，还可能受到太阳地球物理环境的影响。值得指出的是，在这些天气类型中尚未纳入富氧的天气组合，尽管已有研究证实高氧状态可能对健康产生不利影响。

目的。评估太阳活动的近年周期变化对亚北极和亚热带地区大气氧密度动态的影响。

材料与方法。为计算氧密度，使用了每日的平均气温、大气压和相对湿度值。关于太阳黑子数的数据来自Royal Observatory of Belgium公开发布的资料。比较了第23太阳活动周期中最为平静的年份2007年和太阳活动最为活跃的年份2001年的数据。数学分析采用小波分析法。

结果。在太阳活动平静（2007年）和活跃（2001年）年份，太阳黑子数的中值、波动幅度、变异系数和节律谱存在显著差异。2001年最显著的节律接近半年周期。2007年太阳黑子数的变化节律为27.27天。在Khanty-Mansiysk，2001年氧密度的季节波动幅度约为147 g/m³，2007年约为70 g/m³。全年周期内以高氧状态为主，其上限为395 g/m³（正常值为285 g/m³）。在Polokwane，2001年冬夏季的氧密度变化约为24 g/m³（与2007年的30 g/m³差异不大），均被归为不利的低氧型天气条件。在太阳活动活跃年（2001年），在亚北极和亚热带地区均发现氧密度存在主节律与插入节律共存的多节律现象。

结论。在亚北极地区的冬季，太阳活动平静年份的氧密度水平较高，而在太阳活动活跃年份则达到非常高的水平。“高氧/低氧”状态的季节性变异明显超出有利天气类型的范围。亚热带地区的氧密度波动始终处于低氧状态，且不受太阳活动水平的影响。在太阳活动旺盛年份，两个地区均观察到氧密度节律的多样性，可作为生物节律失调（desynchronosis）的一个指征。建议将“高氧日”和“高氧型天气”纳入医学气象分类体系。

关键词：极端气象条件；氧；低氧；高氧；北方地区。

引用本文：

Ragozin ON, Muthelo L, Shalamova EYu, Gudkov AB, Radysh IV, Ragozina ER, Pogonysheva IA. 日光活动水平与气候带对氧密度年周期变化的影响. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(1):32–41. DOI: 10.17816/humeco648668 EDN: JVEJYU

ОБОСНОВАНИЕ

Накоплен достаточно обширный материал о влиянии геофизических и погодных факторов на здоровье человека [1–3].

Серьёзный вклад в изучение гелиометеотропных реакций организма внесли российские учёные [4]. Метеотропные реакции наблюдаются при заболеваниях сердца, сосудов, бронхов и лёгких, органов пищеварения, суставов, кожи, при нервной и психической патологии [5, 6].

В северном регионе возникают условия для нарушения временной организации психофизиологических функций организма, обусловленные характерным гелиофизическим статусом циркумполярных областей [7].

В настоящее время интерес специалистов различного профиля сосредоточен на влиянии экзогенных факторов на динамику содержания кислорода в приземном воздухе [8]. Существует несколько классификаций погод, где определяющим фактором, влияющим на здоровье человека, является величина парциальной плотности кислорода (ППК), или весового содержания кислорода. Различают гипоксический, спастический, индифферентный, гипотензивный типы погоды, требующие или не требующие медицинского контроля [9, 10].

Необходимо отметить, что имеющиеся классификации не учитывают варианты погод с повышенным содержанием кислорода, хотя в ряде исследований установлено негативное воздействие гипероксии на здоровье и самочувствие человека [11–15]. Представляется актуальным оценить влияние активного и спокойного солнца на формирование цирканнуальных ритмов ППК в приземном слое воздуха в разных климатических поясах.

Цель исследования. Оценить влияние окологодовых вариаций солнечной активности на сезонную динамику ППК атмосферного воздуха в субарктическом и субтропическом регионах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для расчёта ППК (г/м^3) использовали ежедневные среднесуточные значения температуры окружающего воздуха (T , °C), атмосферного давления (P , мм рт. ст.) и относительной влажности (ϕ , %). ППК прямо пропорциональна атмосферному давлению за вычетом парциального давления водяного пара и обратно пропорциональна температуре воздуха: $O_2 = 83 \times (P - \phi) / T$. Наблюдается прямая корреляция ППК с парциальным давлением кислорода во вдыхаемом и альвеолярном воздухе в зависимости от физических характеристик [16].

Данные об относительном ежедневном числе солнечных пятен (число Вольфа — W) получены из общедоступных материалов Королевской обсерватории Бельгии (Брюссель)¹.

исследование проводили в 2024 г. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом БУ «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия» (заключение № 214 от 15 октября 2024 г.).

Сравнивали 2007 г., как наиболее спокойный год 23-го цикла солнечной активности (среднемесячный сглаженный минимум W — 2,2), и 2001 г. — год активного солнца (W — 180,3). Для оценки временных рядов применяли вейвлет-анализ². По результатам вейвлетного преобразования можно судить, как со временем меняется спектральный состав временного ряда.

Определяли средний уровень показателя (мезор, $M \pm m$), амплитуду ритма (A , усл. ед.), периоды постоянных и вставочных (квантованных) ритмов (сут), коэффициент вариации (c_v , %) анализируемых временных рядов. Статистическую значимость ритмов оценивали путём многократной (5000) случайной перестановки уровней исходного временного ряда. Приведённое в статье p -значение показывает долю случаев, когда энергия выделенной частотной составляющей в исходном ряду превышала соответствующую энергию в случайной перестановке.

Город Ханты-Мансийск — столица Ханты-Мансийского автономного округа — Югры; координаты: 61° с.ш. 69° в.д. Климат в регионе резко континентальный: зима суровая, продолжительная, с сильными ветрами и метелями, весенними возвратами холодов, поздними весенними и ранними осенними заморозками. В течение года наблюдаются выраженные изменения фотопериода: минимальная продолжительность светового дня отмечена 22 декабря и достигает 5 ч 32 мин, летом во время белых ночей светлое время суток составляет 19 ч 17 мин³.

Город Полокване — административный центр муниципалитета Полокване, района имени Тропика Козерога и провинции Лимпопо (ЮАР); координаты: 23° ю.ш. 29° в.д. Лето в Лимпопо продолжается с ноября по март (~5 мес.). В этот сезон выпадает большая часть ежегодных осадков. Зима длится с июня по август (~3 мес.), осадки практически не выпадают. В провинции обильное солнечное освещение в течение всего года, особенно зимой. Сезонные вариации фотопериода незначительны, градиент в пределах 3 ч (22 июня продолжительность светового дня 10 ч 39 мин, 22 декабря — 13 ч 36 мин)⁴.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Описательные статистики W (усл. ед.) и внутригодовые ритмы солнечной активности за 2001 и 2007 гг.

² Программа исследования биологических ритмов методом вейвлет-анализа. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014611398 от 03.02.2014.

³ Ханты-Мансийский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Режим доступа: <http://www.ugrameteo.ru> Дата обращения: 07.11.2024.

⁴ Green Book: Adapting South African Settlements to Climate Change. Режим доступа: <https://greenbook.co.za> Дата обращения: 07.11.2024.

¹ WDC-SILSO. Royal Observatory of Belgium, Brussels. Режим доступа: <http://www.sidc.be/silso/datafiles> Дата обращения: 07.11.2024.

Таблица 1. Внутригодовые ритмы солнечной активности за 2001 и 2007 гг.

Table 1. Intra-annual rhythms of solar activity in 2001 and 2007

Год Year	Период, сут Period, days	Энергия ритма, усл. ед. Rhythm energy, arb. units	ρ
2001	165,3	4,55	0,001
	105,1	2,33	0,001
	59,7	1,08	0,024
	9,8	0,87	0,012
2007	27,0	4,08	0,001
	13,7	1,43	0,001
	8,7	1,04	0,001

представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Среднегодовые уровни W (усл. ед.), A (усл. ед.) и c_v (%) в годы спокойного (2007 г.) и активного (2001 г.) солнца значительно отличаются (см. рис. 1). Спектр ритмов также различен (см. табл. 1).

В 2001 г. наиболее мощным является ритм, близкий к полугодовому (165,3 сут), и ритмы, близкие по периоду к трём, двум месяцам и неделе (табл. 1, рис. 2). В 2007 г. динамика W подчиняется ритму с периодом 27,0 сут с наибольшей амплитудой весной и осенью и низкоамплитудными двух- и околонедельными всплесками в зимний период (см. табл. 1, рис. 2).

По среднегодовым величинам ППК и амплитуде экологических колебаний в исследуемых климатических поясах в различные годы солнечного цикла достоверной

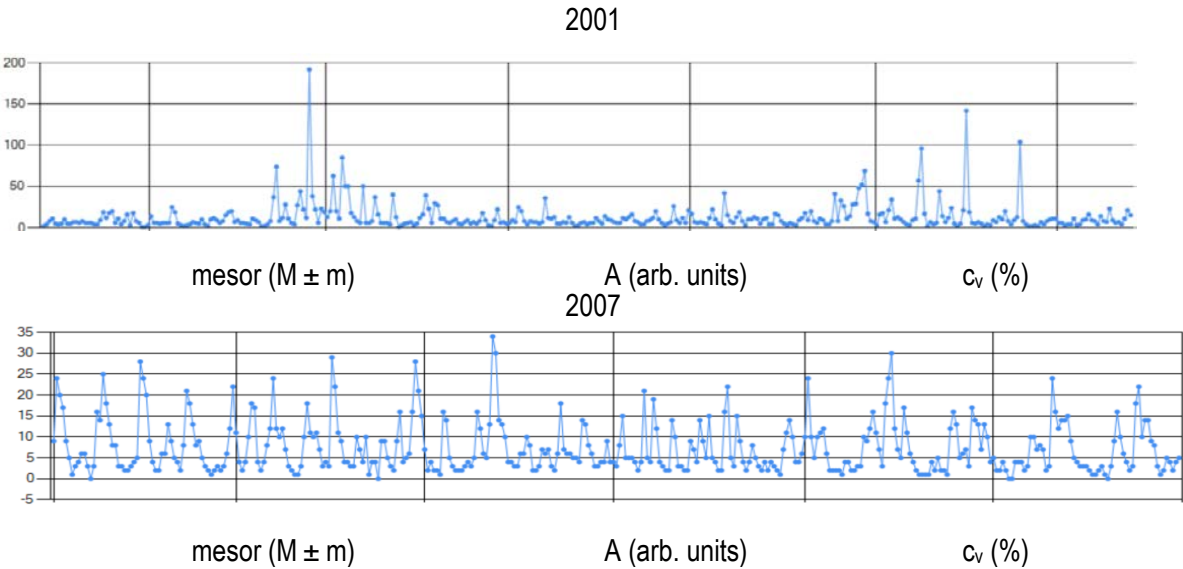


Рис. 1. Описательные статистики числа солнечных пятен (усл. ед.), 2001 и 2007 гг.: A — амплитуда; c_v — коэффициент вариации.

Fig. 1. Descriptive statistics of sunspot numbers (arb. units), 2001 and 2007: A , amplitude; c_v , coefficient of variation.

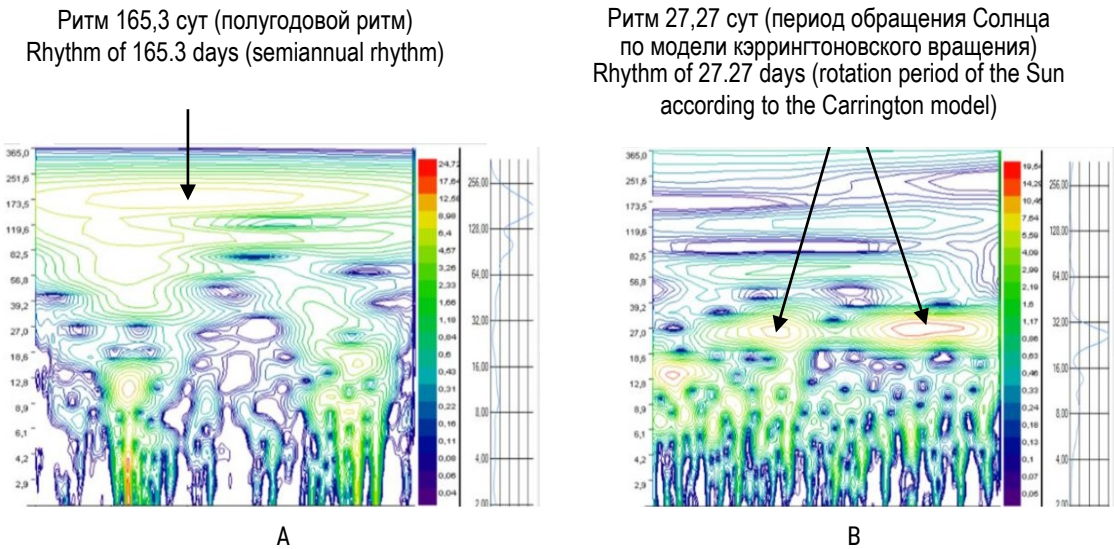


Рис. 2. Вейвлет-спектрограммы вариаций солнечной активности: А — 2001 г.; В — 2007 г.

Fig. 2. Wavelet spectrograms of solar activity variations: A, 2001; B, 2007

Таблица 2. Описательные статистики парциальной плотности кислорода в Ханты-Мансийске и Полокване в 2001 и 2007 гг.

Table 2. Descriptive statistics of partial oxygen density in Khanty-Mansiysk and Polokwane in 2001 and 2007

Показатели Indicator	Ханты-Мансийск Khanty-Mansiysk		Полокване Polokwane	
	2001	2007	2001	2007
Мезор, М±m Mesor, M±m	278,23±50,10	283,24±14,79	272,59±6,19	274,22±6,55
Амплитуда, усл. ед. Amplitude, arb. units	79964,45	80445,13	74341,42	75237,27
Коэффициент вариации, % Coefficient of variation, %	18,15*	5,22**	2,27	2,39

Примечание. * $p=0,022$; ** $p=0,058$.

Note: * $p = 0.022$; ** $p = 0.058$.

разницы не обнаружено. Однако выявляются значимые отличия коэффициента вариации ППК в субарктическом регионе в годы с различным уровнем солнечной активности (табл. 2, рис. 3). Обнаруживается также выраженная тенденция к различиям коэффициента вариации ППК между субарктическим и субтропическим регионами в год спокойного солнца. Сезонные колебания ППК в Ханты-Мансийске в 2001 г. выше и составляют от 148 г/м³ летом до 395 г/м³ зимой (2007 г. — 260 г/м³ летом и 330 г/м³ зимой). Вариативность состояния «гипероксия/гипоксия» выходит далеко за рамки медицинской классификации погоды.

В Полокване в 2001 г. зимне-летняя вариация ППК (см. табл. 2) изменяется от 262 г/м³ летом до 286 г/м³ зимой и практически не отличается от 2007 г. (260 г/м³ летом, 290 г/м³ зимой), хотя и попадает в разряд неблагоприятной кислородной погоды [17].

В год активного солнца (2001 г.) обнаруживаются полиритмии постоянных и вставочных ритмов ППК

как в субарктическом, так и в субтропическом регионах [18]. Полиритмичность ППК (2001 г.) в Ханты-Мансийске равна 5, в Полокване — 4 (табл. 3).

В Ханты-Мансийске (субарктический регион) в год активного солнца (2001 г.) выявляется 5 значимых ритмов ППК, в Полокване (субтропики) в этом же году — 4 значимых ритма (см. табл. 3). В год спокойного солнца (2007 г.) в обоих регионах обнаруживается по 3 значимых внутригодовых ритма ППК.

ОБСУЖДЕНИЕ

Спокойное солнце характеризуется постоянством во времени электромагнитного излучения во всём его спектральном диапазоне и так называемого солнечного ветра — слабого потока электронов, протонов, ядер гелия, представляющего собой радиальное истечение плазмы солнечной короны в межпланетное пространство. Периодически, приблизительно каждые

Таблица 3. Структура околোগодовых ритмов парциальной плотности кислорода в Ханты-Мансийске и Полокване в 2001 и 2007 гг.

Table 3. Structure of circannual rhythms of partial oxygen density in Khanty-Mansiysk and Polokwane in 2001 and 2007

Город City	Год Year	Период, сут Period, days	Амплитуда, усл. ед. Amplitude, arb. units	ρ	
Ханты-Мансийск Khanty-Mansiysk	2001	325,9	35,51	0,001	
		147,6	3,899	0,001	
		83,8	1,604	0,001	
		105,1	1,477	0,005	
		27,0	1,059	0,003	
	2007	291,1	35,52	0,001	
		93,8	4,395	0,001	
		147,6	3,081	0,002	
	Полокване Polokwane	2001	291,1	45,67	0,001
			83,8	1,088	0,010
59,7			1,024	0,012	
131,8			0,998	0,015	
2007		291,1	44,30	0,001	
		83,8	2,068	0,002	
		24,1	0,692	0,042	

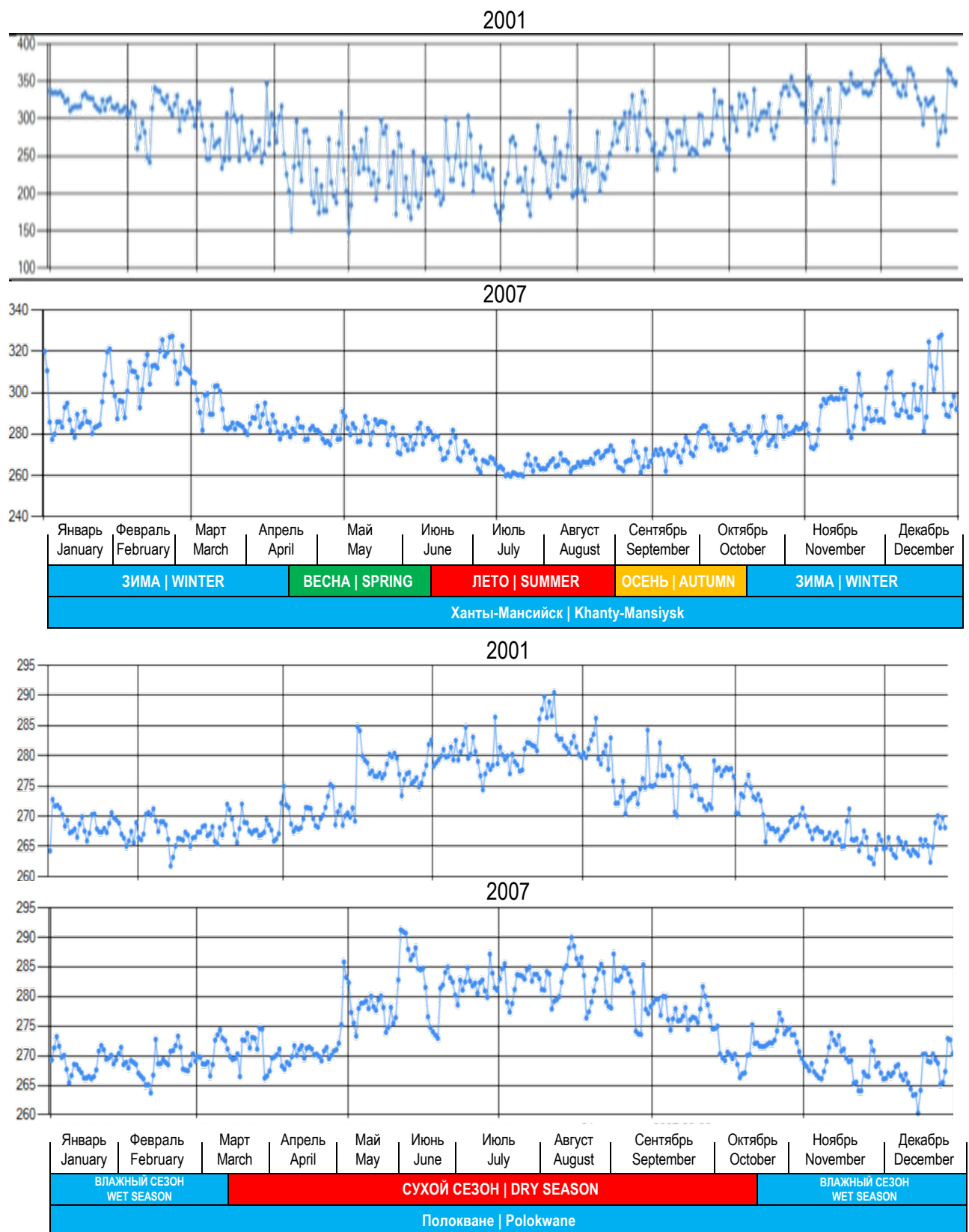


Рис. 3. Окологодовая динамика парциальной плотности кислорода в Ханты-Мансийске и Полокване в годы активного (2001 г.) и спокойного (2007 г.) солнца.

Fig. 3. Circannual changes of partial oxygen density in Khanty-Mansiysk and Polokwane during years of high (2001) and low (2007) solar activity.

11 лет, происходит увеличение солнечной активности (возникают солнечные пятна, хромосферные вспышки, протуберанцы в короне Солнца). В это время усиливается волновое солнечное излучение на разных частотах, из солнечной атмосферы выбрасываются в межпланетное пространство потоки электронов, протонов, ядер гелия, энергия и скорость которых намного больше, чем у частиц солнечного ветра. Этот поток частиц распространяется в межпланетном пространстве и через определённое время (12–24 ч) достигает орбиты Земли. [19]. Магнитное поле Земли служит защитой от солнечного ветра, но часть заряженных частиц способна проникать внутрь магнитосферы Земли. Это происходит в основном в высоких широтах, где имеются две так называемые воронки (каспы), одна в северном, другая в южном полушарии [20], для которых характерны особенности, обусловленные сезоном года (зимне-летние) и уровнем солнечной активности.

Реакции на гелиогеофизические факторы у человека варьируют от простых к системным, отягощаются антропогенными факторами риска и оказывают биоритмотропное десинхронизирующее влияние на функциональные системы организма [21].

Некоторые авторы выдвигают гипотезу о чувствительности биологических объектов к слабым электромагнитным полям искусственного и природного происхождения, влиянии магнитных пульсаций, частота колебаний которых лежит в диапазоне низкочастотных биологических ритмов [22]. Обнаружена термосферная реакция, обусловленная магнитными бурями, которая проявляется в виде уменьшения отношения концентраций атомарного кислорода и молекулярного азота в высокоширотных областях более чем в десять раз, в сравнении со спокойным уровнем магнитного поля. При этом в северном полушарии выраженность термосферной реакции в 1,5 раза больше, чем в южном [23].

В нашем исследовании получены данные о гелиометеотропном влиянии уровня солнечной активности на кислородный статус. Оно проявляется патологическим десинхронизмом окологодовой вариативности ППК с гипероксическим акцентом в субарктическом регионе и гипоксическим — в субтропиках.

Исходя из этого, необходимо осуществлять мониторинг ППК во вдыхаемом воздухе для оценки гипоксии/гипероксии и включать её показатели в прогноз погоды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В субарктическом регионе наблюдаются высокие значения ППК в год спокойного солнца и очень высокие в год с высокой солнечной активностью. На Севере окологодовая вариативность состояния «гипероксия/гипоксия» выходит далеко за рамки благоприятного типа погоды. В субтропическом климате фиксируется гипоксический вариант колебаний ППК вне зависимости

от уровня солнечной активности. Показатель полиритмии как критерий десинхронизации ритмов ППК в приземном слое воздуха можно использовать для диагностики гелиометеотропных реакций при флюктуациях солнечной активности. Для прогнозирования возникновения неотложных состояний необходим мониторинг ППК.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. О.Н. Рагозин — существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, редактирование и окончательное утверждение рукописи; Л. Мутэло — анализ данных; Е.Ю. Шаламова — подготовка первого варианта статьи; А.Б. Гудков — редактирование и окончательное утверждение рукописи; И.В. Радыш — редактирование первого варианта статьи; Э.Р. Рагозина — набор первичного материала; И.А. Погонишева — анализ данных. 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).

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом БУ «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия» (заключение № 214 от 15.10.2024).

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: O.N. Ragozin: conceptualization, study design, writing—review & editing; L. Muthelo: formal analysis; E.Yu. Shalamova: writing—original draft; A.B. Gudkov, I.V. Radysh: writing—review & editing; E.R. Ragozina: investigation; I.A. Pogonysheva: formal analysis. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The study was approved by the Local Ethics Committee of the Budgetary Institution Khanty-Mansiysk State Medical Academy (Approval No. 214, dated October 15, 2024).

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer-review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process

involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Otradnova MI, Rogacheva SM, Zhutov AS, Kozlitin AM. Influence of solar activity on the human's cardiac rhythm under stress. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2019;26(7):4–10. doi: 10.33396/1728-0869-2019-7-4-10 EDN: XZTGYO
- Dzyuban VV. Historical background in the development of natural and climatic factors in the organization of treatment and recreation in Russia. *Bulletin Social-Economic and Humanitarian Research*. 2021;(10):40–49. doi: 10.5281/zenodo.4560114 EDN: QJNFGU
- Noskov SN, Borisova DS, Yeremin GB, et al. The impact of space weather on human health. Analytical review. *Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine*. 2024;19(1):54–74. doi: 10.21638/spbu11.2024.105 EDN: VEFPKL
- Bobrovnikitskiy IP, Yakovlev MYu, Fesyun OA, Evseev SM. Main aspects of the influence of meteorological and heliogeophysical factors on the human body. *Russian Journal of Rehabilitation Medicine*. 2021;(2):40–46. EDN: OKPRST
- Mikhaylis AA, Mikulyak NI, Vershinina OD. Influence of solar flare activity and geomagnetic storms on the manifestation cyclicity of cerebral and coronary vascular catastrophes. *University proceedings. Volga region. Medical sciences*. 2019;(2):152–163. doi: 10.21685/2072-3032-2019-2-14 EDN: AEWKDS
- Tyultyayeva LA, Denisova TP, Lipatova TE, Shulpina NYu. Heliogeomagnetic parameters and pathology of digestive organs in patients of different ages. *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 2020;16(1):181–185. EDN: WYKLT
- Karpin VA, Gudkov AB, Usinin 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
- Ginzburg AS, Vinogradova AA, Fedorova EI, et al. Oxygen in the atmosphere of large cities and people breath problems. *Geophysical Processes and Biosphere*. 2014;13(2):5–19. EDN: SCKXXN
- Grigoriev II, Paramonov IG, Ten MM. *A quick guide to making medical weather forecasts*. Moscow: Gidrometeoizdat; 1974. 12 p. (In Russ.) URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007418025
- Petrov VN. Features of the influence of the partial gradient of oxygen density in the atmospheric air on the health of the population living in the Arctic zone of the Russian Federation. *Herald of the Kola Science Center of the RAS*. 2015;(3):82–92. EDN: VBAYNZ
- Aghajanyan NA, Chizhov AY. *Hypoxic, hypocapnic, hypercapnic conditions*. Moscow: Medicine; 2003. 93 p. (In Russ.) EDN: QLEQNZ
- Zhuravlev AI. *Quantum biophysics of animals and humans*. Moscow: BINOM; 2011. 398 p. (In Russ.) EDN: QKTOKZ
- Berezovsky VA, Yanko RV, Chaka EG, Litovka IG. The influence of intermittent hypoxia and hyperoxia on the respiratory part of the lungs. *Pulmonologiya*. 2013;(2):57–60. doi: 10.18093/0869-0189-2013-0-2-57-60 EDN: QIKWYJ
- Dolgikh VT, Govorova NV, Orlov YuP, et al. Pathophysiological aspects of hyperoxia in anesthesiologist-reanimatologist's practice. *General Reanimatology*. 2017;13(3):83–93. doi: 10.15360/1813-9779-2017-3-83-93 EDN: YVYPHX
- Orlov YuP, Govorova NV, Lukach VN, et al. Hyperoxia in the ICU and what has changed after 100 years in the tactics of using oxygen in medicine: areview. *Annals of Critical Care*. 2022;(2):80–94. (In Russ.) doi: 10.21320/1818-474X-2022-2-80-94 EDN: CRDEJI
- Ovcharova VF, Butyeva IV, Shveinova TG, Aleshina TP. Specialized weather forecast for medical purposes and prevention of meteoropathic reactions. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 1974;(2):109–119. (In Russ.)
- Nikberg II, Revutsky EL, Sakali LI. Human heliometeotropic reactions. Kiev: Zdorov'e; 1986. 144 p. (In Russ.) URL: https://rusneb.ru/catalog/010003_000061_db70c1d25937e2a5877fbc87235da9d0
- Ragozin ON, Tatarinzev PB, Pogonysheva IA, et al. Corrections for geographical differences in photoperiod in time-series analysis. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(2):139–149. doi: 10.17816/humeco117532 EDN: VVYOJA
- Vladimirsky BM, Temuryants NA, Martynyuk VS. *Space weather and our life*. Moscow: DMK Press; 2022. 220 p. (In Russ.) ISBN: 5-85099-146-8
- Belisheva NK, Martynova AA, Pryanichnikov SV, et al. Linkage of parameters of the interplanetary magnetic field and the solar wind in the polar cusp with the psychophysiological state of the residents of Spitzbergen archipelago. *Herald of the Kola Science Center of the RAS*. 2018;10(4):5–24. doi: 10.25702/KSC.2307-5228.2018.10.4.5-24 EDN: YYSRUD
- Vishnevskii VV, Rogacheva SM. *Biotropic impact of space weather (based on the materials of the Russian-Ukrainian monitoring "Geliomed" 2003-2010)*. St. Petersburg: VVM; 2010. 312 p. (In Russ.) ISBN: 978-5-9651-0548-9
- Vladimirsky BM, Narmansky VYa, Temuryants NA. *Cosmic rhythms in the magnetosphere, atmosphere, habitat, bio-, noospheres, in the earth's crust*. Simferopol; 1994. 176 p. (In Russ.) EDN: XVSYPD
- Martynyuk VS, Temuryants NA. The experimental verification of electromagnetic hypothesis of solarbiosphere connections. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*. 2007;20(1):8–27.

ОБ АВТОРАХ

***Погонышева Ирина Александровна**, канд. биол. наук, доцент;
адрес: Россия, 628611, Нижневартовск,
ул. Дзержинского, д. 11, каб. 301;
ORCID: 0000-0002-5759-0270;
eLibrary SPIN: 6095-8392;
e-mail: severina.i@bk.ru

Рагозин Олег Николаевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-5318-9623;
eLibrary SPIN: 7132-3844;
e-mail: oragozin@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Irina A. Pogonysheva**, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;
address: 11 Dzerzhinsky st, ofc 301, Nizhnevartovsk, Russia,
628611;
ORCID: 0000-0002-5759-0270;
eLibrary SPIN: 6095-8392;
e-mail: severina.i@bk.ru

Oleg N. Ragozin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-5318-9623;
eLibrary SPIN: 7132-3844;
e-mail: oragozin@mail.ru

Muthelo Livhuwani, PhD;
Researcher ID: AHC-1001-2022;
e-mail: livhuwani.muthelo@ul.ac.za

Шаламова Елена Юрьевна, д-р биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0001-5201-4496;
eLibrary SPIN: 8125-9359;
e-mail: selenzik@mail.ru

Гудков Андрей Борисович, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-5923-0941;
eLibrary SPIN: 4369-3372;
e-mail: gudkovab@nsmu.ru

Радыш Иван Васильевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-0939-6411;
eLibrary SPIN: 4780-5985;
e-mail: iradysh@mail.ru

Рагозина Элина Разифовна;
ORCID: 0000-0003-0199-2948;
eLibrary SPIN: 7335-7635;
e-mail: elinka1000@yandex.ru

Livhuwani Muthelo, PhD;
Researcher ID: AHC-1001-2022;
e-mail: livhuwani.muthelo@ul.ac.za

Elena Yu. Shalamova, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-5201-4496;
eLibrary SPIN: 8125-9359;
e-mail: selenzik@mail.ru

Andrei B. Gudkov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0001-5923-0941;
eLibrary SPIN: 4369-3372;
e-mail: gudkovab@nsmu.ru

Ivan V. Radysh, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0003-0939-6411;
eLibrary SPIN: 4780-5985;
e-mail: iradysh@mail.ru

Elina R. Ragozina;
ORCID: 0000-0003-0199-2948;
eLibrary SPIN: 7335-7635;
e-mail: elinka1000@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Оценка психофункциональных возможностей центральной нервной системы детей-бурят при избыточном использовании смартфонов

И.В. Мыльникова¹, О.Г. Богданова¹, Е.З. Урбанова², Н.В. Ефимова¹

¹ Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований, Ангарск, Россия;

² Центр общественного здоровья и медицинской профилактики Республики Бурятия им. В.П. Бояновой, Улан-Удэ, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Одним из компонентов окружающей среды современных детей являются мобильные устройства. При этом цифровой контент развивается быстрее, чем исследования влияния гаджетов на здоровье детей.

Цель. Оценка изменения психофизиологических реакций центральной нервной системы детей-бурят в связи увеличением использования мобильных электронных устройств.

Материалы и методы. Проведено двухэтапное обследование 262 школьников бурятского этноса (1-я группа — 149 детей, обследованных в 2016 г., 2-я группа — 113 детей, обследованных в 2024 г.). Психофизиологические возможности центральной нервной системы изучали с применением простой зрительно-моторной реакции и теппинг-теста.

Результаты. Исследование вегетативного статуса обследованных детей свидетельствует о формировании нарушений сна у детей 2-й группы в $44,2 \pm 4,7\%$ случаев, приступообразных головных болей — в $39,8 \pm 4,6\%$, повышенной утомляемости — в $33,6 \pm 4,4\%$. Перечисленные вегетативные симптомы сопровождалось снижением функциональных возможностей центральной нервной системы. Во 2-й группе выявлено меньше детей, чем в 1-й группе, с высокой скоростью синтеза и анализа поступающей информации (<189 мс), высокой стабильностью сенсомоторного реагирования (<33 мс), большей точностью зрительно-моторных реакций и, соответственно, меньшим количеством преждевременных реакций, высоким уровнем функциональных возможностей центральной нервной системы (от 3,8 усл. ед.). Вместе с тем в 1-й группе реже, чем во 2-й, встречается вариант среднеслабой нервной системы, характеризующейся низкой подвижностью нервных процессов, предрасположенностью к быстрому развитию утомления, инертностью формирования условно-рефлекторных реакций, сопровождающейся увеличением числа ошибочных реакций. Перечисленные психофизиологические характеристики центральной нервной системы объективно отражают отрицательное влияние современных мобильных устройств на здоровье детей сельских территорий.

Заключение. В целях снижения риска для здоровья детей, обусловленного цифровой средой, необходимо формировать у детей навыки безопасного использования мобильных цифровых устройств.

Ключевые слова: дети; буряты; сельская местность; психофункциональные возможности; центральная нервная система; смартфоны; цифровые устройства; Восточная Сибирь.

Как цитировать:

Мыльникова И.В., Богданова О.Г., Урбанова Е.З., Ефимова Н.В. Оценка психофункциональных возможностей центральной нервной системы детей-бурят при избыточном использовании смартфонов // Экология человека. 2025. Т. 32, № 1. С. 42–51. DOI: 10.17816/humeco677125 EDN: UGYBZR

Assessment of Psychophysiological Functions of the Central Nervous System in Buryat Children with Excessive Smartphone Use

Inna V. Mylnikova¹, Olga G. Bogdanova¹, Ekaterina Z. Urbanova², Natalya V. Efimova¹

¹ East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, Russia;

² Center for Public Health and Medical Prevention of the Republic of Buryatia named after V.R. Boyanova, Ulan-Ude, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Mobile devices have become an integral part of the environment of modern children. However, digital content is evolving more rapidly than scientific research on its impact on children's health.

AIM: To assess changes in the psychophysiological responses of the central nervous system in Buryat children associated with increased use of mobile electronic devices.

METHODS: A two-stage examination was conducted in 262 schoolchildren of Buryat ethnicity (Group 1: 149 children examined in 2016; Group 2: 113 children examined in 2024). Psychophysiological functions of the central nervous system were assessed using the simple visual-motor reaction test and the tapping test.

RESULTS: The evaluation of the autonomic status of the examined children indicated the development of sleep disturbances in $44.2 \pm 4.7\%$ of children in Group 2, paroxysmal headaches in $39.8 \pm 4.6\%$, and increased fatigue in $33.6 \pm 4.4\%$ of cases. The above autonomic symptoms were accompanied by a decline in the functional capacities of the central nervous system. In Group 2, compared to Group 1, fewer children exhibited high speed of information synthesis and analysis (<189 ms), high stability of sensorimotor responses (<33 ms), greater visual-motor reaction accuracy and, accordingly, fewer premature responses, as well as a high level of central nervous system functional capacity (starting from 3.8 arbitrary units). At the same time, the moderately weak type of nervous system—characterized by low mobility of nervous processes, a tendency toward rapid fatigue, inertia in the formation of conditioned reflexes, and an increased number of erroneous responses—was less common in Group 1 than in Group 2. The listed psychophysiological characteristics of the central nervous system objectively reflect the adverse impact of modern mobile devices on the health of children living in rural areas.

CONCLUSION: To reduce the health risks posed to children by the digital environment, it is essential to develop their skills for the safe use of mobile digital devices.

Keywords: children; Buryats; rural areas; psychophysiological functions; central nervous system; smartphones; digital devices; Eastern Siberia.

To cite this article:

Mylnikova IV, Bogdanova OG, Urbanova EZ, Efimova NV. Assessment of psychophysiological functions of the central nervous system in buryat children with excessive smartphone use. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(1):42–51. DOI: 10.17816/humeco677125 EDN: UGYBZR

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco677125>

EDN: UGYBZR

布里亚特族儿童因过度使用智能手机导致的中枢神经系统心理功能状态评估

Inna V. Mylnikova¹, Olga G. Bogdanova¹, Ekaterina Z. Urbanova², Natalya V. Efimova¹¹ East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, Russia;² Center for Public Health and Medical Prevention of the Republic of Buryatia named after V.R. Boyanova, Ulan-Ude, Russia

摘要

论证。移动电子设备已成为当代儿童生活环境的组成部分之一。然而，数字内容的发展速度快于其对儿童健康影响的研究进程。

目的。评估随着移动电子设备使用频率的增加，布里亚特族儿童中枢神经系统心理生理反应的变化。

材料与方法。对262名布里亚特族学龄儿童进行了两阶段调查（第1组为2016年接受调查的149名儿童，第2组为2024年接受调查的113名儿童）。采用简单视动反应测试和敲击测试评估中枢神经系统的心理生理功能状态。

结果。对受检儿童植物神经状态的评估显示，第2组儿童中， $44.2 \pm 4.7\%$ 的个体出现睡眠障碍， $39.8 \pm 4.6\%$ 出现阵发性头痛， $33.6 \pm 4.4\%$ 表现为疲劳感增强。上述植物神经症状伴随着中枢神经系统功能能力的减退。第2组中，具备高水平信息整合与处理速度（ <189 ms）、高稳定性感觉运动反应（ <33 ms）、更高视动反应准确性及更少提前反应次数，以及中枢神经系统功能能力较高（ ≥ 3.8 分）的儿童比例低于第1组。同时，第1组中神经系统中等偏弱类型的发生频率低于第2组，其特征为神经过程灵活性低、易于快速疲劳、条件反射形成迟缓，并伴有错误反应数量的增加。上述中枢神经系统心理生理特征客观反映出现代移动设备对农村地区儿童健康的负面影响。

结论。为降低数字环境对儿童健康带来的风险，应在儿童中形成安全使用移动数字设备的行为习惯。

关键词：儿童；布里亚特族；农村地区；心理功能状态；中枢神经系统；智能手机；数字设备；东部西伯利亚。

引用本文：

Mylnikova IV, Bogdanova OG, Urbanova EZ, Efimova NV. 布里亚特族儿童因过度使用智能手机导致的中枢神经系统心理功能状态评估. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(1):42–51. DOI: 10.17816/humeco677125 EDN: UGYBZR

收到: 14.03.2025

接受: 10.04.2025

发布日期: 03.06.2025

ОБОСНОВАНИЕ

В последнее десятилетие стала особенно актуальна проблема избыточной цифровой нагрузки на растущий организм детей, которая отражена в многочисленных работах отечественных и иностранных исследователей [1–5]. По данным современных исследований, практически у 68,3% детей наблюдается психологическое погружение в виртуальную среду компьютерных игр [6].

Именно поэтому одной из современных проблем охраны здоровья детей и подростков является увеличение частоты заболеваний, связанных с использованием смартфонов и других цифровых устройств [7, 8]. Цифровое напряжение зрительного аппарата при несоблюдении гигиенических правил использования смартфонов приводит к формированию компьютерного зрительного синдрома (сухость, жжение, покраснение, расплывчатость изображения и др.) [9]. Также тяжёлым последствием нерегламентированной эксплуатации смартфонов является трудность с засыпанием [10, 11]. Доказанным является и деструктивное воздействие мобильных телефонов (2G–4G-смартфонов) на высшие отделы центральной нервной системы (ЦНС) — структуры головного мозга [12].

Тем не менее данные о положительных и отрицательных последствиях использования экранных медиа на когнитивное развитие детей и подростков достаточно противоречивы. Так, использование цифровых устройств в обучающих программах позволяет улучшить у детей навыки чтения и развить способности к творческому мышлению [13]. У подростков одновременное выполнение нескольких задач в информационном пространстве отрицательно отражается на рабочей памяти, процессах торможения, способности переключаться между задачами [14].

Исследования состояния здоровья, включая психофункциональные возможности ЦНС, детей различных этнических групп малочисленны [15–18]. В последние годы обеспеченность детей различными гаджетами претерпела значительные изменения, поэтому важно оценить возможные риски для здоровья именно сельских подростков, в том числе представителей коренного населения Восточной Сибири.

Цель исследования. Оценка изменения психофизиологических реакций ЦНС детей-бурят в связи увеличением использования мобильных электронных устройств.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Двухэтапное исследование проведено на сельских территориях Восточной Сибири.

Критерии соответствия

Рождение и постоянное проживание на территории исследования, отсутствие декомпенсированных хронических и врождённых заболеваний, умеренный и средний уровень физической активности (посещение занятий физической

культуры в рамках школьной программы и спортивных секций, в целом не более 8 ч в неделю, умеренная помощь по дому), использование электронных устройств, информированное согласие родителей/опекунов.

Условия проведения

Обследование детей проводили в первой половине дня в помещениях медицинского блока школ, температура воздуха составляла 20–22 °С. В день обследования школьники учебные занятия не посещали.

Продолжительность исследования

Первый этап исследования проведён в 2016 г., второй этап — в 2024 г.

Описание медицинского вмешательства

Предварительно проведено анкетирование родителей по специально разработанной анкете для выявления детей, активно использующих электронные устройства. В 2016 г. обеспеченность обследованных детей смартфонами составляла 30%, в 2024 г. — 100%.

Психофизиологические возможности ЦНС изучали с помощью аппаратно-программного комплекса компании «НС-ПсихоТест» (ООО «Нейрософт», Россия). Для оценки сенсомоторного реагирования использовали показатели простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР): среднее время реакции (мс); минимальное время реакции (мс); медиана времени реакции (мс); коэффициент точности Уиппла (усл. ед.); число ошибок опережения (усл. ед.); стандартное квадратичное отклонение времени реакции (мс). Функциональное состояние ЦНС оценивали по критериям Т.Д. Лоскутовой: функциональный уровень системы (ФУС, усл. ед.); устойчивость реакции (УР, усл. ед.) и уровень функциональных возможностей (УФВ, усл. ед.). Тип нервной системы и работоспособность определяли с помощью теппинг-теста по следующим показателям: скорость начального темпа (Гц); средняя частота (Гц); минимальная и максимальная частота нажатий (Гц). Результаты ПЗМР и теппинг-теста интерпретировали в соответствии с рекомендациями по проведению психофизиологических исследований [19].

Для выявления неблагоприятного влияния избыточной цифровой нагрузки (нарушений гигиенических правил использования смартфонов) проведено тестирование школьников с использованием опросника А.М. Вейна (1998).

Этическая экспертиза

Исследования проведены с одобрения биоэтического комитета ФГБНУ ВСИМЭИ (приказ № 4 от 14.11.2012, приказ № 2 от 11.06.2024) в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта», принятой на 18-й Генеральной ассамблее ВМА (Хельсинки, Финляндия, июнь 1964 г.), в редакции изменений,

внесённых на 75-й Генеральной ассамблее ВМА (Хельсинки, Финляндия, октябрь 2024 г.).

Статистический анализ

Принципы расчёта размера выборки. Размер выборки предварительно не рассчитывался.

Методы статистического анализа данных. Полученные результаты обрабатывали с применением программы Statistica (StatSoft Inc., версия 10.1). С помощью тестов Колмогорова–Смирнова установлено, что данные имеют распределение, отличное от нормального, психофизиологические характеристики ЦНС представили непараметрическими показателями: медиана (Me) и квартили распределения признаков (P_{25} – P_{75}). Частоту изучаемых явлений (тип ЦНС) рассчитали на 100 обследованных, ошибка показателя $P \pm r$. Различия между показателями ПЗМР и теппинг-теста в группах оценивали при помощи теста Манна–Уитни (приведены показатели z -score), между показателями частоты — по критерию χ^2 (критерию Чупрова — K^*), статистически значимыми отличия считали при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В обследовании приняли участие 262 школьника бурятского этноса: 1-ю группу составили 149 детей (75 мальчиков и 74 девочки; средний возраст $13,0 \pm 0,2$ года), обследованных в 2016 г.; 2-ю группу — 113 детей (56 мальчиков и 57 девочек; средний возраст $14,0 \pm 0,2$ года), обследованных в 2024 г.

Предварительная оценка собранных данных не выявила гендерных различий, поэтому в работе дети объединены с учётом года обследования.

Проанализированы показатели среднего времени

ПЗМР (табл. 1). Отмечено, что групповые показатели занимают диапазон возрастной нормы и оцениваются как средняя скорость ПЗМР [19], независимо от периода обследования, что указывает на уравниженность процессов торможения и возбуждения. Оценка индивидуальных значений скорости сенсомоторного реагирования показала, что дети с высокой скоростью реакции (менее 189 мс) встречаются в 2 раза чаще в 1-й группе ($23,5 \pm 3,5\%$), чем во 2-й ($11,5 \pm 3\%$): $\chi^2=7,49$; $p=0,024$; $K^*=0,318$. Тогда как удельный вес детей с низкой скоростью сенсомоторного реагирования — более 277 мс (с замедлением процессов анализа информации и принятия решения) имеет близкие значения в 1-й и 2-й группах — $16,1 \pm 3,0\%$ и $13,3 \pm 3,2\%$ соответственно.

Значения стандартного квадратичного отклонения времени реакции у обследованных детей, независимо от территории проживания, занимали нижний диапазон возрастной нормы — 30–49 мс [19], что свидетельствует о стабильности сенсомоторного реагирования и, соответственно, уравниженности нервных процессов. Высокий уровень изучаемого показателя (менее 33 мс), свидетельствующий о высоком уровне стабильности сенсомоторного реагирования, встречался у детей 1-й группы ($26,2 \pm 3,6\%$) в 3,3 раза чаще, чем у детей 2-й группы ($7,9 \pm 2,5\%$; $p=0,000$): $\chi^2=14,24$; $p < 0,001$; $K^*=0,233$.

Анализ индивидуальных сенсомоторных реакций детей позволил определить минимальные значения анализируемого показателя, отражающие потенциал функциональных возможностей ЦНС. Установлено, что дети с минимальными значениями скорости сенсомоторной реакции в ходе выполнения теста (122–179 мс) в 1,9 раза чаще встречаются в 1-й группе ($51,0 \pm 4,1\%$), чем во 2-й ($25,7 \pm 4,1\%$): $\chi^2=4,43$; $p=0,036$; $K^*=0,176$.

О низком уровне внимания и уравниженности

Таблица 1. Показатели простой зрительно-моторной реакции у обследованных детей, Me (P_{25} – P_{75})

Table 1. Indicators of simple visual-motor reaction in the examined children, Me (P_{25} – P_{75})

Показатели простой зрительно-моторной реакции Simple visual-motor reaction indicators	1-я группа Group 1	2-я группа Group 2	Статистическая значимость различий Statistical significance of differences
Среднее время реакции, мс Mean reaction time, ms	248 (224–277)	241 (225–258)	$z=0,72$; $p=0,232$
Минимальное время реакции, мс Minimum reaction time, ms	179 (159–198)	163 (145–184)	$z=4,15$; $p < 0,001$
Медиана времени реакции, мс Median reaction time, ms	244 (224–269)	239 (223–256)	$z=0,87$; $p=0,192$
Коэффициент точности Уиппла, усл. ед. Whipple's accuracy coefficient, arb. units	0,10 (0,06–0,15)	0,15 (0,05–0,21)	$z=-0,34$; $p=0,363$
Число ошибок опережения, усл. ед. Number of premature errors, arb. units	3,0 (2,0–5,0)	10,0 (3,2–17,0)	$z=-7,19$; $p < 0,001$
Стандартное квадратичное отклонение времени реакции, мс Standard deviation of reaction time, ms	40,5 (32,7–48,5)	43,0 (37,6–48,5)	$z=-0,89$; $p=0,186$
Функциональный уровень системы, усл. ед. Functional system level, arb. units	4,1 (3,6–4,5)	4,1 (3,8–4,4)	$z=0,39$; $p=0,348$
Устойчивость реакции, усл. ед. Reaction stability, arb. units	1,6 (1,1–2,1)	1,6 (1,1–1,8)	$z=0,18$; $p=0,428$
Уровень функциональных возможностей, усл. ед. Functional performance level, arb. units	3,1 (2,5–3,6)	3,1 (2,6–3,3)	$z=1,36$; $p=0,086$

нервных процессов при выполнении теста ПЗМР у обследованных детей свидетельствует коэффициент точности Уиппла. Ошибки опережения у детей 2-й группы отмечены в 3,3 раза чаще, чем детей 1-й группы. Более пяти ошибок опережения определено у 26,8±3,6% и 73,4±4,2% детей в 1-й и 2-й группах соответственно (χ^2 с поправкой Йейтса = 56; $p < 0,001$; $K^* = 0,462$).

Согласно величине ФУС текущее функциональное состояние ЦНС у большинства обследованных детей оценивается как низкое. При этом у детей обеих групп устойчивость реакции соответствует среднему уровню, уровень функциональных возможностей — низкому. Несмотря на низкий уровень показателей по критериям Т.Д. Лоскутовой, функциональное состояние ЦНС обследованных детей соответствует варианту нормы и имеет благоприятный прогноз [20]. Среднегрупповые значения показателей ФУС, УР, УФВ у детей 1-й и 2-й групп имеют близкие значения и соответствуют низкому уровню. Проведённая оценка индивидуальных значений критериев Т.Д. Лоскутовой показала, что в 1-й группе чаще, чем во 2-й, встречаются дети с высоким уровнем ФУС, УР и УФВ. Согласно значениям критерия ФУС средний уровень отмечен у 20,8±3,3% и 13,3±3,2% детей 1-й и 2-й групп соответственно, высокий уровень — у 6,7±2% и 3,5±1,7% детей 1-й и 2-й групп ($\chi^2 = 4,2$; $p = 0,121$; $K^* = 0,107$). Средний уровень УР отмечен у 29,5±3,7% и 50,4±4,7% детей 1-й и 2-й групп соответственно, высокий уровень — у 28,8±3,7% и 8,8±2,7% детей 1-й и 2-й групп ($\chi^2 = 20,02$; $p < 0,001$; $K^* = 0,36$). Средний уровень УФВ отмечен у 38,9±4,0% и 49,5±4,7% детей 1-й и 2-й групп соответственно, высокий уровень — у 14,1±2,9% и 5,3±2,1% детей 1-й и 2-й групп ($\chi^2 = 6,529$; $p = 0,012$; $K^* = 0,213$).

Оценка результатов теппинг-теста выявила различный уровень функционального состояния ЦНС в каждой обследованной группе детей. Вариант слабой нервной системы (нисходящий и вогнутый тип кривых) преобладал у детей 1-й группы — 55,7±4,1% (табл. 2). У детей 2-й группы средний и слабый вариант силы нервной системы имел близкие значения — 36,3±4,5% и 38,9±4,6% соответственно. Установлено, что в 1-й группе вариант среднеслабой

нервной системы (промежуточный тип кривой) встречался в 2 раза реже, чем у детей 2-й группы. Сильный тип нервной системы одинаково распространён среди детей 1-й и 2-й групп — 26,2±3,6% и 24,8±4,1%. При этом лица с выпуклым типом кривой выявлены только среди детей 1-й группы.

Средняя частота теппинга (4–7 Гц) у большинства обследованных детей свидетельствует об инертности нервных процессов (табл. 3). Оценка индивидуальных значений скорости теппинг-теста выявила варианты ярко выраженной инертности нервных процессов в 1-й группе — у 10,1±2,5%, во 2-й — у 15±3,3%. Удельный вес лиц с подвижностью нервных процессов в 1-й группе (10,7±2,5%) в 2,4 раза больше, чем во 2-й (4,4±1,9%): $\chi^2 = 4,48$; $p = 0,035$; $K^* = 0,291$.

По результатам предварительного опроса школьников о характеристиках образа жизни, связанных с использованием мобильных телефонов, установлено следующее: ежедневная продолжительность использования смартфона составила до 1 ч — у 35,6±3,9% и 12,4±3,1% детей 1-й и 2-й групп соответственно; 1–3 ч — у 43,6±4,1% и 43,4±4,7% детей 1-й и 2-й групп соответственно; более 3 ч — у 20,8±3,3% и 44,2±4,7% детей 1-й и 2-й групп соответственно ($\chi^2 = 24,91$; $p < 0,001$; $K^* = 0,41$). Не размещали телефон на расстоянии от тела (на столе, подставке) и держали гаджет в руках практически все обследованные дети. Использование смартфона прекращали за 1 ч до сна у 33,5±3,9% и 13,2±3,2% детей 1-й и 2-й групп соответственно, только перед сном — у 13,4±2,8% и 30,9±4,3% детей 1-й и 2-й групп ($\chi^2 = 20,16$; $p < 0,001$; $K^* = 0,41$). Во 2-й группе выявлены дети, использующие смартфон для засыпания (8,8±2,7%).

Анкетирование по опроснику А.М. Вейна выявило у детей 1-й и 2-й групп приступообразные головные боли — в 14,8±2,9% и 39,8±4,6% соответственно ($\chi^2 = 25,86$; $p < 0,001$; $K^* = 0,443$). У детей 1-й группы в 2 раза реже, чем во 2-й, отмечено снижение работоспособности, быстрая утомляемость — в 16,8±3,1% и 33,6±4,4% ($\chi^2 = 18,28$; $p < 0,001$; $K^* = 0,378$). У детей 1-й группы реже встречались нарушения сна: трудности с засыпанием — в 12,1±2,7%

Таблица 2. Распределение обследованных детей с учётом типа кривых работоспособности ($P \pm p$)

Table 2. Distribution of examined children by type of performance curve ($P \pm p$)

Тип кривой среднего темпа движения рук (тип силы нервной системы) Type of hand movement average speed curve (type of nervous system strength)	1-я группа Group 1	2-я группа Group 2	Статистическая значимость различий Statistical significance of differences
Выпуклый (сильный) Convex (strong)	10,9±2,6	1,4±1,4 [#]	$\chi^2 = 13,85$ $p < 0,001$ $K^* = 0,195$
Ровный (сильный) Flat (strong)	15,3±2,9	24,8±4,1	
Промежуточный (среднеслабый) Intermediate (moderately weak)	18,1±3,2	36,3±4,5	
Нисходящий (слабый) Descending (weak)	42,7±4,1	33,9±4,5	
Вогнутый (слабый) Concave (weak)	13,0±2,8	5,0±2,0	

Примечание. [#]Ожидаемый уровень показателя (f') [21]; K^* — коэффициент взаимной сопряжённости Чупрова.

Note: [#]Expected value (f') [21]; K^* , Tschuprow's coefficient of contingency.

Таблица 3. Результаты теппинг-теста обследованных детей, Me (P_{25} – P_{75})

Table 3. Tapping test results in examined children, Me (P_{25} – P_{75})

Показатели Indicator	1-я группа Group 1	2-я группа Group 2	Статистическая значимость различий Statistical significance of differences
Скорость начального темпа, Гц Initial rate, Hz	6,5 (4,9–7,2)	7 (6,2–8,0)	$z=0,95$; $p=0,171$
Средняя частота, Гц Average rate, Hz	5,63 (4,98–6,28)	5,61 (4,95–6,28)	$z=0,15$; $p=0,44$
Минимальная частота нажатий, Гц Minimum tapping rate, Hz	4,2 (1,7–5,2)	4,4 (2,0–5,0)	$z=-0,11$; $p=0,456$
Максимальная частота нажатий, Гц Maximum tapping rate, Hz	7,6 (6,8–8,4)	7,4 (6,4–8,5)	$z=-1,25$; $p=0,1$

и $44,2\pm4,7\%$ ($\chi^2=24,89$; $p<0,001$; $K^*=0,432$), чувство не-выспанности, усталости при пробуждении утром — в $3,3\pm1,5\%$ и $10,6\pm2,9\%$ ($\chi^2=13,77$; $p<0,001$; $K^*=0,41$).

Положительным моментом является активная здо-ровьесберегающая деятельность общеобразовательных учреждений: $57,5\pm4,6\%$ детей 2-й группы владеют инфор-мацией о необходимости выполнять физические упраж-нения для профилактики отклонений здоровья при ис-пользовании мобильного телефона.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Исследование вегетативного статуса обследованных детей свидетельствует о формировании нарушений сна у детей 2-й группы в $44,2\pm4,7\%$ случаев, приступообраз-ных головных болей — в $39,8\pm4,6\%$, повышенной утом-ляемости — в $33,6\pm4,4\%$. Перечисленные вегетативные симптомы сопровождалась снижением функциональных возможностей ЦНС. Во 2-й группе выявлено меньше де-тей, чем в 1-й, с высокой скоростью синтеза и анализа поступающей информации (<189 мс), высокой стабиль-ностью сенсомоторного реагирования (<33 мс), большей точностью зрительно-моторных реакций и, соответствен-но, меньшим количеством преждевременных реакций, высоким уровнем функциональных возможностей ЦНС (от 3,8 усл. ед.). Вместе с тем в 1-й группе реже, чем во 2-й, встречается вариант среднеслабой нервной систе-мы, характеризующийся низкой подвижностью нервных процессов, предрасположенностью к быстрому развитию утомления, инертностью формирования условно-рефлек-торных реакций, сопровождающихся увеличением числа ошибочных реакций. Перечисленные психофизиологи-ческие характеристики ЦНС объективно отражают отри-цательное влияние современных мобильных устройств на здоровье детей сельских территорий.

Обсуждение основного результата исследования

Важным моментом в профилактике и сохранении здо-ровья детей, увлечённых общением в социальных сетях, видеоиграми, просмотром различного контента, явля-ется соблюдение гигиенических правил использования

электронных устройств. Как отмечено в методических рекомендациях по безопасному для здоровья детей ис-пользованию мобильных устройств¹, нерегламентирован-ная эксплуатация девайсов сопровождается не только снижением качества зрения, но и развитием плечелок-тевого синдрома, нарушений осанки, цифрового аутизма, головных болей и др. Анкетирование детей 2-й группы по вопросам образа жизни выявило несоблюдение правил безопасного использования смартфонов. Исследование ве-гетативного статуса обследованных детей свидетельствует о формировании у детей 2-й группы нарушений сна, повы-шенной утомляемости, приступообразных головных болей. Полученные результаты согласуются с исследованиями П.В. Пчелиной и соавт. [22], свидетельствующими о разви-тии нарушений сна в условиях информационной перегруз-ки. По данным Cheung и соавт. [23], с каждым часом ис-пользования экранных устройств теряется около 16 мин сна в день. Доказательства возможной причинно-следственной связи между избыточным использованием мобильного те-лефона и риском мигрени представлены в исследовании Не и соавт. [24]. Одним из подтверждений этой связи яв-ляются данные Ю.В. Соловьёвой и соавт. [25], выявивших приступообразные головные боли у $40,0\pm4,9\%$ детей, не со-блюдавших регламент использования мобильных элек-тронных устройств. Примечательно, что сокращение или прекращение использования электронных устройств сопро-вождается облегчением симптомов головной боли [26].

Перечисленные вегетативные симптомы сопровожда-лись снижением функциональных возможностей у обсле-дованных детей. При этом среди бурятгов 1-й группы, об-следованных в 2016 г., выявлено больше детей с высокой скоростью синтеза и анализа поступающей информации (<189 мс), высокой стабильностью сенсомоторного реаги-рования (<33 мс), большей точностью зрительно-мотор-ных реакций и, соответственно, меньшим количеством преждевременных реакций, высоким уровнем функцио-нальных возможностей ЦНС (от 3,8 усл. ед.).

Вместе с тем у бурятгов 1-й группы реже, чем во 2-й,

¹ Методические рекомендации по безопасному для здоровья детей и подростков использованию мобильного телефона. Утверждены Национальным медицинским исследовательским центром здоровья детей (НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков). Мос-ква, 2024 г. URL: <https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/067/691/original/1.pdf?1724852329>

встречается вариант среднеслабой нервной системы, для которого характерны низкая подвижность нервных процессов, предрасположенность к быстрому развитию утомления, инертность формирования условно-рефлекторных реакций, сопровождающаяся увеличением числа ошибочных реакций. Перечисленные психофизиологические характеристики ЦНС у обследованных детей объективно отражают отрицательное влияние современных мобильных устройств на здоровье детей сельских территорий. Полученные результаты согласуются с данными ПЗМР о низком УФВ ЦНС, поскольку инертность нервных процессов определяет медленное усвоение информации, в том числе обработку данных. Сопоставление полученных результатов с индивидуальными значениями УФВ показало, что высокий уровень показателя, свидетельствующий о быстрой обработке информации и оптимальном функциональном состоянии ЦНС, имеют дети с подвижностью нервных процессов.

Проведённые ранее исследования позволили выявить психофизиологические различия у детей бурятского и славянского этноса [16]. Полученные результаты нашли отражение в работе Н.П. Сетко и соавт. [27], согласно которым у детей славянской этнической группы 12–14 лет ФУС составил 2,06 усл. ед., УР — 0,72 усл. ед., УФВ — 1,72 усл. ед. Примечательно, что у аборигенных популяций Магаданской области (коряков, эвенов, камчадалов, ительменов) медиана среднего времени ПЗМР в 1,4 раза больше, чем у бурят [17]. Критерии Т.Д. Лоскутовой у аборигенов Магадана, по сравнению с бурятами, меньше в 1,3–1,6 раза, что указывает на более совершенное развитие нейродинамических функций у детей-бурят. Таким образом, психофизиологические характеристики детей бурятского этноса являются уникальными, требующими детального и продолжительного изучения.

Ограничения исследования

Настоящее исследование имеет ограничение, заключающееся в малом количестве обследуемых лиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Непременным атрибутом повседневной жизни современных детей и подростков являются мобильные устройства. Интерактивность, эмоциональная вовлечённость в цифровое общение, потоки новой информации обусловили избыточное использование смартфонов и других гаджетов. Психофизиологическое исследование функционального состояния ЦНС у детей бурятской этнической группы, проведённое с интервалом в 8 лет, выявило тенденции к сокращению времени реагирования, устойчивости внимания, изменению подвижности нервных процессов в сторону увеличения их инертности. Среди детей со 100% обеспеченностью смартфонами выявлена средняя и относительно сильная связь избыточного использования гаджетов с развитием симптомов вегетативной

дисфункции (головные боли, быстрая утомляемость, трудности с засыпанием, усталость при пробуждении). Именно поэтому в целях снижения риска для здоровья детей, обусловленного цифровой средой, необходимо формировать у молодёжи навыки безопасного использования мобильных цифровых устройств.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. И.В. Мильникова — дизайн исследования, статистическая обработка данных, написание текста; О.Г. Богданова — концепция исследования, сбор материала, написание текста; Е.З. Урбанова — организация исследования, написание текста; Н.В. Ефимова — концепция и дизайн исследования, написание текста; все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Исследования проведены с одобрения биоэтического комитета ФГБНУ ВСИМЭИ (приказ № 4 от 14.11.2012, приказ № 2 от 11.06.2024).

Согласие на публикацию. Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источники финансирования. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 25-25-00092, <https://rscf.ru/project/25-25-00092/>.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

Благодарность. Авторы выражают признательность за предоставленную возможность проведения исследования директору МАОУ «Орликская СОШ» Б.Д. Шарастепанову, педагогическому коллективу школы и всем участникам исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: I.V. Mylnikova: methodology, formal analysis, writing—original draft; O.G. Bogdanova: conceptualization, data curation, writing—original draft; E.Z. Urbanova: project administration, writing—original draft; N.V. Efimova: conceptualization, methodology, writing—original draft; all authors: approval of the final version of the manuscript, and responsibility for the integrity of all its parts. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The studies were conducted with the approval of the Bioethics Committee of the Federal State Budgetary Scientific Institution

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research (orders No. 4 dated November 14, 2012, and No. 2 dated June 11, 2024).

Consent for publication: All participants provided written informed consent prior to inclusion in the study.

Funding sources: The study was funded by the Russian Science Foundation, grant No. 25-25-00092, <https://rscf.ru/project/25-25-00092/>.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer-review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

Acknowledgments: The authors express their gratitude to B.D. Sharastepanov, Principal of the Municipal Autonomous Educational Institution Orlik School, to the teaching staff, and to all study participants for making this research possible.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Haug S, Castro RP, Kwon M, et al. Smartphone use and smartphone addiction among young people in Switzerland. *J Behav Addict*. 2015;4(4):299–307. doi: 10.1556/2006.4.2015.037
- Grigoriev YuG, Samoylov AS, Bushmanov AY, Khorseva NI. Cellular connection and the health of children — problem of the third millennium. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2017;62(2):39–46. EDN: YSVBOL
- Goncharova GA. Mental health of the children who are active users of digital media. *Russian Bulletin of Hygiene*. 2021;(3):33–35. doi: 10.24075/rbh.2021.017 EDN: GKRNHK
- Liu J, Riesch S, Tien J, et al. Screen media overuse and associated physical, cognitive, and emotional/behavioral outcomes in children and adolescents: an integrative review. *J Pediatr Health Care*. 2022;36(2):99–109. doi: 10.1016/j.pedhc.2021.06.003
- Lederer-Hutsteiner T, Müller KW, Penker M, et al. The mediating effect of after-midnight use of digital media devices on the association of internet-related addictive behavior and insomnia in adolescents. *Front Public Health*. 2024;12:1422157. doi: 10.3389/fpubh.2024.1422157
- Spina G, Bozzola E, Ferrara P, et al. Children and adolescent's perception of media device use consequences. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(6):3048. doi: 10.3390/ijerph18063048
- Novikova II, Zubtsovskaya NA, Romanenko SP, et al. Effects of mobile phones on children's and adolescents' health. *The Science of Person: Humanitarian Researches*. 2020;14(2):95–103. doi: 10.17238/issn1998-5320.2020.14.2.16 EDN: WRBZGA
- Efimova NV, Mylnikova IV. The problem of the formation of a new indicator pathology in children during the implementation of the "digital school". *Hygiene and Sanitation*. 2024;103(11):1344–1349. doi: 10.47470/0016-9900-2024-103-11-1344-1349 EDN: XMCFOA
- Milushkina OYu, Skobolina NA, Markelova SV, et al. Assessing health risks for schoolchildren and students caused by exposure to educational and entertaining information technologies. *Health Risk Analysis*. 2019;(3):135–143. doi: 10.21668/health.risk/2019.3.16.eng EDN: TQUAEL
- Vyatleva OA, Kurgansky AM. Modes of use of the cell phone and health of schoolchildren. *Hygiene and Sanitation*. 2019;98(8):857–862. doi: 10.47470/0016-9900-2019-98-8-857-862 EDN: QIUIWP
- Kim SY, Han S, Park E-J, et al. The relationship between smartphone overuse and sleep in younger children: a prospective cohort study. *J Clin Sleep Med*. 2020;16(7):1133–1139. doi: 10.5664/jcsm.8446
- Khorseva NI, Grigoriev PE. Electromagnetic fields of cellular communication as a health risk factor for children and adolescents (review). *Health Risk Analysis*. 2023;(2):186–193. doi: 10.21668/health.risk/2023.2.18 EDN: CLEDIE
- Doron E. Fostering creativity in school aged children through perspective taking and visual media based short term intervention program. *Thinking Skills and Creativity*. 2016;(23):50–160. doi: 10.1016/j.tsc.2016.12.003
- Suggate SP, Martzog Ph. Children's sensorimotor development in relation to screen-media usage: A two-year longitudinal study. *Journal of Applied Developmental Psychology*. 2021;74(7465):101279. doi: 10.1016/j.appdev.2021.101279
- Astakhova T, Rychkova L, Pogodina A, et al. Comparative analysis of health status of adolescents of different ethnic groups in Buryat Republic. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2017;24(6):24–29. doi: 10.33396/1728-0869-2017-6-24-29 EDN: YUNOKN
- Mylnikova IV, Efimova NV, Diakovich OA. Psychophysiological characteristics of the central nervous system of rural children of various ethnic groups of Siberia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2018;25(7):17–23. doi: 10.33396/1728-0869-2018-7-17-23 EDN: UTOQUK
- Bartosh TP, Bartosh OP. Age-related features of neurodynamic indicators in native adolescent females of Russia's Northeast. *Psychology. Psychophysiology*. 2019;12(4):71–82. doi: 10.14529/jpps190408 EDN: FDTAHH
- Evert L, Potupchik T, Kostyuchenko Yu, Chudinova O. Functional state of the central nervous system of school students of the indigenous and indigenous population of the Khakasia (on the example of the city of Abakan). *Vrach*. 2021;32(8):65–71. doi: 10.29296/25877305-2021-08-13 EDN: FQETMR
- Mantova IN. *Methodological guide to psychophysiological and psychological diagnostics*. Ivanovo: OOO "Neurosoft"; 2007. 216 p. (In Russ.) URL: <https://kognoreg.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/03/psyhotest2.pdf>
- Khazova IV, Shoshmin AV, Devyatova OF. *Polyfunctional psychophysiological testing in assessing functioning, limitations of life activity and health*. Ivanovo; 2011. 63 p. (In Russ.) URL: <https://www.invalidnost.com/alb/psih-test.pdf>
- Petri A, Sabin K. *Visual medical statistics. Study guide*. Moscow: GEOTAR-Media; 2019. 232 p. (In Russ.) ISBN: 978-5-9704-8733-4
- Pchelina PV, Sursaev VA, Poluektov MG. Information overload and sleep disorders. *Medical Council*. 2022;16(11):54–60. doi: 10.21518/2079-701X-2022-16-11-54-60 EDN: OUIWQH
- Cheung CH, Bedford R, Saez De Urabain IR, et al. Daily touchscreen use in infants and toddlers is associated with reduced sleep and delayed sleep onset. *Sci Rep*. 2017;7:46104. doi: 10.1038/srep46104
- He Z, Qiu F, Yang J, Zhao M. The role of digital device use on the risk of migraine: a univariable and multivariable Mendelian randomization study. *Front Neurol*. 2024;15:1462414. doi: 10.3389/fneur.2024.1462414
- Solovieva YuV, Paunova SS, Semicheva VR, et al. Effect of different mobile device screen time durations on neuropsychiatric health of schoolchildren. *Bulletin of the Russian State Medical University*. 2023;(5):65–69. doi: 10.24075/vrgmu.2023.040 EDN: UZIXDU
- Alqassim AY, Alharbi AA, Muaddi MA, et al. Associations of electronic device use and physical activity with headaches in Saudi medical students. *Medicina (Kaunas)*. 2024;60(2):299. doi: 10.3390/medicina60020299
- Setko NP, Bulycheva EV, Zhdanova OM. Features of formation of the functional state of the central nervous system and cognitive abilities in children and adolescents of the school age. *Pacific Medical Journal*. 2020;(1):76–79. doi: 10.34215/1609-1175-2020-1-76-79 EDN: IRPEIF

ОБ АВТОРАХ

***Мыльникова Инна Владимировна**, д-р мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 665827, Ангарск, 12А микрорайон, д. 3, а/я 1170;
ORCID: 0000-0002-0169-4513;
eLibrary SPIN: 4281-2705;
e-mail: inna.mylnikova.phd.ms@gmail.com

Богданова Ольга Георгиевна, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0002-2358-2280;
eLibrary SPIN: 3979-5433;
e-mail: olga.bogdanova2001@gmail.com

Урбанова Екатерина Зориктуевна, канд. мед. наук;
ORCID: 0009-0003-2784-0894;
eLibrary SPIN: 9205-6955;
e-mail: urbanova8484@mail.ru

Ефимова Наталья Васильевна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-7218-2147;
eLibrary SPIN: 4537-9381;
e-mail: medecolab@inbox.ru

AUTHORS' INFO

***Inna V. Mylnikova**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Associate Professor;
address: 3 microdistrict 12A, PO box 1170, Angarsk, Russia, 665827;
ORCID: 0000-0002-0169-4513;
eLibrary SPIN: 4281-2705;
e-mail: inna.mylnikova.phd.ms@gmail.com

Olga G. Bogdanova, MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-2358-2280;
eLibrary SPIN: 3979-5433;
e-mail: olga.bogdanova2001@gmail.com

Ekaterina Z. Urbanova, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0009-0003-2784-0894;
eLibrary SPIN: 9205-6955;
e-mail: urbanova8484@mail.ru

Natalya V. Efimova, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0001-7218-2147;
eLibrary SPIN: 4537-9381;
e-mail: medecolab@inbox.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Оценка пищевого статуса работающего населения в зависимости от пола и коэффициента физической активности

И.В. Заикина^{1,2}, Н.Е. Комлева^{1,3}, С.И. Мазиллов¹, М.В. Поздняков^{1,3},
В.Н. Долич¹, С.В. Райкова^{1,3}

¹ Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Саратов, Россия;

² Медицинский университет «Ревиз», Саратов, Россия;

³ Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Саратов, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Для повышения эффективности профилактических мероприятий и определения потребности в их оптимизации важное значение имеют распространённость и контроль модифицируемых факторов риска, в числе которых важную роль играет питание.

Цель. Оценить пищевой статус работающего населения с учётом пола и коэффициента физической активности.

Материалы и методы. В рамках поперечного исследования изучен пищевой статус 1183 работающих. Сформированы группы наблюдения: рабочие ($n=731$) и служащие ($n=452$). С учётом пола и коэффициента физической активности изучены режим и характер питания, частота потребления основных продуктов, доли основных макронутриентов в суточной калорийности рациона, содержание насыщенных жиров, свободного сахара и клетчатки. Проанализированы маркеры метаболического статуса. Для статистического анализа применяли программу Statistica 10: критерии Манна–Уитни и Пирсона с построением четырёхпольных таблиц. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Результаты. Частота потребления основных продуктов в группах рабочих и служащих не имеет статистически значимых различий. Доля белка в рационе мужчин выше, чем в рационе женщин: 15,1 [13,0; 17,6] и 14,0 [11,6; 16,9] соответственно ($p < 0,001$ для критерия Манна–Уитни); доля углеводов в рационе мужчин ниже, чем в рационе женщин: 46,6 [39,1; 52,7] и 48,9 [39,8; 55,2] ($p=0,022$ для критерия Манна–Уитни); доля жиров не имела статистически значимой межгрупповой разницы. Вне зависимости от коэффициента физической активности энергетическая ценность во всех группах наблюдения недостаточная. У мужчин в группе служащих преобладает распространённость ожирения ($p=0,002$) и артериальной гипертензии ($p < 0,001$), а также количество лиц со значениями общего белка ниже референтных ($p=0,011$), а общего холестерина, индекса атерогенности, глюкозы и гликированного гемоглобина выше референтных значений ($p < 0,001$ для всех сравнений). У женщин распространённость ожирения и артериальной гипертензии сопоставима в группах рабочих и служащих; в группе рабочих преобладает количество лиц со значениями общего белка вне референтных значений, холестерина липопротеидов низкой плотности и триглицеридов — выше референтных значений ($p < 0,001$ для всех сравнений); в группе служащих — количество лиц с уровнем альбумина и холестерина липопротеидов высокой плотности ниже ($p < 0,001$ и $p=0,011$ соответственно), а HbA1c — выше ($p=0,004$) референтных значений.

Заключение. Полученную оценку пищевого статуса работающего населения с учётом пола и коэффициента физической активности, а также низкую информированность населения о принципах здорового питания целесообразно учитывать при разработке профилактических мероприятий, корпоративных и просветительских программ о здоровом питании, направленных на сохранение здоровья, качества жизни и профессионального трудового долголетия работающих.

Ключевые слова: рацион питания; здоровье сердечно-сосудистой системы; пищевой статус; население трудоспособного возраста; социальный статус; пол.

Как цитировать:

Заикина И.В., Комлева Н.Е., Мазиллов С.И., Поздняков М.В., Долич В.Н., Райкова С.В. Оценка пищевого статуса работающего населения в зависимости от пола и коэффициента физической активности // Экология человека. 2025. Т. 32, № 1. С. 52–63. DOI: 10.17816/humeco634860 EDN: NHUKWY

Assessment of Nutritional Status in the Working Population Based on Sex and Physical Activity Level

Inna V. Zaikina^{1,2}, Nataliia E. Komleva^{1,3}, Svyatoslav I. Mazilov¹,
Michail V. Pozdnyakov^{1,3}, Vladimir N. Dolich¹, Svetlana V. Raikova^{1,3}

¹ Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Saratov, Russia;

² Medical University "Reaviz", Saratov, Russia;

³ Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: To enhance the effectiveness of preventive measures and determine the need for their optimization, the prevalence and control of modifiable risk factors—among which nutrition plays a significant role—are of considerable importance.

AIM: To assess the nutritional status of the working population based on sex and physical activity level.

METHODS: The dietary status of 1183 employed individuals was assessed in a cross-sectional study. Two groups were formed: manual workers ($n=731$) and office employees ($n=452$). Dietary patterns, food intake frequency, the proportions of major macronutrients in the total daily caloric intake, and the intake of saturated fats, free sugars, and fiber were assessed with consideration of sex and physical activity level. Markers of metabolic status were also analyzed. Statistical analysis was performed using Statistica 10 software with the Mann–Whitney and Pearson's chi-squared tests based on contingency tables. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

RESULTS: The frequency of consumption of basic food products did not differ significantly between the groups of manual workers and office employees. The proportion of protein intake was higher in men than in women: 15.1 [13.0; 17.6] and 14.0 [11.6; 16.9], respectively ($p < 0.001$, Mann–Whitney test); the proportion of carbohydrates was lower in men than in women: 46.6 [39.1; 52.7] and 48.9 [39.8; 55.2], respectively ($p=0.022$, Mann–Whitney test); no statistically significant difference was observed in fat intake between the groups. Regardless of physical activity level, energy intake was insufficient across all groups. Among men, office employees had a higher prevalence of obesity ($p=0.002$) and hypertension ($p < 0.001$), as well as more individuals with total protein levels below reference values ($p=0.011$) and total cholesterol, atherogenic index, glucose, and glycated hemoglobin levels above reference values ($p < 0.001$ for all). Among women, the prevalence of obesity and hypertension was comparable between manual workers and office employees. However, female manual workers had more individuals with total protein levels outside reference values, and levels of low-density lipoprotein cholesterol and triglycerides higher than reference values ($p < 0.001$ for all). Female office employees had more individuals with lower albumin and high-density lipoprotein cholesterol levels ($p < 0.001$ and $p=0.011$, respectively), and higher HbA1c levels ($p=0.004$) than reference values.

CONCLUSION: The assessment of the nutritional status of the working population, taking into account sex and physical activity level, along with the low awareness of healthy eating principles, should be considered when developing preventive measures, as well as corporate and educational programs on healthy eating aimed at preserving health, improving quality of life, and maintaining professional longevity.

Keywords: diet; cardiovascular health; nutritional status; working-age population; social status; sex.

To cite this article:

Zaikina IV, Komleva NE, Mazilov SI, Pozdnyakov MV, Dolich VN, Raikova SV. Assessment of nutritional status in the working population based on sex and physical activity level. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(1):52–63. DOI: 10.17816/humeco634860 EDN: NHUKWY

根据性别和身体活动系数评估劳动人群的营养状况

Inna V. Zaikina^{1,2}, Nataliia E. Komleva^{1,3}, Svyatoslav I. Mazilov¹,
Michail V. Pozdnyakov^{1,3}, Vladimir N. Dolich¹, Svetlana V. Raikova^{1,3}

¹ Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Saratov, Russia;

² Medical University "Reaviz", Saratov, Russia;

³ Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russia

摘要

论证。为提高预防措施的有效性并明确其优化需求，了解可调节危险因素的流行情况及其控制水平至关重要，其中饮食因素发挥着重要作用。

目的。评估劳动人群在不同性别和身体活动系数下的营养状况。

材料与方法。本研究为横断面研究，调查了1183名劳动人群的营养状况。观察对象分为两组：工人组（ $n=731$ ）和职员组（ $n=452$ ）。在考虑性别和身体活动系数的基础上，分析了膳食模式和饮食特征、主要食品的摄入频率、膳食中主要常量营养素在总能量中的占比，以及饱和脂肪、游离糖和膳食纤维的摄入量。分析了代谢状态标志物。统计分析使用Statistica 10软件，采用Mann - Whitney U检验和皮尔逊卡方检验，构建四格表。在 $p<0.05$ 时，差异具有统计学意义。

结果。在工人组和职员组中，主要食品的摄入频率无统计学显著差异。男性膳食中蛋白质占比高于女性：15.1 [13.0; 17.6] vs. 14.0 [11.6; 16.9] ($p<0.001$, Mann - Whitney U检验)；碳水化合物占比低于女性：46.6 [39.1; 52.7] vs. 48.9 [39.8; 55.2] ($p=0.022$, Mann - Whitney U检验)；脂肪占比差异无统计学意义。无论身体活动系数如何，各组的总能量摄入均低于推荐水平。男性职员中，肥胖（ $p=0.002$ ）和高血压（ $p<0.001$ ）的患病率更高，同时总蛋白低于参考值（ $p=0.011$ ），总胆固醇、动脉粥样硬化指数、葡萄糖和糖化血红蛋白均高于参考值（ $p<0.001$ ，适用于所有比较）。女性中，工人组与职员组在肥胖和高血压的患病率方面大致相当；在工人组中，总蛋白水平超出参考范围、低密度脂蛋白胆固醇和甘油三酯高于参考值的人数占比较多（ $p<0.001$ ，适用于所有比较）；而在职员组中，白蛋白和高密度脂蛋白胆固醇低于参考值（ $p<0.001$ 和 $p=0.011$ ），HbA1c 高于参考值（ $p=0.004$ ）。

结论。在考虑性别和身体活动系数的基础上获得的劳动人群营养状况评估结果，以及公众对健康饮食原则认知水平较低的现实，应在制定旨在维护劳动者健康、生活质量和职业可持续性的预防措施、企业项目和健康教育计划时予以充分重视。

关键词：膳食结构；心血管系统健康；营养状况；劳动年龄人群；社会地位；性别。

引用本文：

Zaikina IV, Komleva NE, Mazilov SI, Pozdnyakov MV, Dolich VN, Raikova SV. 根据性别和身体活动系数评估劳动人群的营养状况. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(1):52–63. DOI: 10.17816/humeco634860 EDN: NHUKWY

ОБОСНОВАНИЕ

Известно, что характер питания как напрямую, так и косвенно влияет на риск развития и течение многих заболеваний, в том числе болезней системы кровообращения, которые являются доминирующими в причине смертности населения [1–5]. При этом доказано, что снижение потребления переработанного мяса, простых углеводов, ненасыщенных жиров, увеличение потребления пищевых волокон до рекомендуемых научно-обоснованных норм может способствовать минимизации рисков развития ожирения, сахарного диабета, ишемической болезни сердца и снижению смертности от сердечно-сосудистых заболеваний [6–8].

Для повышения эффективности профилактических мероприятий и определения потребности в их оптимизации важное значение имеют оценка распространённости и контроль модифицируемых факторов риска, в числе которых важную роль играет питание [9, 10].

С учётом роста алиментарно-зависимых заболеваний [11], а также значения питания в сохранении и укреплении здоровья населения в настоящее время в рамках национального проекта «Демография»¹ внедряются просветительские программы по вопросам здорового питания². Одной из задач проекта является изучение состояния питания различных социальных групп, в том числе работающего населения. Данные научной литературы доказывают связь характера питания с профессиональной принадлежностью [12, 13], что обосновывает актуальность изучения особенностей питания работающего населения с учётом характера трудовой деятельности.

Для сохранения здоровья трудоспособного населения требуется анализ особенностей питания в современных условиях, алиментарных факторов риска с целью оптимизации профилактических мероприятий на разных уровнях.

Цель исследования. Оценить пищевой статус работающего населения с учётом пола и коэффициента физической активности (КФА).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рамках одномоментного исследования на базе Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» в 2022–2023 гг. в ходе проведения периодических медицинских осмотров обследована сплошная выборка 1183 работающих 19–65 лет (46,42±11,4 года). Все участники исследования являлись условно здоровыми.

¹ Паспорт национального проекта «Демография». Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/Z4OMjDgCaeohKWaA0psu6lCekd3hwx2m.pdf>

² Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Приказ от 24 марта 2020 г. № 186 «Об утверждении концепции создания обучающих (просветительских) программ по вопросам здорового питания». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/565491500>

Участники исследования были распределены на две группы с учётом КФА [14]. Группу рабочих составили работники промышленных предприятий ($n=731$) — слесари, наладчики, станочники, водители автобусов, экскаваторов, работники тепличных хозяйств, растениеводы (КФА 1,9), группу служащих ($n=452$) — руководители предприятий, инженеры, научные работники, врачи, учителя, воспитатели (КФА 1,4).

Критерии включения: работающие в возрасте от 19 до 65 лет, должности которых соответствуют I (КФА 1,4) и III (КФА 1,9) группам по МР 2.3.1.0253-21. **Критерии исключения:** отсутствие письменного согласия на участие в исследовании.

Для оценки пищевого статуса проанализировали фактическое питание с помощью метода 24-часового воспроизведения суточного рациона с применением атласа порций продуктов и блюд [15] для определения размера и веса порций. Макронутриентный состав пищевого суточного рациона анализировали с помощью компьютерной программы «Индивидуальная диета 5.0: профессиональная версия» (сертификат соответствия № 0568970; РОСС RU. НВ 71.Н18866). Для определения нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах руководствовались МР 2.3.1.0253-21 (табл. 1).

Всем участникам исследования были заданы стандартные вопросы, которые позволяли получить сведения о режиме питания (количество приёмов пищи в сутки), частоте завтраков, обедов и ужинов, частоте потребления основных продуктов питания (ежедневный, 3–4 раза в неделю, 1–2 раза в неделю, 1–2 раза в месяц), о преимущественном способе приготовления пищи (жарка, тушение, варка, запекание, на пару), о соблюдении суточной дозы потребляемых жиров (да, нет), о предпочтениях в употреблении растительного масла (рафинированное, нерафинированное), об информированности о принципах здорового питания (рекомендуемые продукты, их количество и частота употребления в неделю, информация о содержании в продуктах соли, добавленного сахара, о принципе тарелки здорового питания и пр.), о роли питания

Таблица 1. Рекомендуемые доли белков, жиров и углеводов в калорийности рабочих и служащих с учётом коэффициента физической активности

Table 1. Recommended proportions of proteins, fats, and carbohydrates in the daily caloric intake of manual workers and office employees, considering physical activity level

Показатели Indicator	Рабочие (КФА 1,9) Manual workers (PAL 1.9)	Служащие (КФА 1,4) Intellectual workers (PAL 1.4)
Белки, % Proteins, %	12.5	14.0
Жиры, % Fats, %	30.0	30.0
Углеводы, % Carbohydrates, %	30.0	30.0

Примечание. КФА — коэффициент физической активности.

Note: PAL, physical activity level.

в развитии хронических (алиментарно-зависимых) заболеваний (о влиянии различных продуктов на течение и/или развитие хронических неинфекционных заболеваний).

Проанализированы маркеры метаболического статуса: индекс массы тела (ИМТ, кг/м²), общий белок, альбумины, глюкоза, общий холестерин, холестерин липопротеидов высокой (ХС ЛПВП) и низкой (ХС ЛПНП) плотности, триглицериды (биохимический анализатор «Fuguo», реактивы «Dia sys»), гликированный гемоглобин (HbA1c; ГГТ-01 «Элта»), индекс атерогенности сыворотки крови.

Статистический анализ проводили с применением пакета прикладных программ Statistica 10 (StatSoft Inc., США). Особенности распределения рациона по содержанию нутриентов оценивали сравнением частот отклонений от рекомендованных значений в рационе мужчин и женщин. Проверку на нормальность распределения переменных выполняли с помощью критерия Шапиро–Уилка. Для выборок, распределение параметров в которых отличалось от нормального, данные представлены в виде Me [Q1; Q3]. Для определения статистической значимости различий между группами применяли непараметрические критерии Манна–Уитни и критерий Пирсона с построением таблиц 2×2, число степеней свободы равно 1. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристика групп наблюдения по возрасту, среднему ИМТ, количеству лиц с ожирением и артериальной гипертензией представлена в табл. 2.

Установлено, что у 477 (65,3%) рабочих и у 118 (26,1%) служащих преимущественно 3–4-разовый режим питания ($p < 0,001$); при этом сбалансированные по белкам, жирам и углеводам завтраки — у 470 (64,3%) рабочих и у 189 (41,8%) служащих ($p < 0,001$), сбалансированные обеды — у 608 (83,2%) рабочих и у 165 (36,5%) служащих ($p < 0,001$), сбалансированные ужины — у 529 (72,4%) рабочих у 285 (63,1%) служащих ($p < 0,001$).

Частота потребления основных продуктов между группами рабочих и служащих не имеет статистически значимых различий, что позволило оценить фактическое питание в общей выборке. Выявлено, что в целом ежедневно в суточном рационе присутствует мясо у 1029 (87,0%) человек, промышленные мясные изделия (колбасы) — у 1077 (91,0%), картофель — у 914 (77,3%), зерновые (без учёта хлебобулочных изделий) — у 379 (32,0%), хлебобулочные изделия — у 1065 (90,0%), овощи — у 377 (31,9%), фрукты — у 408 (34,5%), яйца — у 683 (57,7%), промышленные кондитерские изделия (мучные изделия, конфеты и прочие сладости) — у 1121 (94,8%). Молочные продукты присутствуют в рационе ежедневно у 184 (15,6%) лиц, 1–2 раза в неделю — у 890 (75,2%), 1–2 раза в месяц — у 102 (8,6%). Два раза в месяц и реже 1063 (89,9%) респондента употребляют морскую рыбу и морепродукты, 1113 (94,1%) — бобовые, орехи, растительные нерафинированные масла. Для приготовления пищи респонденты в основном применяют подсолнечное масло — 1098 (92,8%) опрошенных. Для жарки и для заправки салатов 1061 (89,7%) человек употребляют преимущественно рафинированное подсолнечное, как правило,

Таблица 2. Характеристика групп наблюдения

Table 2. Characteristics of the study groups

Показатели Indicator	Мужчины Men		Уровень статистической значимости Statistical significance
	Рабочие Manual workers (n=532)	Служащие Intellectual workers (n=268)	
Возраст, лет Age, years	40,0 [33,0; 50,0]	43,0 [34,0; 52,3]	0,262*
ИМТ, кг/м ² BMI, kg/m ²	26,9 [23,7; 30,2]	26,7 [24,1; 29,8]	<0,001*
Количество лиц с ИМТ больше 30 кг/м ² Number of individuals with BMI > 30 kg/m ²	137 (25,8%)	98 (36,6%)	0,002**
Количество лиц с АГ Number of individuals with hypertension	161 (30,3%)	114 (42,5%)	<0,001**
Показатели Indicator	Женщины Women		Уровень статистической значимости Statistical significance
	Рабочие Manual workers (n=199)	Служащие Intellectual workers (n=184)	
Возраст, лет Age, years	42,0 [37,0; 54,0]	51,0 [34,5; 57,0]	0,172*
ИМТ, кг/м ² BMI, kg/m ²	29,1 [26,6; 35,2]	28,7 [24,6; 32,8]	0,329*
Количество лиц с ИМТ больше 30 кг/м ² Number of individuals with BMI > 30 kg/m ²	76 (38,2%)	70 (38,0%)	0,977**
Количество лиц с АГ Number of individuals with hypertension	47 (23,6%)	44 (23,9%)	0,946**

Примечание. ИМТ — индекс массы тела; АГ — артериальная гипертензия; * критерий Манна–Уитни; ** критерий Пирсона.

Note: BMI, body mass index; * Mann–Whitney test; ** Pearson's chi-squared test.

не дозировано, игнорируя рекомендуемые уровни потребления.

При оценке преимущественных способов приготовления пищи получены следующие результаты: 652 (55,1%) респондента предпочитают жарку, 300 (25,4%) — тушение, 175 (14,8%) — варку, 62 (5,2%) — запекание в духовом шкафу. Приготовление на пару не указал ни один респондент.

При выборе блюд 1048 (88,6%) респондентов руководствуются пищевыми привычками, не ориентируясь на пользу для здоровья: в группе рабочих 697 (95,4%) человек, в группе служащих — 351 (77,7%), $p < 0,001$. Характерно, что 1120 (94,7%) участников исследования не информированы о принципах питания, рекомендованных кардиоваскулярным обществом: в группе рабочих — 711 (97,3%), в группе служащих — 409 (90,5%), $p < 0,001$; 885 (74,8%) участников исследования не знают о роли питания в развитии хронических (алиментарно-зависимых) заболеваний, кроме ожирения и сахарного диабета: среди рабочих — 634 (86,7%), среди служащих — 251 (55,5%), $p < 0,001$.

Изучены доли основных макронутриентов в суточной калорийности рациона у мужчин и женщин в зависимости от КФА (табл. 3).

Доля белка в рационе мужчин выше, чем в рационе женщин: 15,1 [13,0; 17,6] и 14,0 [11,6; 16,9] соответственно ($p < 0,001$ для критерия Манна–Уитни); доля углеводов в рационе мужчин ниже, чем в рационе женщин: 46,6 [39,1; 52,7] и 48,9 [39,8; 55,2] ($p = 0,022$ для критерия Манна–Уитни); доля жиров в калорийности рациона мужчин (37,5 [33,1; 43,8]) и женщин (36,9 [31,8; 43,7]) статистически значимых различий не имела ($p = 0,322$). При этом у лиц одного пола распределение рациона по белкам,

жирам и углеводам между рабочими и служащими статистически значимых различий не имело. Таким образом, суточное потребление энергии у мужчин закономерно статистически значимо выше, чем у женщин, и в группе рабочих, и в группе служащих. Вне зависимости от КФА энергетическая ценность продуктов питания во всех группах наблюдения является недостаточной.

В суточном рационе рабочих и служащих проанализировано содержание ряда нутриентов, являющихся пищевыми триггерами развития метаболических расстройств (табл. 4).

Установлено, что в суточном рационе мужчин, по сравнению с женщинами, статистически значимо преобладает потребление насыщенных жиров в группе рабочих, сахара и клетчатки — в группе служащих. При этом у мужчин свободный сахар в суточном рационе преобладает в группе служащих по сравнению с группой рабочих.

Результаты сопоставления потребления насыщенных жиров, свободного сахара и клетчатки в суточном рационе работающего населения с физиологическими нормами, а также доли отклонений от модальных значений представлены в табл. 5. Избыточное потребление насыщенных жиров и недостаточное потребление клетчатки (менее физиологической нормы) в группе мужчин–рабочих статистически значимо выше, чем в группе служащих; потребление свободного сахара выше нормы преобладает в группе мужчин–служащих. Клетчатку менее модального значения потребляют женщины группы рабочих по сравнению со служащими.

Распределение доли лиц по суточному потреблению насыщенных жиров, свободного сахара и клетчатки среди мужчин и женщин представлено на рис. 1.

Таблица 3. Энергетическая ценность и доля основных нутриентов в суточном рационе в зависимости от коэффициента физической активности
Table 3. Energy value and proportion of major nutrients in the daily diet by physical activity level

Показатель Indicator	Рабочие Manual workers		Служащие Intellectual workers		<i>p</i>
	Мужчины Men (<i>n</i> =532)	Женщины Women (<i>n</i> =199)	Мужчины Men (<i>n</i> =268)	Женщины Women (<i>n</i> =184)	
Энергетическая ценность, ккал Energy value, kcal	1774 [1349; 2175]	1234 [934; 1693]	1796 [1524; 2274]	1295 [1024; 1556]	$p_3=0,154$
	$p_1 < 0,001$		$p_2 < 0,001$		$p_4=1,000$
Белки, % от калорийности Proteins, % of total calories	15,9 [13,6; 18,5]	16,4 [12,4; 19,7]	15,7 [13,5; 19,2]	15,7 [14,2; 20,0]	$p_3=0,998$
	$p_1=0,885$		$p_2=0,321$		$p_4=0,509$
Жиры, % от калорийности Fats, % of total calories	38,2 [33,5; 45,5]	44,0 [34,0; 48,8]	37,8 [32,2; 43,8]	39,5 [35,7; 45,6]	$p_3=0,224$
	$p_1=0,273$		$p_2=0,254$		$p_4=0,788$
Углеводы, % от калорийности Carbohydrates, % of total calories	44,1 [38,1; 50,8]	37,4 [33,8; 54,2]	45,7 [38,4; 52,2]	44,0 [34,6; 48,6]	$p_3=0,335$
	$p_1=0,247$		$p_2=0,188$		$p_4=0,853$

Примечание. * Уровень статистической значимости для критерия Манна–Уитни; p_1 — уровень статистической значимости для критерия Манна–Уитни между мужчинами и женщинами в группе рабочих; p_2 — уровень статистической значимости для критерия Манна–Уитни между мужчинами и женщинами в группе служащих; p_3 — уровень статистической значимости для критерия Манна–Уитни между рабочими и служащими мужчинами; p_4 — уровень статистической значимости для критерия Манна–Уитни между рабочими и служащими женщинами.

Note: * Statistical significance level according to the Mann–Whitney test; p_1 , Mann–Whitney test significance level between men and women in the manual workers group; p_2 , Mann–Whitney test significance level between men and women in the office employees group; p_3 , Mann–Whitney test significance level between male manual workers and office employees; p_4 , Mann–Whitney test significance level between female manual workers and office employees.

Таблица 4. Оценка содержания насыщенных жиров, свободного сахара и клетчатки в суточном рационе работающего населения

Table 4. Assessment of saturated fat, free sugar, and fiber intake in the daily diet of the working population

Показатели Indicators	Рабочие Manual workers		Служащие Intellectual worker		p
	Мужчины Men (n=532)	Женщины Women (n=199)	Мужчины Men (n=268)	Женщины Women (n=184)	
Насыщенные жиры, г Saturated fats, g	19,5 [12,7; 28,2]	16,6 [11,4; 21,6]	20,3 [13,8; 27,4]	17,9 [13,1; 24,2]	p3=0,764 p4=0,327
Сахар, г Sugar, g	58,0 [35,6; 86,4]	49,5 [19,1; 77,]	66,0 [45,3; 97,5]	41,1 [28,4; 66,5]	p3=0,013 p4=1,000
Клетчатка, г Fibre, g	10,4 [7,3; 14,4]	8,6 [6,1; 14,0]	11,9 [7,5; 15,1]	6,3 [4,9; 8,6]	p3=0,207 p4=0,081

Примечание. * Уровень статистической значимости для критерия Манна–Уитни; p1 — уровень статистической значимости для критерия Манна–Уитни между мужчинами и женщинами в группе рабочих; p2 — уровень статистической значимости для критерия Манна–Уитни между мужчинами и женщинами в группе служащих; p3 — уровень статистической значимости для критерия Манна–Уитни между рабочими и служащими мужчинами; p4 — уровень статистической значимости для критерия Манна–Уитни между рабочими и служащими женщинами

Note: * Statistical significance level according to the Mann–Whitney test; p1, Mann–Whitney test significance level between men and women in the manual workers group; p2, Mann–Whitney test significance level between men and women in the office employees group; p3, Mann–Whitney test significance level between male manual workers and office employees; p4, Mann–Whitney test significance level between female manual workers and office employees.

Таблица 5. Сопоставление потребления насыщенных жиров, свободного сахара и клетчатки с физиологическими нормами и их модальные значения в суточном рационе работающего населения

Table 5. Comparison of saturated fat, free sugar, and fiber intake with physiological norms and their modal values in the daily diet of the working population

Потребление в суточном рационе Daily intake	Мужчины Men		Женщины Women	
	Рабочие Manual workers	Служащие Intellectual worker	Рабочие Manual workers	Служащие Intellectual worker
Насыщенные жиры: более физиологической нормы (30 г/сут для мужчин, 20 г/сут для женщин) Saturated fats: above physiological norm (30 g/day for men, 20 g/day for women)	114 (21,4%)	38 (14,2%)	72 (36,2%)	64 (34,8%)
	$\chi^2=6,086$; p=0,014		$\chi^2=0,082$; p=0,776	
Свободный сахар: более физиологической нормы (40 г/сут) Free sugars: above physiological norm (40 g/day)	367 (68,9%)	210 (78,3%)	111 (55,8%)	96 (52,2%)
	$\chi^2=3,521$; p=0,006		$\chi^2=0,500$; p=0,480	
Клетчатка: менее физиологической нормы (30 г/сут) Fiber: below physiological norm (30 g/day)	525 (98,7%)	259 (96,6%)	199 (100%)	184 (100%)
	$\chi^2=3,793$; p=0,052		—	

Модальные значения суточного потребления насыщенных жиров у мужчин составили 23 г/сут, у женщин — 14 г/сут; потребление клетчатки среди мужчин и женщин — 11 г/сут. Модальный интервал потребления свободного сахара как среди мужчин, так и среди женщин составил от 45 до 55 г/сут.

Изучены показатели метаболического статуса как маркеры сердечно-сосудистого риска у мужчин и женщин с учётом КФА (табл. 6).

Выявлена высокая распространённость ожирения и артериальной гипертензии во всех группах наблюдения.

Среди мужчин в группе служащих превалирует количество лиц со значениями общего белка ниже референтных, а общего холестерина, индекса атерогенности, глюкозы и HbA1c выше референтных значений. Среди женщин в группе рабочих превалирует количество лиц со значениями общего белка вне референтных значений, ХС ЛПНП и триглицеридов — выше референтных; в группе служащих — количество лиц с уровнем

альбумина и ХС ЛПВП ниже, а HbA1c выше референтных значений.

ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках настоящего исследования на репрезентативной выборке проанализирован пищевой статус работающего населения с учётом пола и КФА.

Установлено, что у значительного количества лиц отсутствуют полноценные завтраки и обеды, при этом перераспределение энергетической ценности пищи приходится на вечернее время, что может сопровождаться снижением уровня производительности в течение рабочего дня, это необходимо учитывать при разработке корпоративных программ [16]. Характерно, что представители рабочих профессий в большей степени придерживаются оптимального 3–4-разового режима питания и полноценных приёмов пищи (завтрак, обед, ужин). Не исключено, что этому способствует организация питания на производстве, в то время

Таблица 6. Анализ показателей метаболического статуса мужчин и женщин с учётом коэффициента физической активности

Table 6. Analysis of metabolic status indicators in men and women considering physical activity level

Показатели Indicators	Группы Groups		Критерий Пирсона Pearson's test χ^2 ; p
	Рабочие Manual workers ($n=731$)	Служащие Intellectual worker ($n=452$)	
Мужчины (532 рабочих и 268 служащих) Men (532 manual workers and 268 office employees)			
Общий белок <66 г/л Total protein <66 g/l	25 (4,70%)	25 (9,33%)	6,518; 0,011
Общий белок >88 г/л Total protein >88 g/l	4 (0,75%)	1 (0,37%)	0,412; 0,522
Альбумин <35 г/л Albumin <35 g/l	4 (0,75%)	3 (1,12%)	0,278; 0,599
Альбумин >52 г/л Albumin >52 g/l	4 (0,75%)	0 (0,00%)	2,025; 0,155
Общий холестерин >5,3 ммоль/л Total cholesterol >5.3 mmol/l	22 (3,01%)	171 (63,81%)	414,615; <0,001
ХС ЛПНП >3,6 ммоль/л LDL cholesterol >3.6 mmol/l	4 (0,75%)	5 (1,87%)	1,988; 0,159
ХС ЛПВП <0,8 ммоль/л HDL cholesterol <0.8 mmol/l	4 (0,75%)	3 (1,12%)	0,278; 0,599
Триглицериды >1,8 ммоль/л Triglycerides >1.8 mmol/l	114 (21,43%)	51 (19,03%)	0,626; 0,429
Индекс атерогенности >3,5 Atherogenicity index >3.5	118 (22,18%)	99 (36,94%)	19,641; <0,001
Глюкоза >5,6 ммоль/л Glucose >5.6 mmol/l	4 (0,75%)	33 (12,31%)	54,006; <0,001
HbA1c выше возрастной нормы HbA1c above the age norm	19 (3,57%)	25 (9,33%)	11,364; <0,001
Женщины (199 рабочих и 184 служащих) Women (199 manual workers and 184 office employees)			
Общий белок <66 г/л Total protein <66 g/l	16 (8,04%)	6 (3,26%)	4,033; 0,045
Общий белок >88 г/л Total protein >88 g/l	16 (8,04%)	0 (0,00%)	15,439; <0,001
Альбумин <35 г/л Albumin <35 g/l	0 (0,00%)	25 (13,59%)	28,926; <0,001
Альбумин >52 г/л Albumin >52 g/l	0 (0,00%)	2 (1,09%)	2,174; 0,141
Общий холестерин >5,3 ммоль/л Total cholesterol >5.3 mmol/l	143 (71,86%)	130 (70,65%)	0,068; 0,795
ХС ЛПНП >3,6 ммоль/л LDL cholesterol >3.6 mmol/l	24 (12,06%)	4 (2,17%)	13,790; <0,001
ХС ЛПВП <0,8 ммоль/л HDL cholesterol <0.8 mmol/l	0 (0,00%)	6 (3,26%)	6,592; 0,011
Триглицериды >1,8 ммоль/л Triglycerides >1.8 mmol/l	72 (36,18%)	27 (14,67%)	23,071; <0,001
Индекс атерогенности >3,5 Atherogenicity index >3.5	83 (41,71%)	63 (34,24%)	2,261; 0,133
Глюкоза >5,6 ммоль/л Glucose >5.6 mmol/l	24 (12,06%)	12 (6,52%)	0,558; 0,456
HbA1c выше возрастной нормы HbA1c above the age norm	8 (4,02%)	22 (11,96%)	8,341; 0,004

Примечание. ХС ЛПНВ — холестерин липопротеидов низкой плотности; ХС ЛПВП — холестерин липопротеидов высокой плотности; HbA1c — гликированный гемоглобин.

Note: LDL cholesterol, low-density lipoprotein cholesterol; HDL cholesterol, high-density lipoprotein cholesterol; HbA1c, glycated hemoglobin.

как служащие зачастую не используют возможность регламентированного приёма пищи [16, 17]. Отсутствие полноценных основных приёмов пищи способствует появлению преждевременных дополнительных перекусов, среди которых преобладают хлебобулочные и кондитерские изделия, чем объясняется преобладание простых углеводов (добавленного сахара) у мужчин-служащих.

В суточном рационе участников исследования выявлено недостаточное потребление бобовых, орехов, нерафинированного растительного масла, морской рыбы, молочных продуктов, избыточное потребление соли, что не противоречит результатам других исследований [17, 18].

Таким образом, выявленные особенности питания способствуют недостаточному поступлению с пищей

полиненасыщенных жирных кислот и ряда микронутриентов, роль которых доказана в управлении сердечно-сосудистым риском [17], а также создают условия для избыточного потребления трансизомеров жиров и сахара, которые могут выступать пищевыми триггерами метаболических расстройств [19, 20].

Уровни суточной энергетической ценности рациона, рассчитанные с учётом КФА, оказались ниже рекомендованных норм вне зависимости от вида трудового процесса и обусловлены, вероятно, пищевыми привычками. Оценка КФА согласно МР 2.3.1.0253-21 [14] позволяет оценить тяжесть профессионального труда, однако данный коэффициент не учитывает бытовую физическую активность (занятия физкультурой, спортом, работа по дому и т.д.),

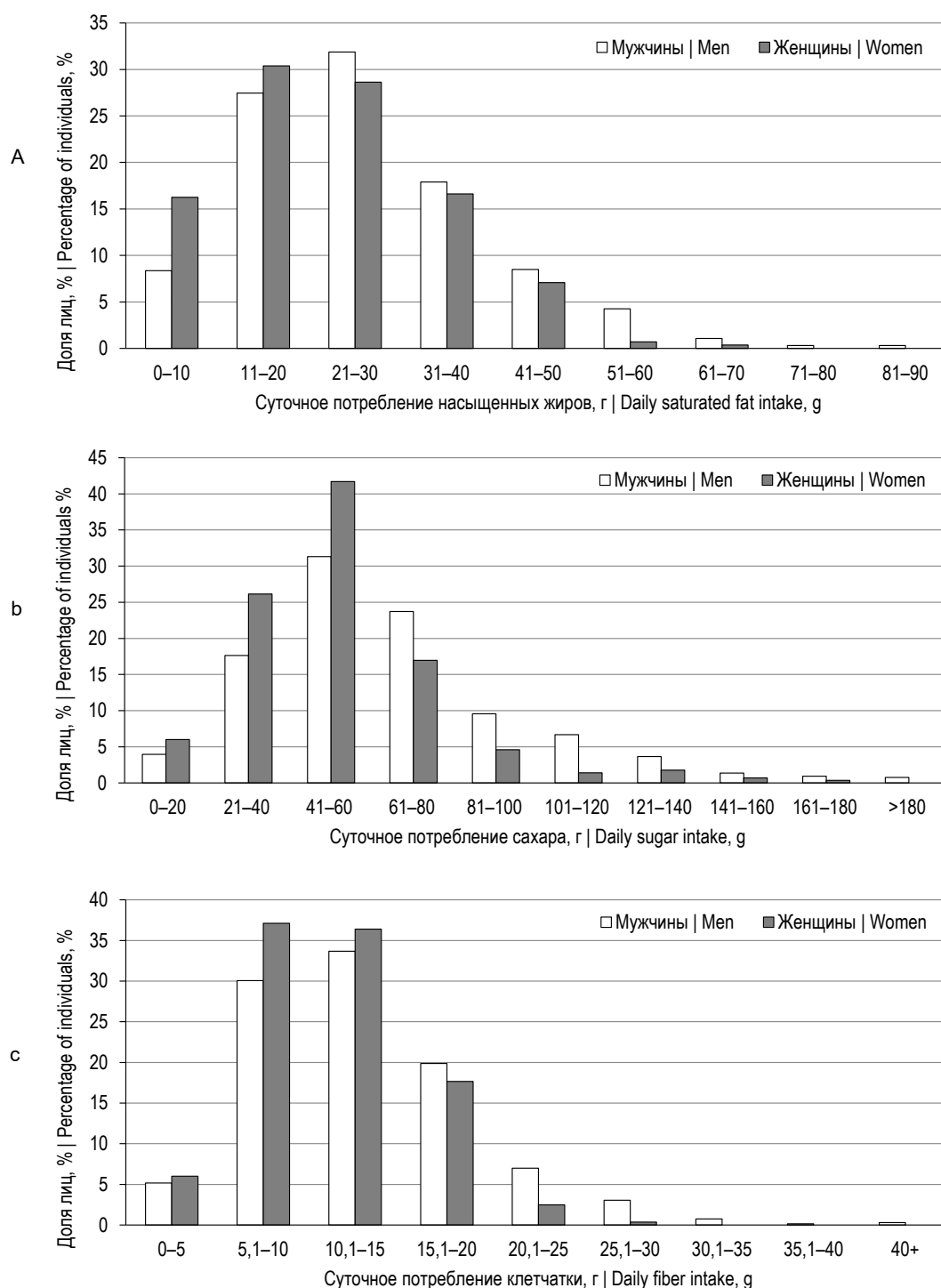


Рис. 1. Распределение доли лиц по суточному потреблению насыщенных жиров, свободного сахара и клетчатки среди мужчин и женщин: а — по потреблению насыщенных жиров; б — по потреблению свободного сахара; с — по потреблению клетчатки.

Fig. 1. Distribution of individuals by daily intake of saturated fats, free sugars, and dietary fiber among men and women: a, saturated fat intake; b, free sugar intake; c, fiber intake.

что может быть причиной искажения результатов исследования.

Выявлено недостаточное количество углеводов в рационе, что объясняет более низкие значения энергопотребления. Эти данные согласуются с результатами другого исследования, в рамках которого установлено, что среди мужчин рабочих профессий в разных группах

интенсивности труда и возрастных категориях также отмечалась недостаточность рациона питания по энергетической ценности и содержанию углеводов [21], при этом противоречат данным ряда других исследований [17, 22]. В структуре потребления углеводов преобладают источники добавленного сахара [21], что имеет значение в аспекте минимизации сердечно-сосудистых рисков [8].

Полученные результаты неоптимального энергопотребления и углеводов могут быть обусловлены рядом причин. Не исключено влияние факта субъективизма в оценке респондентами своего питания, кроме того, нельзя исключить, что в исследовании принимали участие лица, которые уже соблюдают диетические рекомендации в связи с нарушением состояния здоровья, что могло повлиять на среднegrupповые показатели, и этот факт не учитывался в ходе исследования. Также следует обратить внимание на возможную погрешность метода. В литературе описан факт занижения энерго- и белкового потребления при оценке питания с помощью метода 24-часового воспроизведения рациона [23]. Признётся, что этот метод и частотный опросник (по частоте приёма пищи) демонстрируют более низкие среднegrupповые величины энерго- и белкового потребления (на 11–15%), чем пищевой анамнез, что может искажать реальную ситуацию и значимо недооценивать риск заболеваний [24]. Кроме того, следует отметить, что, несмотря на предоставляемый атлас порций продуктов и блюд, при анкетировании у респондентов вызывала затруднения оценка объёма потребляемых порций, а также участникам исследования зачастую сложно было воспроизвести рацион предыдущего дня. Из этого можно сделать вывод, что, несмотря на признание валидности метода 24-часового воспроизведения питания, для оценки фактического питания участникам исследования целесообразно вести дневник приёма пищи, регистрируя продукты и блюда непосредственно в тот же день, причём не за 24 ч, а в течение нескольких дней, что позволит усреднить данные. Подобный подход может способствовать объективизации, что важно и в научных, и в практических целях. Кроме того, у мужчин вызывает затруднение указать состав блюд, что вполне логично, так как их приготовлением занимаются, как правило, женщины.

При оценке сбалансированности рациона рабочих установлен жировой тип питания, что находит отражение в результатах других исследований [19, 21–23], не исключено, что это может являться оптимальным из-за климатических особенностей на значительной территории России. Тем не менее в структуре жирового компонента рациона питания важно соблюдать оптимальный баланс растительных и животных жиров, который нарушен у участников исследования, и включать в рацион растительные масла, в том числе нерафинированные, с большим содержанием жирорастворимых витаминов, а также эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот, что способствует минимизации риска метаболических расстройств [24, 25].

У всех обследованных выявлено недостаточное потребление растительной клетчатки относительно принятых научно-обоснованных норм, что согласуется с общероссийскими данными [17, 22, 23]. Причём по результатам настоящего исследования превалирует дефицит клетчатки в группе рабочих и не имеет различий по половому признаку. E. Ronda-Pérez и соавт. [13] установили, что представители

таких профессий, как инженеры, учёные и работники здравоохранения потребляют значительно большее количество продуктов, насыщенных клетчаткой, по сравнению с представителями рабочих профессий. Более высокое потребление пищевых волокон способствует значимому снижению уровня глюкозы, гликированного гемоглобина, инсулина, индекса НОМА, общего холестерина, ХС ЛПНП, артериального давления у гипертоников, при этом имеет дозозависимый эффект в отношении этих событий [26, 27]. При разработке профилактических мероприятий важно учитывать, что низкоуглеводный рацион с преобладанием растительных пищевых продуктов (жиров и белков) и сокращение потребления насыщенных жиров как минимум в течение двух лет может способствовать уменьшению общего числа сердечно-сосудистых событий на 17% [28].

Полученные данные, свидетельствующие о высокой частоте нарушений в пищевом рационе работающего населения, могут быть связаны с крайне низким уровнем информированности участников исследования о принципах здорового питания (94,7%), а также о возможном влиянии пищевого фактора на развитие хронических (алиментарно-зависимых) заболеваний (74,8%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для рабочих в большей степени характерен 3–4-разовый режим питания, а также сбалансированные по белкам, жирам и углеводам завтраки, обеды и ужины. В суточном рационе мужчин статистически значимо превалирует потребление насыщенных жиров в группе рабочих, сахара и клетчатки — в группе служащих. При этом среди мужчин свободный сахар в суточном рационе преобладает у служащих по сравнению с рабочими. Суточное потребление энергии у мужчин статистически значимо выше, чем у женщин, и в группе рабочих, и в группе служащих.

Установлено, что при выборе блюд основная часть респондентов руководствуется пищевыми привычками, не ориентируясь на пользу для здоровья: рабочие статистически значимо чаще, чем служащие. Одной из причин этого факта может быть недостаточная информированность о принципах здорового питания, рекомендованных кардиоваскулярным обществом.

Среди мужчин распространённость ожирения и артериальной гипертензии (маркеры сердечно-сосудистого риска) статистически значимо превалирует в группе служащих; среди женщин распространённость этих заболеваний сопоставима в группах рабочих и служащих.

Полученная оценка пищевого статуса работающего населения с учётом пола и КФА, а также установленная низкая информированность населения о принципах здорового питания должны учитываться при разработке профилактических мероприятий, корпоративных и просветительских программ о здоровом питании, направленных на сохранение здоровья, качества жизни и профессионального трудового долголетия работающих.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Заикина И.В. — написание текста; Комлева Н.Е. — написание текста, редактирование; Мазиллов С.И. — написание текста, редактирование; Поздняков М.В. — статистическая обработка данных; Долич В.Н. — сбор и обработка материала; Райкова С.В. — сбор и обработка материала. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (протокол № 3 от 01.02.2022).

Согласие на публикацию. Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член

редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: I.V. Zaikina: writing—original draft; N.E. Komleva, S.I. Mazilov: writing—original draft, writing—review & editing; M.V. Pozdnyakov: formal analysis; V.N. Dolich, S.V. Raikova: investigation. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The study was approved by the local Ethics Committee Saratov Institute of Hygiene, Federal Research Center for Medical and Preventive Technologies for Public Health Risk Management (No. 3 dated February 1, 2022).

Consent for publication: All participants provided written informed consent prior to inclusion in the study.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer-review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Litvinova OS. Hygienic assessment of nutrition structure of population of the Russian Federation. *Public Health and Life Environment*. 2016;(5):11–14. EDN: VXLDTW
- Zhernakova JuV, Zheleznova EA, Chazova IE, et al. Possibilities of blood pressure and metabolic disorders correction by using diet programs in patients with overweight and obesity. *Systemic Hypertension*. 2019;16(2):54–60. doi: 10.26442/2075082X.2019.2.190354 EDN: KOLUFB
- Tramontt CR, Mouti S, Lima Do Vale M, et al. Do markers of adiposity and glycaemia mediate the association between low carbohydrate diet and cardiovascular risk factors: findings from the UK National Diet and Nutrition Survey (NDNS) 2008–2016. *BMJ Nutr Prev Health*. 2023;6(2):153–163. doi: 10.1136/bmjnp-2022-000551
- Schwingshackl L, Bogensberger B, Hoffmann G. Diet quality as assessed by the healthy eating index, alternate healthy eating index, dietary approaches to stop hypertension score, and health outcomes: an updated systematic review and meta-analysis of cohort studies. *J Acad Nutr Diet*. 2018;118(1):74–100. doi: 10.1016/j.jand.2017.08.024
- Bogdanova OG. Socio-economic damage caused by nutritionally-dependent diseases of the population. *Hygiene and Sanitation*. 2023;102(12):1354–1360. doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-12-1354-1360 EDN: BJBRUX
- Zhong VW, Van Horn L, Greenland P, et al. Associations of processed meat, unprocessed red meat, poultry, or fish intake with incident cardiovascular disease and all-cause mortality. *JAMA Intern Med*. 2020;180(4):503–512. doi: 10.1001/jamainternmed.2019.6969
- Miller V, Mente A, Dehghan M, et al. Fruit, vegetable, and legume intake, and cardiovascular disease and deaths in 18 countries (PURE): a prospective cohort study. *Lancet*. 2017;390(10107):2037–2049. doi: 10.1016/S0140-6736(17)32253-5
- Khan TA, Tayyiba M, Agarwal A, et al. Relation of total sugars, sucrose, fructose, and added sugars with the risk of cardiovascular disease: a systematic review and dose-response. *Mayo Clin Proc*. 2019;94(12):2399–2414. doi: 10.1016/j.mayocp.2019.05.034
- Kalinina AM, Shalnova SA, Gambaryan MG, et al. *Epidemiological methods for detecting major chronic non-communicable diseases and risk factors in mass population surveys. Methodical manual*. Moscow; 2015. 96 p. (In Russ.) EDN: TOXRNF
- Zaikina IV, Komleva NE, Mikerov AN, et al. Importance of actual nutrition in the prevention of non-infectious diseases. *Medical News of North Caucasus*. 2021;16(2):227–232. doi: 10.14300/Mnnc.2021.16053 EDN: DBNZRG
- Clemente-Suárez VJ, Peris-Ramos HC, Redondo-Flórez L, et al. Personalizing nutrition strategies: bridging research and public health. *J Pers Med*. 2024;14(3):305. doi: 10.3390/jpm14030305
- Kolotusha AV. Riddle of fat overuse by more educated people in Russia: professional and gender aspects. public administration. *E-Journal Public Administration*. 2021;(89):79–93. doi: 10.24412/2070-1381-2021-89-79-93 EDN: ZIJUPP
- Ronda-Pérez E, Campos-Mora J, de Juan A, et al. Differences in the prevalence of fruit and vegetable consumption in Spanish workers. *Nutrients*. 2020;12(12):3848. doi: 10.3390/nu12123848
- Methodological recommendations MR 2.3.1.0253-21 "Norms of physiological energy and nutritional requirements for various groups of the population of the Russian Federation" (approved by the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare on July 22, 2021). Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/?ysclid=m1uutj0y7b826105317> (In Russ.)
- Martinchik AN, Baturin AK. *Album of food and dish portions*. Moscow: Krasny Proletariy; 1995. 65 p. (In Russ.)

16. Kobelkova IV, Martinchik AN, Kudryavtseva KV, Baturin AK. Diet pattern and health of working people. *Problems of Nutrition*. 2017;86(5):17–21. (In Russ.) EDN: ZWAWFP
17. Sazonova OV, Gorbachev DO, Nurdina MS, et al. Hygienic characteristics of actual nutrition of the working population Samara region. *Problems of Nutrition*. 2018;87(4):32–38. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10039 EDN: XVQYMH
18. Drapkina OM, Kontsevaya AV, Kalinina AM, et al. 2022 prevention of chronic non-communicable diseases in the Russian Federation. National guidelines. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2022;21(4):5–232. doi: 10.15829/1728-8800-2022-3235 EDN: DNBVAT
19. Bessonov VV, Zaytseva LV. Trans isomers of fatty acids: health risks and ways to reduce consumption. *Problems of Nutrition*. 2016;85(3):6–17. doi: 10.24411/0042-8833-2016-00030 EDN: WFGAYR
20. Chubarova AD, Turchaninova MS, Gogadze NV, et al. Hygienic assessment of the consumption of trans fatty acids by the population of the Omsk region. *Fundamental and Clinical Medicine*. 2023;8(4):65–72. doi: 10.23946/2500-0764-2023-8-4-65-72 EDN: CJB TBU
21. Musabirov DE, Nazarova LSH, Allayarova GR, et al. Evaluation of the nature of the diet of the male population employed in mining and processing industry. *Occupational Medicine and Human Ecology*. 2021;(3):132–142. doi: 10.24411/2411-3794-2021-10310 EDN: BIJZRS
22. Gorbachev DO. Hygienic assessment of risks to health of the working-age population due to nutrition. *Public Health and Life Environment*. 2019;(9):33–39. doi: 10.35627/2219-5238/2019-318-9-33-39 EDN: BGXKXO
23. Zelenkovskaya EE, Afon'kina SR, Daukaev RA, et al. Assessment of the nutritional status and actual nutrition of workers at the Neftekamsk Automobile Plant. In: *Proceedings of the Russian science conference "Developing centuries-old traditions, providing a "Sanitary shield" of the country"*. Mytishchi; 2022. P. 291–294. (In Russ.) EDN: XUBWMT
24. Ferrari L, Panaite SA, Bertazzo A, Visioli F. Animal- and plant-based protein sources: a scoping review of human health outcomes and environmental impact. *Nutrients*. 2022;14(23):5115. doi: 10.3390/nu14235115
25. Laguzzi F, Åkesson A, Marklund M, et al. Role of polyunsaturated fat in modifying cardiovascular risk associated with family history of cardiovascular disease: pooled de novo results from 15 observational studies. *Circulation*. 2024;149(4):305–316. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.123.065530
26. Xie Y, Gou L, Peng M, et al. Effects of soluble fiber supplementation on glycemic control in adults with type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Nutr*. 2021;40(4):1800–1810. doi: 10.1016/j.clnu.2020.10.032
27. Reynolds A, Mann J, Cummings J, et al. Carbohydrate quality and human health: a series of systematic reviews and meta-analyses. *Lancet*. 2019;393(10170):434–445. doi: 10.1016/S0140-6736(18)31809-9
28. Hooper L, Martin N, Jimoh OF, et al. Reduction in saturated fat intake for cardiovascular disease. *Cochrane Database Syst Rev*. 2020;8(8):CD011737. doi: 10.1002/14651858.CD011737.pub3

ОБ АВТОРАХ

***Заикина Инна Викторовна**, канд. мед. наук;

Адрес: Россия, 410022, Саратов, ул. Заречная, д. 1а, стр. 1;

ORCID: 0000-0003-4234-7056;

eLibrary SPIN: 9644-0101;

e-mail: innaza2@mail.ru

Комлева Наталия Евгеньевна, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0003-4099-9368;

eLibrary SPIN: 7145-3073;

e-mail: NEKomleva@yandex.ru

Мазиллов Святослав Игоревич, канд. биол. наук;

ORCID: 0000-0002-8220-145X;

eLibrary SPIN: 2048-0643;

e-mail: smazilov@yandex.ru

Поздняков Михаил Валерьевич, канд. физ.-мат. наук;

ORCID: 0000-0002-2067-3830;

eLibrary SPIN: 6726-4542;

e-mail: mpozdneyakov@yandex.ru

Долич Владимир Николаевич;

ORCID: 0000-0002-8980-5117;

eLibrary SPIN: 4085-7055;

e-mail: vndolich@mail.ru

Райкова Светлана Владимировна, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0001-5749-2382;

eLibrary SPIN: 1286-5149;

e-mail: matiz853@yandex.ru

AUTHORS' INFO

***Inna V. Zaikina**, MD, Cand. Sci. (Medicine);

address: 1a Zarechnaya st, bldg 1, Saratov, Russia, 1410022;

ORCID: 0000-0003-4234-7056;

eLibrary SPIN: 9644-0101;

e-mail: innaza2@mail.ru

Natiliia E. Komleva, MD, Dr. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-4099-9368;

eLibrary SPIN: 7145-3073;

e-mail: NEKomleva@yandex.ru

Svyatoslav I Mazilov, Cand. Sci. (Biology);

ORCID: 0000-0002-8220-145X;

eLibrary SPIN: 2048-0643;

e-mail: smazilov@yandex.ru

Michail V. Pozdneyakov, Cand. Sci. (Physics and Mathematics);

ORCID: 0000-0002-2067-3830;

eLibrary SPIN: 6726-4542;

e-mail: mpozdneyakov@yandex.ru

Vladimir N. Dolich;

ORCID: 0000-0002-8980-5117;

eLibrary SPIN: 4085-7055;

e-mail: vndolich@mail.ru

Svetlana V. Raikova, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0001-5749-2382;

eLibrary SPIN: 1286-5149;

e-mail: matiz853@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Адренорецепторные механизмы функционального симпатолизиса в регуляции регионального кровотока на эпинефрин на фоне 5-дневной холодовой адаптации

В.Н. Ананьев¹, Г.В. Ананьев², В.И. Торшин³, О.В. Ананьева⁴

¹ Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Россия;

² АО «ФАРМСТАНДАРТ», Россия;

³ Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия;

⁴ Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. При сокращении мышц в них увеличивается кровоток в десятки раз благодаря механизмам симпатолизиса. Однако отсутствуют исследования, которые бы количественно описывали влияние эпинефрина на альфа-адренорецепторы артерий при симпатолизисе на фоне 5-дневной холодовой адаптации.

Цель. Исследовать влияние 5-дневной холодовой адаптации на адренореактивность артериальных сосудов мышц при симпатолизисе на разные дозы эпинефрина.

Материалы и методы. Исследование проведено в четырёх группах кроликов: контрольная группа (N1, $n=20$); группа симпатолизиса (N2, $n=15$) с электростимуляцией мышц (частота 5 Гц, напряжение 10 В, $L=5$ мс) для индукции симпатолизиса; группа холодовой адаптации (N3, $n=15$) после 5-дневной экспозиции в климатической камере (-10 °C, 6 ч/сут); группа кроликов с сочетанием пяти дней холодовой адаптации и индукции симпатолизиса (N4, $n=15$). У всех кроликов через бедренную артерию после перевязки всех анастомозов насосом постоянного расхода перфузировали кровью артерии мышц конечности. После введения восьми доз эпинефрина (0,5–30 мкг/кг) по реакции «доза–эффект» анализировали адренореактивность артерий конечности в двойных обратных координатах Лайниувера–Берка. Это позволило определить количество активных адренорецепторов (R_m) и их чувствительность ($1/K_m$) к эпинефрину.

Результаты. Симпатолизис после пяти дней холодовой адаптации (N4) был на все дозы эпинефрина намного меньше, чем без холода (N2), что доказывало уменьшение кровотока в работающих мышцах при симпатолизисе на фоне холода. Анализ этого механизма в двойных обратных координатах Лайниувера–Берка выявил при симпатолизисе после холода увеличение количества активных альфа-адренорецепторов (в 1,407 раза или на 40,7%) до $R_m=312,5$ мм рт. ст. по сравнению с $R_m=222$ мм рт. ст. при симпатолизисе без холода. Одновременно после холода (N4) при симпатолизисе увеличилась чувствительность ($1/K_m$) в 1,632 раза (на 63,2%) альфа-адренорецепторов к эпинефрину до $1/K_m=0,08$ по сравнению с величиной $1/K_m=0,049$ при симпатолизисе без холода (N2). Полная нивелировка симпатолизиса после холода при 30 мкг/кг эпинефрина подтверждает критическую роль дозозависимой фармакокинетики регуляции тонуса артерий в условиях холодового стресса.

Заключение. Полученные данные позволяют сделать следующее заключение: симпатолизис на фоне пяти дней холода сохраняется, но в меньшей степени, чем симпатолизис без холода. Усиление адренергической вазоконстрикции после пяти дней холода оптимизирует теплосбережение, но снижает кровоток в работающих мышцах, что лимитирует физическую работоспособность. Обнаруженные механизмы объясняют феномен ранней холодовой астении у лиц с краткосрочной арктической экспозицией, характеризующейся снижением толерантности к физическим нагрузкам при сохранении базового гемодинамического гомеостаза.

Ключевые слова: кролики; 5-дневная холодовая адаптация; эпинефрин; адренорецепторы артерий; симпатолизис; электростимуляция мышц.

Как цитировать:

Ананьев В.Н., Ананьев Г.В., Торшин В.И., Ананьева О.В. Адренорецепторные механизмы функционального симпатолизиса в регуляции регионального кровотока на эпинефрин на фоне 5-дневной холодовой адаптации // Экология человека. 2025. Т. 32, № 1. С. 64–73. DOI: 10.17816/humeco678047
EDN: IQWLOU

Adrenergic Receptor Mechanisms of Functional Sympatholysis in the Regulation of Regional Blood Flow in Response to Epinephrine After 5-Day Cold Acclimation

Vladimir N. Ananov¹, Georgy V. Ananov², Vladimir I. Torshin³, Olga V. Ananova⁴

¹ Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

² Pharmstandard JSC, Moscow, Russia;

³ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia;

⁴ Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Muscle contraction is accompanied by an increase in blood flow by several tens of times due to the mechanisms of sympatholysis. However, no studies have quantitatively described the effect of epinephrine on arterial alpha-adrenergic receptors during sympatholysis under conditions of 5-day cold acclimation.

AIM: To investigate the impact of 5-day cold acclimation on the adrenoactivity of arterial vessels in muscles during sympatholysis in response to various doses of epinephrine.

METHODS: The study involved four groups of rabbits: a control group (N1, $n=20$); a sympatholysis group (N2, $n=15$) with electrical muscle stimulation (5 Hz, 10 V, $L=5$ ms) to induce sympatholysis; a cold acclimation group (N3, $n=15$) exposed for five days in a climate chamber (-10 °C, 6 h/day); and a group of rabbits subjected to a combination of 5-day cold acclimation and sympatholysis (N4, $n=15$). In all animals, after ligation of all anastomoses, arterial blood was perfused into the limb muscles through the femoral artery using a constant-flow pump. Following administration of eight doses of epinephrine (0.5–30 $\mu\text{g/kg}$), adrenoactivity of the limb arteries was assessed based on dose–response analysis in Lineweaver–Burk double reciprocal coordinates. This allowed determination of the number of active adrenergic receptors (P_m) and their sensitivity ($1/K_m$) to epinephrine.

RESULTS: Sympatholysis after 5-day cold acclimation (N4) was markedly lower at all doses of epinephrine than under non-cold conditions (N2), which indicated a reduction in blood flow in working muscles during sympatholysis in the context of cold exposure. Analysis in Lineweaver–Burk double reciprocal coordinates revealed that, during sympatholysis after cold exposure, the number of active alpha-adrenergic receptors increased 1.407-fold (by 40.7%) to $P_m=312.5$ mmHg, compared to $P_m=222$ mmHg during sympatholysis without cold exposure. Simultaneously, after cold exposure (N4), the sensitivity ($1/K_m$) of alpha-adrenergic receptors to epinephrine during sympatholysis increased 1.632-fold (by 63.2%) to $1/K_m=0.08$, compared to $1/K_m=0.049$ during sympatholysis without cold exposure (N2). Complete attenuation of sympatholysis at 30 $\mu\text{g/kg}$ epinephrine after cold acclimation confirmed the critical role of dose-dependent pharmacokinetics in arterial tone regulation under cold stress.

CONCLUSION: Based on the obtained data, it can be concluded that sympatholysis is preserved after five days of cold exposure, but occurs to a lesser extent than without cold exposure. The enhanced adrenergic vasoconstriction after five days of cold exposure improves heat conservation but compromises blood flow in working muscles, thereby limiting physical performance. These mechanisms may underlie the phenomenon of “early cold asthenia” in individuals with short-term Arctic exposure, characterized by reduced physical exercise tolerance despite preserved basal hemodynamic homeostasis.

Keywords: rabbits; 5-day cold acclimation; epinephrine; arterial adrenergic receptors; sympatholysis; electrical muscle stimulation.

To cite this article:

Ananov VN, Ananov GV, Torshin VI, Ananova OV. Adrenergic receptor mechanisms of functional sympatholysis in the regulation of regional blood flow in response to epinephrine after 5-day cold acclimation. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(1):64–73. DOI: 10.17816/humeco678047

EDN: IQWL0U

Received: 02.04.2025

Accepted: 22.04.2025

Published online: 02.06.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco678047>

EDN: IQWL0U

5天寒冷适应条件下肾上腺素对区域血流调节中功能性交感抑制的肾上腺素能机制

Vladimir N. Ananov¹, Georgy V. Ananov², Vladimir I. Torshin³, Olga V. Ananova⁴¹ Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;² Pharmstandard JSC, Moscow, Russia;³ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia;⁴ Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

ABSTRACT

论证。在肌肉收缩过程中，血流量可通过交感神经抑制机制增加数十倍。然而，尚无研究定量描述在5天寒冷适应背景下，肾上腺素对交感抑制状态下动脉 α -肾上腺素能受体的影响。目的。研究5天寒冷适应对交感抑制状态下骨骼肌动脉对不同剂量肾上腺素的肾上腺素能反应性的影响。

材料与方法。本研究在四组兔中开展：对照组（N1， $n=20$ ）；交感抑制组（N2， $n=15$ ），通过电刺激肌肉（频率5 Hz、电压10 V、脉宽5 ms）诱导交感神经抑制；寒冷适应组（N3， $n=15$ ），在气候舱中进行5天寒冷适应（ -10°C ，每天6小时）；接受5天寒冷适应并诱导交感抑制的兔组（N4， $n=15$ ）。所有兔结扎各吻合支后，通过股动脉以恒流泵灌注肢体肌肉动脉。注射8个剂量梯度的肾上腺素（ $0.5 - 30 \mu\text{g/kg}$ ）后，根据“剂量-效应”关系，在Lineweaver - Burk双倒数坐标中分析肢体动脉的肾上腺素能反应性。该方法可用于确定活性肾上腺素能受体数量（ P_m ）及其对肾上腺素的敏感性（ $1/K_m$ ）。

结果。与单纯交感抑制组（N2）相比，寒冷适应后的交感抑制组（N4）在所有剂量水平下的交感抑制显著减弱，表明寒冷背景下工作肌群血流减少。在Lineweaver - Burk双倒数坐标图中对该机制的分析显示，在寒冷适应后的交感抑制状态下，活性 α -肾上腺素能受体的数量增加了1.407倍（即增加了40.7%），达到 $P_m = 312.5 \text{ mmHg}$ ，而在未经过寒冷适应的交感抑制状态下，该值为 $P_m = 222 \text{ mmHg}$ 。同时，在寒冷适应后的交感抑制状态下（N4）， α -肾上腺素能受体对肾上腺素的敏感性（ $1/K_m$ ）增加了1.632倍（即上升了63.2%），达到 $1/K_m = 0.08$ ，而在未经过寒冷适应的交感抑制状态下（N2），该值为 $1/K_m = 0.049$ 。注射 $30 \mu\text{g/kg}$ 肾上腺素后，寒冷适应组的交感抑制作用被完全抵消，这证实了在寒冷应激条件下，剂量依赖性的药代动力学在动脉张力调节中具有关键作用。

结论。根据所得数据可得出如下结论：在经历5天寒冷适应后，交感抑制作用依然存在，但程度低于无寒冷适应时。5天寒冷适应后肾上腺素能血管收缩增强，有助于优化热量保存，但也减少了工作肌肉的血流，从而限制了机体的运动能力。上述机制解释了在短期极地暴露个体中出现的“早期寒冷虚弱”现象，其特征是在保持基础血流动力学稳态的同时，机体对体力活动的耐受性下降。

关键词：兔；5天寒冷适应；肾上腺素；动脉肾上腺素能受体；交感抑制；肌肉电刺激。

To cite this article:

Ananov VN, Ananov GV, Torshin VI, Ananova OV. 5天寒冷适应条件下肾上腺素对区域血流调节中功能性交感抑制的肾上腺素能机制. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(1):64–73. DOI: 10.17816/humeco678047 EDN: IQWL0U

收到: 02.04.2025

接受: 22.04.2025

发布日期: 02.06.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Проблема кратковременной адаптации человека к условиям Европейского Севера, несмотря на значительное число проведённых исследований, сохраняет актуальность. Особенно важными являются исследования тех групп населения, чья деятельность связана с физической нагрузкой в условиях холода (вахтовые работники, спортсмены).

Состояние физического здоровья человека определяется его способностью выполнять физическую работу в различных условиях внешней среды [1–4]. Главным механизмом, обеспечивающим эффективное выполнение мышечной деятельности, является увеличение сердечного выброса, артериального давления, увеличение перфузии жизненно важных органов при локальной вазодилатации активно работающих мышц (функциональный симпатоллизис) [5, 6]. Локальную вазодилатацию вызывают вещества, высвобождаемые из скелетных мышц, эндотелия сосудов и эритроцитов, а остальные феномены — активацией симпатической нервной системы и модуляцией активности α 1-адренорецепторов, что подчёркивает роль катехоламинов (норадреналина и адреналина) как ключевых медиаторов симпатической регуляции [5–7].

На Севере человек адаптируется прежде всего к холоду, сужение периферических сосудов является адекватной реакцией на воздействие низких температур. Известно, что даже кратковременное воздействие холода индуцирует значительное повышение уровня катехоламинов в плазме крови [8]. Исследования адаптации к холоду демонстрируют вариабельность методологических подходов: от краткосрочных лабораторных экспозиций (1–5 воздействий в течение 1 дня) до многолетнего естественного воздействия в условиях арктического климата [9–11]. Например, при ежедневных погружениях в холодную воду (14 °С, 120 мин) в течение пяти дней у испытуемых наблюдалось снижение кожной температурной реакции на холод, по сравнению с контрольной группой [11]. Привыкание к холоду характеризуется быстрым снижением рефлекторных болевых ощущений и холодового дискомфорта, что отмечается уже после 1–2 экспозиций [12–14]. Тогда как физиологические адаптационные изменения (снижение вазоконстрикторных реакций, задержка возникновения дрожи) развиваются в течение 3–11 повторных воздействий [15–19]. Интересно, что метаболические сдвиги, включая переход от дрожи к недрожательному термогенезу, наблюдаются после 3–6-го погружения, что может свидетельствовать о пороговом характере адаптационных процессов [14, 20–24].

Однако системные ограничения сердечного выброса обуславливают необходимость селективного перераспределения кровотока, преимущественно в критически задействованные мышечные группы [25]. Функциональный симпатоллизис, или рабочая мышечная гиперемия,

обеспечивает увеличение перфузии активных мышц с 2–8 мл/мин/100 г в покое до более 100 мл/мин/100 г при нагрузке [6, 26]. Современные данные свидетельствуют о сохранении эффектов функционального симпатоллизиса в течение 10 мин после прекращения физической нагрузки, что имеет потенциальное значение для регуляции артериального давления в постнагрузочном периоде [27].

В контексте холодовой адаптации особый интерес представляет роль симпатической нервной системы и её медиаторов. Установлена прямая корреляция между интенсивностью холодового воздействия и повышением концентрации норэпинефрина и эпинефрина в крови [8]. Однако остаются неисследованными вопросы динамики адренореактивности сосудов на фоне краткосрочной холодовой адаптации. Существующие работы преимущественно фокусируются на длительной адаптации (месяцы/годы), тогда как актуальность изучения кратковременных адаптационных периодов (5–7 дней) обусловлена их частотой в повседневной жизни (спортивные мероприятия, профессиональная деятельность, туризм).

Цель исследования. Изучить влияние 5-суточной холодовой адаптации на адренореактивность артериальных сосудов мышц к эпинефрину при функциональном симпатоллизисе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Опыты по мышечной гиперемии при электростимуляции мышц у кроликов при регистрации перфузионным насосом функциональной активности адренорецепторов проводилось с 2012 года по 2020 г. Экспериментальные исследования выполнены на кроликах-самцах ($n=65$) массой 2,5–3,5 кг. Животные содержались в виварии в стандартных условиях (температура $22\pm 1^\circ\text{C}$, 12-часовой световой цикл) с обеспечением свободного доступа к воде и корму. Для индукции наркоза использовали внутривенное введение гексенала (30 мг/кг). Антикоагулянтную терапию обеспечивали гепарином (1000 МЕ/кг, в/в). После наркоза выполнена канюлизация бедренной артерии с последующей перевязкой коллатеральных анастомозов для изоляции перфузионного бассейна. Перфузию артерий скелетных мышц конечности осуществляли через бедренную артерию насосом постоянного расхода 6–8 мл/мин (модель ПН-2) с установкой начального перфузионного давления на уровне 110–115 мм рт. ст. Эпинефрин вводили в бедренную артерию конечности перед насосом в следующих дозах: 0,5; 1,0; 2; 5; 10; 15; 20 и 30 мкг на 1 кг веса животного.

Животные рандомизированы в 4 группы: контрольная группа (N_1 , $n=20$) — интактные животные без вмешательства; группа симпатоллизиса (N_2 , $n=15$) — с электростимуляцией мышц (частота 5 Гц, напряжение 10 В, длительность импульса 5 мс) для индукции

функционального симпатолизиса (функциональной рабочей гиперемии); группа холодовой адаптации (N3, $n=15$) — 5-дневная экспозиция в климатической камере (-10°C , 6 ч/сут); комбинированная группа (N4, $n=15$) — сочетание холодовой адаптации и электростимуляции.

Адренореактивность оценивали методом дозозависимого введения эpineфрина (Sigma-Aldrich) в бедренную артерию перед насосом в восьми возрастающих дозах (0,5–30 мкг/кг). Изменение перфузионного давления регистрировали на выходе насоса датчиком MPX5100DP (Motorola) и записывали на компьютер с параллельной записью на самописец TZ4620 (Line Recorder).

Дозозависимые кривые анализировали в двойных обратных координатах (1/D, 1/Pm) Лайниувера–Берка [28–31], где Pm (максимальный прессорный ответ, пропорциональный количеству активных адренорецепторов) — обратная величина отрезка на оси ординат; чувствительность адренорецепторов (1/Km) — отрезок на оси абсцисс, откуда Km (константа Михаэлиса) — доза, вызывающая 50% эффект от Pm. Линейная регрессия выполнена методом наименьших квадратов. Величина фармакологического эффекта была прямо пропорциональна концентрации комплексов «лекарственное вещество–рецептор». Максимальный эффект происходит при оккупации 100% адренорецепторов [30].

Статистическую обработку распределения проверяли критериями Шапиро–Уилка ($p > 0,1$) и Колмогорова–Смирнова ($p > 0,15$). Межгрупповые сравнения оценивали парным t -критерием Стьюдента. Данные представлены как $M \pm m$. Данные считались достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнительный анализ адренореактивности артерий скелетных мышц в контрольной группе (N1, $n=20$) выявил статистически значимое различие ($p < 0,01$) снижения прессорного действия всех восьми доз эpineфрина на артерии конечности при симпатоллизисе (N2, $n=15$; табл. 1, рис. 1). При анализе результатов по Лайниувера–Берку максимальный прессорный ответ (Pm) в обеих группах оставался одинаковым: $222,0 \pm 6,7$ мм рт. ст. (в группе N1) и $222,0 \pm 7,5$ мм рт. ст. (в группе N2); $p < 0,05$. Однако параметр чувствительности α -адренорецепторов (1/Km) при симпатоллизисе продемонстрировал 24,3-кратное снижение: с $1,2 \pm 0,04$ (в N1) до $0,049 \pm 0,0016$ (в N2), что подтверждено анализом дозозависимых кривых в координатах Лайниувера–Берка (рис. 2) и характеризовалось конкурентным типом ингибирования реакции «медиатор–рецептор».

Пятисуточная (5-ДХА) холодовая адаптация (N3, $n=15$) усилила вазоконстрикторный ответ на эpineфрин во всём диапазоне доз (1,0–30 мкг/кг), за исключением минимальной дозировки (0,5 мкг/кг), где различия с контрольной группой (N1) не достигли статистической значимости ($p > 0,05$). В комбинированной группе (N4, $n=15$) сочетание (5-ДХА) и симпатоллизиса привело к достоверному ($p < 0,05$) усилению адренергического ответа по сравнению с группой N2, что свидетельствует о нивелирующем влиянии холодовой экспозиции на механизмы функциональной гиперемии. Полученные данные позволяют заключить следующее: физиологический симпатоллизис реализуется через модуляцию чувствительности

Таблица 1. Активность α -адренорецепторов артерий конечности кролика на 8 доз эpineфрина в четырёх сериях опытов, мм рт. ст. ($M \pm m$)

Table 1. Activity of α -adrenergic receptors in limb arteries of a rabbit in response to 8 doses of epinephrine across four experimental series, mm Hg ($M \pm m$)

Серия Series	Группа Group	Доза, мкг/кг Dose, $\mu\text{g/kg}$							
		0,5	1,0	2,0	5,0	10	15	20	30
N1	Контроль (N1) Control (N1) (M1 $\pm$ m1)	83 $\pm$ 2,1	121 $\pm$ 1,7	157 $\pm$ 3,5	191 $\pm$ 4,2	205 $\pm$ 4,6	211 $\pm$ 5,1	213 $\pm$ 4,2	216 $\pm$ 4,5
N2	Симпатоллиз Sympatholysis (M2 $\pm$ m2)	5,0 $\pm$ 0,2*	10,5 $\pm$ 0,24*	20 $\pm$ 0,31*	44 $\pm$ 1,12*	74 $\pm$ 2,39*	95 $\pm$ 2,9*	110 $\pm$ 1,69*	133 $\pm$ 2,95*
N3	Холод 5 дней 5-day cold exposure (M3 $\pm$ m3)	84 $\pm$ 1,2	131 $\pm$ 1,7*	181 $\pm$ 1,5*	235 $\pm$ 2*	261 $\pm$ 2,4*	271 $\pm$ 2*	277 $\pm$ 1,2*	282 $\pm$ 2,5*
N4	Холод 5 дней и симпатоллиз 5-day cold exposure + sympatholysis (M4 $\pm$ m4)	11 $\pm$ 0,19* ^{#5}	22 $\pm$ 0,29* ^{#5}	42 $\pm$ 0,7* ^{#5}	88 $\pm$ 1,6* ^{#5}	138 $\pm$ 2,4* ^{#5}	169 $\pm$ 2,9* ^{#5}	191 $\pm$ 1,8* ^{#5}	220 $\pm$ 3* ^{#5}

Примечание. N1 — контрольная группа (20 кроликов), N2 — симпатоллизис (15 кроликов), N3 — 5 дней холодовой адаптации (15 кроликов), N4 — симпатоллизис на фоне 5 дней холодовой адаптации (15 кроликов); * $p < 0,01$ — изменения достоверны к группе N1, [#] $p < 0,01$ — изменения достоверны к группе N3; ⁵ $p < 0,05$ — изменения достоверны к группе N2.

Note: N1, control group (20 rabbits); N2, sympatholysis (15 rabbits); N3, 5-day cold acclimation (15 rabbits); N4, sympatholysis after 5-day cold acclimation (15 rabbits). * $p < 0,01$, significant changes compared with N1; [#] $p < 0,01$, significant changes compared with N3; ⁵ $p < 0,05$, significant changes compared with N2.

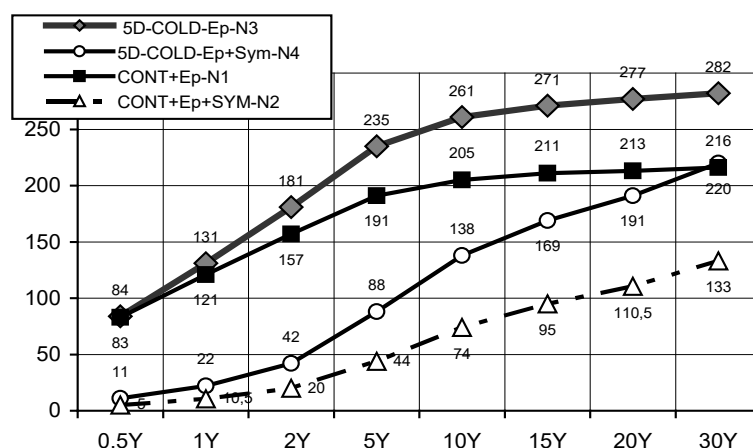


Рис. 1. Увеличение перфузионного давления в бедренной артерии в четырёх группах кроликов на 8 доз эпинефрина: в контрольной группе (N1), при симпатоллизе (N2), после 5 дней холодовой адаптации (N3), после 5 дней холодовой адаптации при симпатоллизе (N4). Ось абсцисс: доза эпинефрина в мкг/кг (Y); ось ординат: увеличение перфузионного давления (мм рт. ст.). Все различия величин опытов при симпатоллизе (N2) и контроле (N1) достоверны ($p < 0,01$). Все различия величин опытов при симпатоллизе на фоне 5 дней холода (N4) и после 5 дней холода (N3) достоверны ($p < 0,01$). Данные опытов при симпатоллизе на фоне 5 дней холода (N4) и симпатоллизе (N2) достоверны ($p < 0,05$). Реакции эпинефрина на дозу 0,5 мкг/кг в группах N3 и N1 недостоверны ($p > 0,05$). Реакции эпинефрина на дозу 30 мкг/кг в группах N4 и N1 недостоверны ($p > 0,05$).

Fig. 1. Increase in perfusion pressure in the femoral artery across four rabbit groups in response to eight doses of epinephrine: control group (N1), sympatholysis (N2), after 5-day cold acclimation (N3), and sympatholysis after 5-day cold acclimation (N4). X-axis: epinephrine dose ($\mu\text{g}/\text{kg}$); Y-axis: increase in perfusion pressure (mmHg). All differences between the sympatholysis group (N2) and the control group (N1) were statistically significant ($p < 0.01$). All differences between the group with sympatholysis after 5-day cold exposure (N4) and the 5-day cold exposure group (N3) were statistically significant ($p < 0.01$). Experimental data for the group with sympatholysis after 5-day cold exposure (N4) and the sympatholysis group (N2) were statistically significant ($p < 0.05$). The epinephrine response at 0.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ in groups N3 and N1 was not statistically significant ($p > 0.05$). The epinephrine response at 30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ in groups N4 and N1 was not statistically significant ($p > 0.05$).

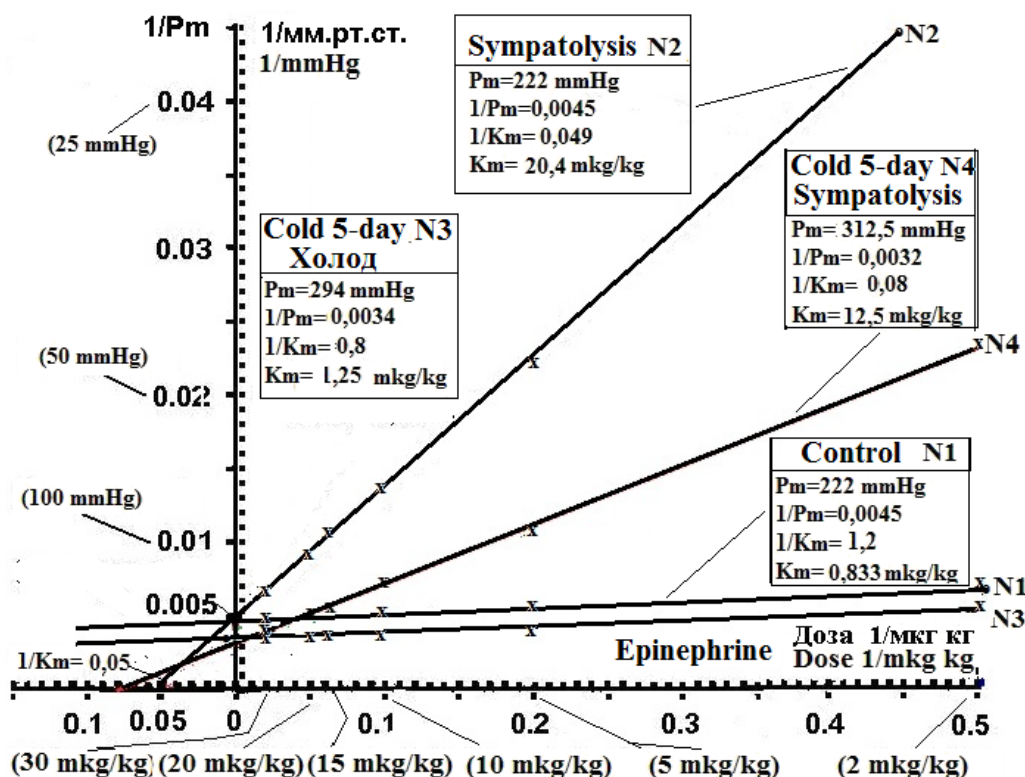


Рис. 2. Увеличение перфузионного давления в бедренной артерии в четырёх группах кроликов на 8 доз эпинефрина: в контрольной группе (N1), при симпатоллизе (N2), после 5 дней холодовой адаптации (N3), после 5 дней холодовой адаптации при симпатоллизе (N4) в двойных обратных координатах Лайнивера–Берка. Ось абсцисс: доза эпинефрина в обратной величине 1/(мкг/кг). Ось ординат: перфузионное давление в обратной величине 1/(мм рт. ст.).

Fig. 2. Increase in perfusion pressure in the femoral artery across four rabbit groups in response to eight doses of epinephrine: control group (N1), sympatholysis (N2), after 5-day cold acclimation (N3), and sympatholysis after 5-day cold acclimation (N4), shown in double reciprocal Lineweaver–Burk coordinates. X-axis: inverse dose of epinephrine, 1/ $\mu\text{g}/\text{kg}$. Y-axis: inverse perfusion pressure, 1/(mm Hg).

α -адренорецепторов без изменения их количества, краткосрочная холодовая адаптация (5 дней) потенцирует адренергическую вазоконстрикцию, ограничивая резервы рабочей гиперемии.

Введение эпинефрина в дозе 0,5 мкг/кг животным с 5-ДХА (N3) индуцировало повышение перфузионного давления на $84,0 \pm 1,2$ мм рт. ст. относительно исходного уровня. В комбинированной группе (N4) аналогичная доза вызвала увеличение давления лишь на $11,0 \pm 0,1$ мм рт. ст. ($p < 0,05$), что соответствует 7,64-кратному снижению вазоконстрикторного ответа после холода при индукции симпатолитизиса (см. рис. 1). При дозе 2 мкг/кг различие между группами сохранилось: $Pm = 181,0 \pm 1,5$ мм рт. ст. (N3) и $42,0 \pm 0,7$ мм рт. ст. (N4; $p < 0,05$), демонстрируя 4,31-кратное подавление реакции. Аналогичная тенденция наблюдалась в диапазоне доз 5–30 мкг/кг. Например, при максимальной дозе (30 мкг/кг) перфузионное давление в группе N3 достигло $282,0 \pm 2,5$ мм рт. ст., тогда как в N4 — $220,0 \pm 3,0$ мм рт. ст. ($p < 0,05$), что свидетельствует о 1,28-кратном снижении эффективности симпатолитизиса после холодовой адаптации (см. табл. 1, рис. 1).

Анализ кривых «доза–эффект» в координатах Лайнуивера–Берка выявил 15-кратное снижение чувствительности α -адренорецепторов ($1/Km = 0,08 \pm 0,003$) в группе N4 при симпатолитизисе после 5-ДХА по сравнению с контролем (N1, $1/Km = 1,2 \pm 0,04$; $p < 0,001$). Действие 5-дневной адаптации (N4) к холоду не изменило количество адренорецепторов при симпатолитизисе и без него. Это доказывают результаты опытов, где количество рецепторов (Pm) достоверно не изменилось: $Pm = 312,5 \pm 11,0$ мм рт. ст. (N4) при симпатолитизисе после холода и $Pm = 294,0 \pm 9,0$ мм рт. ст. после холода (N3; $p > 0,05$; см. рис. 2), что показано в координатах Лайнуивера–Берка и продемонстрировало конкурентный тип ингибирования реакции «медиатор–рецептор».

Краткосрочная холодовая адаптация потенцирует десенситизацию α -адренорецепторов ($1/Km$) в условиях функционального симпатолитизиса, преимущественно за счёт модуляции аффинности рецептор–лигандного взаимодействия ($1/Km$ чувствительности адренорецепторов).

Наблюдаемая дозозависимая динамика (7,64-кратное снижение ответа при 0,5 мкг/кг и 1,28-кратное — при 30 мкг/кг) указывает на конкурентный характер ингибирования, что согласуется с моделью частичного агонизма.

В ходе исследования, проведённого на кроликах после 5-дневной холодовой адаптации, было выявлено, что симпатолитизис, то есть увеличение кровотока в работающих мышцах (N4), происходит преимущественно за счёт снижения чувствительности ($1/Km$) альфа-адренорецепторов артериальных сосудов сокращающихся мышц. Однако 5-ДХА существенно снижает симпатолитизис (N4) по сравнению с группой животных, не подвергавшихся холодовой адаптации (N2).

Из полученных данных можно сделать вывод, что после пяти дней холодовой адаптации при работе

мышц будет наблюдаться значительно меньший кровоток, что не позволит выполнять физические нагрузки, особенно интенсивные, на уровне, сопоставимом с контролем.

Снижение резерва функциональной гиперемии (симпатолитизиса) после 5-ДХА может лимитировать толерантность к физическим нагрузкам *in vivo* за счёт нарушения перфузионно-метаболического баланса.

При увеличении дозы эпинефрина с 5 мкг/кг до 30 мкг/кг указанная закономерность сохранялась. После 5-дневной адаптации к холоду (N4) сужение артерий у кроликов при симпатолитизисе было менее выраженным, чем без симпатолитизиса (N3).

После 5-дневной адаптации к холоду при дозе эпинефрина 30 мкг/кг перфузионное давление повысилось (N3) на $282,0 \pm 2,5$ мм рт. ст., а при симпатолитизисе (N4) — на $220,0 \pm 3,0$ мм рт. ст., что в 1,28 раза меньше ($p < 0,05$).

Анализ прессорной реакции артерий на введение эпинефрина на фоне 5-дневной адаптации к холоду при симпатолитизисе (N4) выявил, что при низких дозах эпинефрина симпатолитизис значительно сильнее подавлял прессорную реакцию артерий по сравнению с высокими дозами. Если при введении низких доз эпинефрина (0,5 мкг/кг) прессорная реакция артерий снижалась в 7,64 раза, то при введении высокой дозы (30 мкг/кг) симпатолитизис вызывал лишь 1,28-кратное уменьшение сокращения артерий (см. табл. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ

Данное исследование впервые предоставляет количественную оценку изменений реактивности α -адренорецепторов (α -AR) артерий скелетных мышц в условиях функционального симпатолитизиса при 5-дневной адаптации к холоду. В отличие от предыдущих работ, фокусирующихся на физиологических проявлениях симпатолитизиса [5–7], нами применён метод двойных обратных координат Лайнуивера–Берка, позволивший выявить 24,3-кратное снижение аффинности рецепторов ($1/Km$) к эпинефрину при сохранении их количества (Pm ; см. рис. 2). Это подтверждает гипотезу о ключевой роли десенситизации α -AR, а не их даунрегуляции (изменения количества адренорецепторов), в механизмах функциональной мышечной гиперемии.

Анализ литературы выявил пробел в исследованиях краткосрочных адаптационных процессов. Хотя временные рамки холодовой адаптации широко варьируют (от 1 дня до нескольких лет) [11, 13, 14], большинство работ посвящено долгосрочным эффектам (>30 дней). Наши данные о 5-суточной экспозиции (-10°C) согласуются с клиническими наблюдениями за вахтовыми работниками, у которых кардиоваскулярные и нейровегетативные нарушения (ортостаз, аритмии, нарушение сна) достигают пика на 3–10-е сут, нивелируясь к 20–30-му дню [32]. Однако в отличие от этих исследований, акцентирующих

системные реакции, наша работа впервые демонстрирует, что даже незавершённая фаза адаптации (5 сут) критически модулирует локальные механизмы регуляции тонуса артерий через изменение адренореактивности.

Полученные результаты имеют аспекты новизны. Это дозозависимая динамика: 7,64-кратное подавление вазоконстрикторного ответа при низких дозах эпинефрина (0,5 мкг/кг) и 1,28-кратное — при высоких (30 мкг/кг), что требует пересмотра классических моделей симпатолитизиса. Временная специфика: сравнение с данными после 30-суточной адаптации [30, 31] показывает, что 5-дневная экспозиция индуцирует переходное состояние, при котором компенсаторные механизмы (например, активация α -AR) ещё не сформированы.

Пятисуточная холоддовая адаптация нарушает баланс между метаболическими потребностями мышц и адренергической регуляцией, снижая резерв функциональной гиперемии. Это объясняет клинические наблюдения ограничения толерантности к нагрузкам в ранние сроки адаптации [32] и подчёркивает необходимость фармакологической коррекции α -адренергического соотношения в экстремальных условиях.

В нашей работе мы использовали для оценки адренореактивности артерий восьми доз эпинефрина при фармакокинетическом и фармакодинамическом методе анализа, включая анализ в двойных обратных координатах Лайнувера–Берка. Другие исследователи не проводили подобных опытов, не изучали симпатолитизис после 5 дней холоддовой адаптации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткосрочная (5 дней) адаптация к холоду увеличила количество прессорных адренорецепторов (P_m) артерий и снизила их чувствительность ($1/K_m$) к эпинефрину. После 5-ДХА (N_4) симпатолитизис на фоне введения всех доз эпинефрина был намного ($p < 0,05$) меньше, чем у неадаптированных к холоду животных (N_2). Это свидетельствует об уменьшении кровотока в работающих мышцах при симпатолитизисе после адаптации к холоду. Анализ полученных данных в двойных обратных координатах Лайнувера–Берка выявил, что при симпатолитизисе у адаптированных к холоду кроликов (N_4) происходит увеличение количества активных α -AR (в 1,407 раза или на 40,7%) до $P_m=312,5$ мм рт. ст. по сравнению с $P_m=222$ мм рт. ст. при симпатолитизисе (N_2) без холода. Одновременно после 5 дней адаптации к холоду (N_4) при симпатолитизисе увеличилась чувствительность ($1/K_m$) в 1,632 раза (на 63,2%) альфа-адренорецепторов к эпинефрину до $1/K_m=0,08$ по сравнению с величиной $1/K_m=0,049$ при симпатолитизисе у неадаптированных к холоду животных (N_2).

Полученные данные позволяют сделать заключение, что усиление адренергической вазоконстрикции после адаптации к холоду оптимизирует теплосбережение, но снижает перфузионный резерв работающих мышц,

что потенциально лимитирует физическую работоспособность. Обнаруженные механизмы объясняют феномен ранней холоддовой астении у лиц с краткосрочной арктической экспозицией, характеризующейся снижением толерантности к нагрузкам при сохранении базового гомеостатического гомеостаза.

Перспективой использования результатов работы является изучение роли α -адренергических рецепторов в компенсации выявленного дисбаланса, а также поиск фармакологических модуляторов, способных восстановить перфузионно-метаболическое соответствие в условиях незавершённой холоддовой адаптации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. В.Н. Ананьев — подготовка первого варианта статьи, работа над её улучшением, частичный статистический анализ, подготовка таблицы и графиков; Г.В. Ананьев, О.В. Ананьева — работа с базой данных, статистические расчёты, работа над текстом статьи; В.И. Торшин — улучшение текста статьи, утверждение окончательного варианта для направления в редакцию. 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).

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено на заседании Комиссии ИМБП по биомедицинской этике — физиологической секции Российского национального комитета по биоэтике РАН (протокол № 259 от 10.12.2009).

Источники финансирования. Работа поддержана программой фундаментальных исследований ГНЦ РФ — ИМБП РАН (тема FMFR-2024-0038).

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: V.N. Ananьев: writing—original draft, writing—review & editing, formal analysis (partial), visualization; G.V. Ananьев, O.V. Ananьева: data curation, formal analysis, writing—review & editing; V.I. Torshin: writing—review & editing, approval of the final version of the manuscript. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The study was approved at a meeting of the IMBP Commission on Biomedical Ethics, the Physiological Section of the Russian National Committee on Bioethics of the Russian Academy of Sciences (Protocol No. 259 dated December 10, 2009).

Funding sources: This work was supported by the Fundamental Research Program of the State Scientific Center of the Russian Federation—Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences (project No. FMFR-2024-0038).

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer-review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Voronkov NS, Popov SV, Naryzhnaya NV, et al. Effect of cold adaptation on the state of cardiovascular system and cardiac tolerance to ischemia/reperfusion injury. *Iran Biomed J.* 2024;28(2&3):59–70. doi: 10.61186/ibj.3872.
- Wakabayashi H, Sakaue H, Nishimura T. Recent updates on cold adaptation in population and laboratory studies, including cross-adaptation with nonthermal factors. *J Physiol Anthropol.* 2025;44(1):7. doi: 10.1186/s40101-025-00387-6.
- Haman F, Souza SCS, Castellani JW, et al. Human vulnerability and variability in the cold: Establishing individual risks for cold weather injuries. *Temperature (Austin).* 2022;9(2):158–195. doi: 10.1080/23328940.2022.2044740.
- Ocobock C. Cold adaptation: An unfinished agenda v2.0. *Am J Hum Biol.* 2024;36(3):e23937. doi: 10.1002/ajhb.23937.
- DeLorey DS, Clifford PS. Does sympathetic vasoconstriction contribute to metabolism: Perfusion matching in exercising skeletal muscle? *Front Physiol.* 2022;13:980524. doi: 10.3389/fphys.2022.980524.
- Dulaney CS, Heidorn CE, Singer TJ, McDaniel J. Mechanisms that underlie blood flow regulation at rest and during exercise. *Adv Physiol Educ.* 2023;47(1):26–36. doi: 10.1152/advan.00180.2022.
- Simpson LL, Hansen AB, Morales G, et al. Adrenergic control of skeletal muscle blood flow during chronic hypoxia in healthy males. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2023;324(4):R457–R469. doi: 10.1152/ajpregu.00230.2022.
- Shechtman O, Papanek PE, Fregly MJ. Reversibility of cold-induced hypertension after removal of rats from cold. *Can J Physiol Pharmacol.* 1990;68(7):830–835. doi: 10.1139/y90-126.
- Eimonte M, Paulauskas H, Daniuseviciute L, et al. Residual effects of short-term whole-body cold-water immersion on the cytokine profile, white blood cell count, and blood markers of stress. *Int J Hyperthermia.* 2021;38(1):696–707. doi: 10.1080/02656736.2021.1915504.
- Kelly KR, Pautz CM, Palombo LJ, et al. Altered sympathoadrenal activity following cold-water diving. *J Spec Oper Med.* 2023;23(3):74–81. doi: 10.55460/T5CZ-JXVK.
- Keramidas ME, Kölegård R, Gäng P, et al. Acral skin vasoreactivity. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2022;323(1):R1–R15. doi: 10.1152/ajpregu.00021.2022.
- Smith BW, Tooley EM, Montague EQ, et al. The role of resilience and purpose in life in habituation to heat and cold pain. *J Pain.* 2009;10(5):493–500. doi: 10.1016/j.jpain.2008.11.007.
- Smolander J, Mikkelsen M, Oksa J, et al. Thermal sensation and comfort in women exposed repeatedly to whole-body cryotherapy and winter swimming in ice-cold water. *Physiol Behav.* 2004;82(4):691–695. doi: 10.1016/j.physbeh.2004.06.007.
- Mulders D, De Bodt C, Lejeune N, et al. Dynamics of the perception and EEG signals triggered by tonic warm and cool stimulation. *PLoS One.* 2020;15(4):e0231698. doi: 10.1371/journal.pone.0231698.
- Barwood MJ, Corbett J, Wagstaff CR. Habituation of the cold shock response may include a significant perceptual component. *Aviat Space Environ Med.* 2014;85(2):167–171. doi: 10.3357/ASEM.3759.2014.
- Tipton MJ, Golden FSC, Higenbottam C, et al. Temperature dependence of habituation of the initial responses to cold-water immersion. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998;78(3):253–257. doi: 10.1007/s004210050416.
- Tipton M, Eglin C, Golden F. Habituation of the initial responses to cold water immersion in humans: a central or peripheral mechanism? *J Physiol.* 1998;512(Pt 2):621–628. doi: 10.1111/j.1469-7793.1998.621be.x.
- Tipton M, Mekjavic I, Eglin C. Permanence of the habituation of the initial responses to coldwater immersion in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2000;83(1):17–21. doi: 10.1007/s004210000255.
- Barwood M, Datta AK, Thelwell RC, Tipton MJ, et al. Breath-hold time during cold water immersion: effects of habituation with psychological training. *Aviat Space Environ Med.* 2007;78(11):1029–034. doi: 10.3357/ASEM.2100.2007.
- Brück K, Baum E, Schwennicke HP. Cold-adaptive modifications in man induced by repeated short-term cold-exposures and during a 10-day and night cold-exposure. *Pflügers Arch.* 1976;363(2):125–133. doi: 10.1007/BF01062280.
- Brazaitis M, Eimantas N, Daniuseviciute L, et al. Time course of physiological and psychological responses in humans during a 20-day severe-cold-acclimation programme. *PLoS One.* 2014;9(4):e94698. doi: 10.1371/journal.pone.0094698.
- Young AJ, Muza SR, Sawka MN, et al. Human thermoregulatory responses to cold air are altered by repeated cold water immersion. *J Appl Physiol.* 1986;60(5):1542–1548. doi: 10.1152/jappl.1986.60.5.1542.
- Notley SR, Mitchell D, Taylor NAS. A century of exercise physiology: concepts that ignited the study of human thermoregulation. Part 4: evolution, thermal adaptation and unsupported theories of thermoregulation. *Eur J Appl Physiol.* 2024;124(1):147218. doi: 10.1007/s00421-023-05262-9.
- Tabuchi C, Sul HS. Signaling pathways regulating thermogenesis. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2021;12:595020. doi: 10.3389/fendo.2021.595020.
- Saltin B, Mortensen SP. Inefficient functional sympatholysis is an overlooked cause of malperfusion in contracting skeletal muscle. *J Physiol.* 2012;590(24):6269–6275. doi: 10.1113/jphysiol.2012.241026.
- Burton DA, Stokes K, Hall GM. Physiological effects of exercise. *Continuing Educ Anaesthesia Crit Care Pain.* 2004;185–188. doi: 10.1093/bjaceaccp/mkh050.
- Moynes J, Bentley RF, Bravo M, et al. Persistence of functional sympatholysis post-exercise in human skeletal muscle. *Front Physiol.* 2013;4:131. doi: 10.3389/fphys.2013.00131.
- Lineweaver H, Burk D. The determination of enzyme dissociation constants. *Journal of the American Chemical Society.* 1934;56(3):658–666. doi: 10.1021/ja01318a0364-81.
- Manukhin BN, Anan'ev VN, Anan'eva OV. Effect of cold adaptation of α - and β -adrenergic responses of blood pressure in hindlimb and small intestine in situ and systemic blood pressure in rabbits. *Biology Bulletin.* 2007;4, (2):133–143. doi: 10.1134/S1062359007020057.
- Anan'ev VN, Anan'ev GV, Torshin VI, Anan'eva OV. Impact of cold adaptation on reactivity of muscular arteries to epinephrine in functional sympatholysis. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2024;31(4):303–313. doi: 10.17816/humeco633895.
- Anan'ev VN, Anan'ev GV, Anan'eva OV. Functional regulation of artery adrenoreceptors in response to norepinephrine administration during

sympatholysis following a 30-day cold adaptation in working muscles. *Human. Sport. Medicine*. 2024;24(2):33–40. doi: 10.14529/hsm24020

32. Krivoshchekov S.G., Leutin V.P., Chukhrova M.G. *Psychophysiological aspects of incomplete adaptation*. Novosibirsk; 1998. 100 p. (In Russ.) EDN: RENGKD

ОБ АВТОРАХ

***Ананьев Владимир Николаевич**, д-р мед. наук, профессор;
адрес: Россия, 123007, Москва, Хорошевское ш., д. 76;
ORCID: 0000-0002-4679-6441;
eLibrary SPIN: 1718-8446;
e-mail: noradrenalin1952@mail.ru

Ананьев Георгий Владимирович;
ORCID: 0009-0005-4287-8430;
eLibrary SPIN: 4845-8340;
e-mail: gvananiev@pharmstd.ru

Торшин Владимир Иванович, д-р биол. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-3950-8296;
eLibrary SPIN: 8602-3159;
e-mail: vtorshin@mail.ru

Ананьева Ольга Васильевна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-0672-9164;
eLibrary SPIN: 1239-5484;
e-mail: olvasan@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Vladimir N. Ananьев**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
address: 76 Khoroshevskoe hwy, Moscow, Russia, 123007;
ORCID: 0000-0002-4679-6441;
eLibrary SPIN: 1718-8446;
e-mail: noradrenalin1952@mail.ru

Georgiy V. Ananьев;
ORCID: 0009-0005-4287-8430;
eLibrary SPIN: 4845-8330;
e-mail: gvananiev@pharmstd.ru

Vladimir I. Torshin, Dr. Sci. (Biology), Professor;
ORCID: 0000-0002-3950-8296;
eLibrary SPIN: 8602-3159;
e-mail: vtorshin@mail.ru

Olga V. Ananьева, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-0672-9164;
eLibrary SPIN: 1239-5484;
e-mail: olvasan@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author