

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

ЭКОЛОГИЯ



ЧЕЛОВЕКА

EKOLOGIYA CHELOVEKA
(HUMAN ECOLOGY)

Volume 31, Issue 11, 2024

11
Том 31
2024



FOUNDERS:

- Northern State Medical University;
- Eco-Vector

PUBLISHER:

Eco-Vector

Address: 3 liter A, 1H, Aptekarsky pereulok,
191181 Saint Petersburg, Russia

E-mail: info@eco-vector.com

WEB: <https://eco-vector.com>

EDITORIAL OFFICE:

Address: 51 Troitsky Ave., Arkhangelsk 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>.

ISSN 1728-0869 (Print)

ISSN 2949-1444 (Online)

EKOLOGIYA

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

Monthly peer-reviewed journal

Volume 31 • Issue 11 • 2024

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

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

The journal publishes original articles and reviews.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

Tatiana N. Unguryanu, MD, Dr. Sci. (Med), Professor associate

North State Medical University (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 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),
Professor associate (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, Professor associate (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

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 27.04.2025

Подписано в печать 24.06.2025.

Выход в свет 08.07.2025

Формат 60 × 88%. Печать офсетная.

Заказ . Цена свободная.

Усл. печ. л. 8.

Тираж 300 экз.

Отпечатано в ООО «Типография Экспресс В2В»

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. 2024. Т. 31, № 11.

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

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Ежемесячный научный рецензируемый журнал

Том 31 • № 11 • 2024

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

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

В журнале публикуются оригинальные статьи, обзоры и протоколы исследований.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Унгуряну Татьяна Николаевна, д-р мед. наук, доцент
Северный государственный медицинский университет
(Архангельск, Россия)
ORCID: 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

CONTENTS

Reviews

Leonid S. Khodasevich, Antonina V. Polyakova

Sulfide mineral water as a donor of signaling molecules of the gasotransmitter hydrogen sulfide 786

Nikita N. Khromov-Borisov, Elvira A. Bondareva

Lack of association between I/D dimorphism in the *ACE* gene and success in a chosen sport 796

Original Study Articles

Aleksandr B. Mulik, Irina V. Ulesikova, Nikita O. Nazarov, Mikhail A. Kunavin, Andrey G. Soloviev, Yulia A. Shatyr

Standard functional near-infrared spectroscopy parameters in young adults living in different regions of European Russia 807

Veronika A. Solovyeva, Ulker G. Guseynova, Natalia V. Solovieva, Fatima A. Bichkaeva, Andrey G. Soloviev

Physiological rationale for expanding the spectrum of traditional lipid metabolism parameters in indigenous males of the Arctic Region 819

Tatiana K. Larionova, Rustem A. Daukaev, Elmira R. Shaikhislamova, Anna N. Larionova,

Elvira A. Aukhadieva, Guzel R. Allayarova, Gyuzeliya F. Adieva, Evgenya E. Zelenkovskaya

Elemental imbalance in children with cerebral palsy (spastic diplegia) 829

CLINICAL TRAIL PROTOCOL

Kirill V. Shelygin, Lada I. Lozhkina, Alexandra V. Strelkova, Irina A. Krylova, Svetlana I. Malyavskaya

Determinants of eating behavior among medical university students: study protocol 838

СОДЕРЖАНИЕ

Обзоры

Л.С. Ходасевич, А.В. Полякова

Сульфидная минеральная вода как донор сигнальных молекул газотрансмиттера сероводорода 786

Н.Н. Хромов-Борисов, Э.А. Бондарева

Отсутствие ассоциации диморфизма I/D в гене ACE с успешностью в выбранном виде спорта. 796

Оригинальные исследования

А.Б. Мулик, И.В. Улесикова, Н.О. Назаров, М.А. Кунавин, А.Г. Соловьёв, Ю.А. Шатыр

Результаты оценки стандартных показателей функциональной спектроскопии ближнего инфракрасного диапазона у молодых людей, проживающих в различных регионах европейской части России 807

В.А. Соловьёва, У.Г. Гусейнова, Н.В. Соловьёва, Ф.А. Бичкаева, А.Г. Соловьёв

Физиологическое обоснование расширения исследования спектра традиционных параметров липидного обмена у коренного мужского населения Арктического региона 819

Т.К. Ларионова, Р.А. Даукаев, Э.Р. Шайхлисламова, А.Н. Ларионова, Э.А. Аухадиева, Г.Р. Аллаярова, Г.Ф. Адиева, Е.Е. Зеленковская

К проблеме элементного дисбаланса у детей с детским церебральным параличом (спастической диплегией) 829

Протоколы исследования

К.В. Шелыгин, Л.И. Ложкина, А.В. Стрелкова, И.А. Крылова, С.И. Малявская

Детерминанты пищевого поведения у студентов медицинского вуза: протокол исследования 838

Сульфидная минеральная вода как донор сигнальных молекул газотрансмиттера сероводорода

Л.С. Ходасевич, А.В. Полякова

Сочинский государственный университет, Сочи, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Сероводород признан третьим газотрансмиттером, играющим существенную роль как в физиологических процессах, так и при различных заболеваниях. Экспериментально подтверждено, что он синтезируется в тканях, оказывая разнообразное физиологическое воздействие на сердечно-сосудистую, нервную и другие системы организма. Изучение роли H_2S в метаболизме живых систем установило наличие доноров, которые способны его выделять, включая сульфидную минеральную воду, используемую в бальнеологии.

Цель. Обосновать роль сульфидной минеральной воды как донора сигнальных молекул газотрансмиттера сероводорода, инициирующих терапевтический эффект.

Материалы и методы. Проведён анализ публикаций последних 20 лет, отобранных в электронных базах данных РИНЦ, PubMed, Google Scholar и Medline. Поиск осуществляли по ключевым словам «газотрансмиттеры», «сероводород», «доноры сероводорода», «сульфидная бальнеотерапия». В результате было отобрано 63 публикации, наиболее релевантных теме исследования.

Результаты. Сероводород принадлежит к группе газотрансмиттеров — газообразных сигнальных молекул, вырабатываемых организмом человека и животных. Эти молекулы играют важную роль в регуляции клеточной активности и выступают в качестве медиаторов различных процессов. H_2S оказывает многогранное физиологическое воздействие на различные системы организма, включая головной мозг, где он может влиять на эмоциональное состояние и поведение. Источниками сероводорода могут служить газообразный H_2S , водные растворы гидросульфида и сульфида натрия, сульфидная минеральная вода и карбонилсульфид. Терапевтический эффект наружного применения сероводородных вод обусловлен наличием в них сульфида водорода в свободном, полусвязанном и связанном состояниях. Минеральная вода также содержит серу, сульфаны (полисероводороды), циклические полиядерные сероорганические соединения, а также диалкилполисульфиды. H_2S проникает в кровь через кожу, слизистые оболочки и дыхательные пути. Сульфидные бальнеопроцедуры, активируя полиморфно-ядерные мононуклеары, способствуют репаративной регенерации и упорядочивают структуру коллагеновых волокон в рубцовой ткани. Нарушение баланса сероводорода, как его избыток, так и дефицит, может быть связано с развитием ряда нейродегенеративных заболеваний.

Заключение. Сульфидная минеральная вода может служить донором сигнальных молекул газотрансмиттера сероводорода, что подтверждают положительные результаты эффективности бальнеотерапии.

Ключевые слова: газотрансмиттеры; сероводород; доноры сероводорода; сульфидная бальнеотерапия.

Как цитировать:

Ходасевич Л.С., Полякова А.В. Сульфидная минеральная вода как донор сигнальных молекул газотрансмиттера сероводорода // Экология человека. 2024. Т. 31, № 11. С. 786–795. DOI: 10.17816/humeco643567 EDN: DPYPNM

Sulfide Mineral Water as a Donor of Signaling Molecules of the Gasotransmitter Hydrogen Sulfide

Leonid S. Khodasevich, Antonina V. Polyakova

Sochi State University, Sochi, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Hydrogen sulfide is recognized as the third gasotransmitter, playing an essential role in both physiological processes and various diseases. Experimental evidence confirms that it is synthesized in body tissues and has a broad range of physiological effects on the cardiovascular, nervous, and other systems. Studies on the role of H₂S in the metabolism of living systems have revealed the existence of donors capable of releasing it, including sulfide mineral water used in balneology.

AIM: To justify the role of sulfide mineral water as a donor of hydrogen sulfide gasotransmitter signaling molecules initiating therapeutic effects.

MATERIALS AND METHODS: A review of publications from the past 20 years was conducted using the electronic databases RSCI, PubMed, Google Scholar, and Medline. The search was performed using the following keywords: *газотрансмиттеры* (gasotransmitters), *сероводород* (hydrogen sulfide), *доноры сероводорода* (hydrogen sulfide donors), and *сульфидная бальнеотерапия* (sulfide balneotherapy). A total of 63 publications most relevant to the topic were selected for analysis.

RESULTS: Hydrogen sulfide belongs to the group of gasotransmitters—gaseous signaling molecules produced by the human and animal body. These molecules play a critical role in cellular regulation and mediate various biological processes. H₂S exerts diverse physiological effects on various body systems, including the brain, where it may influence emotional state and behavior. Sources of H₂S include gaseous hydrogen sulfide, aqueous solutions of sodium hydrosulfide and sodium sulfide, hydrogen sulfide mineral water, and carbonyl sulfide. The therapeutic effect of topically applied H₂S-containing mineral water is due to the presence of hydrogen sulfide in free, partially bound, and bound forms. Mineral water also contains sulfur, sulfane sulfur (polysulfides), cyclic polynuclear organosulfur compounds, and dialkyl polysulfides. H₂S penetrates the bloodstream via the skin, mucous membranes, and respiratory tract. Sulfide balneotherapy promotes reparative regeneration by activating polymorphonuclear leukocytes and enhances the structural organization of collagen fibers in scar tissue. Imbalances in hydrogen sulfide levels—both excess and deficiency—may be associated with several neurodegenerative disorders.

CONCLUSION: Hydrogen sulfide mineral water may serve as a donor of signaling molecules of the gasotransmitter hydrogen sulfide, as evidenced by the positive therapeutic outcomes of balneotherapy.

Keywords: gasotransmitters; hydrogen sulfide; hydrogen sulfide donors; sulfide balneotherapy.

To cite this article:

Khodasevich LS, Polyakova AV. Sulfide mineral water as a donor of signaling molecules of the gasotransmitter hydrogen sulfide. *Ekologiya cheloveka* (Human Ecology). 2024;31(11):786–795. DOI: 10.17816/humeco643567 EDN: DPYPNM

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643567>

EDN: DPYPNM

硫化矿泉水作为气体递质硫化氢的信号分子供体

Leonid S. Khodasevich, Antonina V. Polyakova

Sochi State University, Sochi, Russia

摘要

论证。硫化氢被认为是第三种气体递质，在多种生理过程和疾病中发挥重要作用。已有实验表明，硫化氢可在组织中合成，并对心血管、神经等系统产生多种生理效应。对H₂S在生物系统代谢中作用的研究显示，存在可释放H₂S的供体，包括用于矿泉疗法的硫化矿泉水。

目的。论证硫化矿泉水作为气体递质硫化氢信号分子的供体在启动治疗效应中的作用。

材料与方法。对近20年来在RSCI、PubMed、Google Scholar和Medline等电子数据库中发表的文献进行了分析。检索使用的关键词包括“газотрансммиттеры”（气体递质）、“сероводород”（硫化氢）、“доноры сероводорода”（硫化氢供体）、“сульфидная бальнеотерапия”（硫化矿泉疗法）。共筛选出63篇与研究主题最相关的文献。

结果。硫化氢属于气体递质，是由人体和动物体内产生的气态信号分子。气体递质在细胞活性调节中发挥重要作用，并介导多种生理过程。H₂S在机体多个系统中具有多方面的生理作用，包括大脑，在其中可能影响情绪和行为。其来源包括气态H₂S、水溶性氢硫化物和硫化钠、硫化矿泉水及羧基硫。外用硫化氢水的治疗作用与其所含游离态、半结合态和结合态的硫化氢有关。矿泉水还含有硫、硫烷（多硫化氢）、多核环状有机硫化物和二烷基多硫化物。H₂S可经皮肤、黏膜和呼吸道进入血液。硫化矿泉疗法通过激活多形核单核细胞，促进修复性再生，并重塑瘢痕组织中的胶原纤维结构。硫化氢水平的失衡，无论是过量还是不足，可能与某些神经退行性疾病有关。

结论。硫化矿泉水可作为气体递质——硫化氢的信号分子供体，这一点已被矿泉疗法疗效的积极结果所证实。

关键词：气体递质；硫化氢；硫化氢供体；硫化矿泉疗法。

引用本文：

Khodasevich LS, Polyakova AV. 硫化矿泉水作为气体递质硫化氢的信号分子供体. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(11):786–795. DOI: 10.17816/humeco643567 EDN: DPYPNM

收到: 31.12.2024

接受: 14.04.2025

发布日期: 03.06.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Сероводород (H_2S), или сульфид водорода — это бесцветный, легко воспламеняющийся газ, являющийся серным аналогом воды. Благодаря слабым межмолекулярным связям он существует в газообразном состоянии [1]. Токсичные концентрации H_2S могут накапливаться в канализационных системах, кожевенных чанах, выгребных ямах, серных рудниках и угольных шахтах. Кроме того, сероводород образуется в качестве побочного продукта в металлургической и целлюлозно-бумажной промышленности. В естественных условиях H_2S выделяется при разложении органических веществ растительного и животного происхождения, а также в процессах гниения. Источниками сероводорода также являются бурение, добыча и переработка серосодержащего природного газа, нефтяные выбросы, вулканическая активность и месторождения серы [2, 3].

Неудивительно, что во многих публикациях, в том числе посвящённых токсикологическим исследованиям, сероводород относят к категории экологических токсинов. История изучения H_2S как ядовитого вещества для окружающей среды берёт начало в 1700 г. с наблюдений итальянского врача Бернардино Рамаццини. В книге «*De Morbis Artificum Diatriba*» он описал раздражение глаз и воспаление, вызванные «канализационным газом» у работников, занимающихся очисткой сточных вод [4]. Долгое время сероводород считался исключительно ядовитым газом, способным привести к летальному исходу в результате острой ингаляционной интоксикации при вдыхании высоких концентраций [1, 3].

В последние десятилетия выявлена важная роль сероводорода в качестве газотрансмиттера в условиях нормы и патологии. Газотрансмиттеры — это эндогенные молекулы химических соединений, находящиеся в газообразном состоянии при нормальной температуре тела и атмосферном давлении. Они синтезируются и высвобождаются в биологических системах, выполняя функцию передачи сигнала. Для классификации вещества как газотрансмиттера необходимо выполнение нескольких условий: оно должно быть газом, образовываться в организме эндогенно и/или с участием ферментов, вызывать определённые физиологические эффекты при экзогенном введении, иметь специфический механизм инактивации [5].

Открытие газообразных сигнальных молекул ознаменовало начало новой эры в биомедицинских исследованиях, подчеркнув важную роль этих молекул в физиологии млекопитающих [1]. В конце 1970-х гг., после открытия оксида азота (NO), соединения, способные свободно проникать через клеточные мембраны, были выделены в особую группу сигнальных молекул — газотрансмиттеров (газомедиаторов) [6, 7]. В начале 1990-х гг. к этой группе добавился монооксид углерода (CO). Сероводород признан третьим газотрансмиттером в конце 1990-х гг., когда была экспериментально подтверждена его способность

синтезироваться в тканях головного мозга и регулировать клеточные функции у животных. Сформулированная в 2002 г. концепция газотрансмиттеров стала отправной точкой для развития нового направления в изучении механизмов клеточной регуляции [8]. В целях стимулирования биомедицинских исследований в области газотрансмиттеров и обмена научной информацией в 2011 г. была создана Европейская сеть по газотрансмиттерам [1].

В клетках млекопитающих газотрансмиттеры выполняют сигнальные функции, инициируя физиологические и биохимические изменения, а также участвуя в регуляции и модуляции различных процессов в организме [9–12]. Оксид азота (NO), монооксид углерода (CO) и сероводород (H_2S) долгое время считались токсичными для человека газами. Однако относительно недавно было обнаружено, что эти соединения синтезируются клетками организма и осуществляют аутокринную и паракринную регуляцию в различных органах человека и животных [13]. В настоящее время к газотрансмиттерам также относят диоксид серы (SO_2), который играет важную роль в регуляции функций эндотелиальных клеток и защите их от повреждений [14, 15].

С начала XX в. сероводород (H_2S) был идентифицирован как продукт жизнедеятельности бактерий. В дальнейшем установлена его роль в развитии заболеваний пародонта (связанных с бактериальной флорой полости рта), нарушении функций эпителиальных клеток кишечника (вследствие воздействия энтеральной бактериальной флоры), а также в формировании устойчивости бактерий к антибиотикам. Начиная с 1940-х гг. исследователи в различных областях биологии млекопитающих выявили, что H_2S является продуктом эндогенных ферментативных реакций. Его функции, в частности, в сердечно-сосудистой и нервной системах, стали предметом интенсивного изучения в последние десятилетия [4]. Несмотря на то что кишечная микрофлора продуцирует сероводород, он не попадает в кровоток, поскольку ферменты кишечного эпителия разрушают сульфиды. Этот механизм защищает клетки от воздействия высоких локальных концентраций H_2S и предотвращает его проникновение в системный кровоток [10].

По мнению Wang [11], признание сероводорода газотрансмиттером открывает новые перспективы в изучении процессов сульфирования белков и взаимодействия H_2S с другими газотрансмиттерами. Эти исследования могут пролить свет на патогенез многих заболеваний, связанных с нарушениями метаболизма сероводорода. В настоящее время установлен синтез сероводорода в тканях экспериментальных животных, что проявляется целым рядом физиологических эффектов в сердечно-сосудистой, нервной и пищеварительной системах [16]. Потребность в экзогенном источнике H_2S ставит перед исследователями уникальную задачу — поиск химических инструментов, которые могут облегчить изучение этого газа в лабораторных условиях. Соединения, которые разлагаются в ответ

на определённый сигнал, высвобождая сульфид водорода, называются донорами сероводорода. Они включают в себя широкий спектр функциональных групп и систем доставки, некоторые из которых имитируют строго контролируемое эндогенное происхождение в ответ на определённые биологически значимые условия [17].

В то же время сульфидная (сероводородная) бальнеотерапия давно и успешно применяется в санаторно-курортной практике. Лечебные свойства сульфидных минеральных вод признаны медицинским сообществом, а курорты, использующие их для общих и местных ванн, орошений, аппликаций и других процедур (Бакирово, Красноусольск, Горячий Ключ, Сочи, Пятигорск, Талги, Усть-Качка, Хилово, Ключи, Кемери и др.), пользуются заслуженной популярностью [18]. Терапевтический эффект сульфидных минеральных вод традиционно связывают с действием экзогенного сероводорода.

Цель исследования. Обоснование возможной роли сульфидной минеральной воды как донора сигнальных молекул газотрансмиттера сероводорода, инициирующих терапевтический эффект.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведён систематический обзор научной литературы. Анализ публикаций за последние 20 лет осуществляли с использованием электронных баз данных РИНЦ, PubMed, Google Scholar и Medline. Поиск проводили по ключевым словам: «gas transmitter» (газотрансмиттер), «hydrogen sulfide» (сероводород), «hydrogen sulfide donors» (доноры сероводорода) и «hydrogen sulfide balneotherapy» (сульфидная бальнеотерапия). *Критерии включения* в обзор: соответствие дизайну научных исследований, формат систематического обзора, наличие подробных аннотаций с результатами исследований. В результате поиска было отобрано 63 публикации, наиболее релевантных теме исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сульфидные (сероводородные) минеральные воды могут служить одним из источников сероводорода. Эти воды издавна привлекали внимание людей своим специфическим «запахом тухлых яиц» и приписываемыми сере и её соединениям лечебными свойствами [19]. Сульфидные минеральные воды представляют собой природные воды с различной минерализацией и ионным составом, содержащие >10 мг/л общего сероводорода. В зависимости от концентрации H_2S выделяют слабосероводородные воды (10–50 мг/л), воды средней концентрации (50–100 мг/л), крепкие (100–250 мг/л) и очень крепкие (>250 мг/л) воды [20].

Сульфидная бальнеотерапия применяется в санаторно-курортной практике уже более 150 лет. В России одним из наиболее известных источников сульфидных

минеральных вод является Мацеста. Сероводородная минеральная вода служит основным лечебным фактором на бальнеологическом курорте Сочи, дата основания которого 15 сентября 1902 г. В этот день у естественного источника серных вод была пробурена первая скважина и построена бальнеолечебница [21].

Многолетний опыт изучения сульфидных минеральных вод привёл к необходимости систематизации накопленных данных. Эту задачу выполнил В.М. Куканов, опубликовав в 1968 г. монографию «Процессы формирования сероводородных вод типа Мацеста» [22]. Применение сульфидной бальнеотерапии в санаторно-курортном лечении позволило определить оптимальные параметры проведения процедур (периодичность, кратность, продолжительность, сезонность, совместимость с другими методами лечения), а также оптимальную концентрацию сероводорода в ваннах. В практике сероводородной бальнеотерапии встречаются случаи непереносимости сульфидных ванн, связанные как с бальнеологической реакцией, так и с токсическим действием сероводорода [20].

Большинство исследователей рассматривают реакцию организма на бальнеопроцедуру как физиологически закономерный процесс адаптации к изменению условий окружающей среды и воздействию комплекса химических, термических и механических факторов минеральных вод. Эта сложная приспособительная реакция, проявляющаяся рядом физиологических, биохимических, биофизических, иммунологических и других изменений, имеет оздоровительную направленность и лежит в основе терапевтического действия бальнеологических процедур, не требуя медикаментозной коррекции [23].

Терапевтический эффект наружного применения сульфидных вод обусловлен прежде всего наличием в них свободного сероводорода, обладающего высокой химической активностью и оказывающего значительное влияние на метаболизм. Кроме того, минеральная вода содержит серу, сульфаны (полисероводороды), циклические и линейные полиядерные сероорганические соединения (полисульфиды — ионная форма сульфанов), а также диалкилполисульфиды [24, 25]. Сероводород проникает в организм из воды через кожу, слизистые оболочки и дыхательные пути. Время циркуляции H_2S в крови очень короткое, так как он быстро окисляется в печени и выводится из организма в виде сульфатов [19]. Антиоксидантными свойствами обладают не только сульфидные воды, но и соли минеральной воды, которые содержат только полисульфиды [26].

Сероводород способствует увеличению содержания сульфгидрильных и дисульфидных групп, активирует глутатион и ферментные системы, повышает энергетический потенциал клеток и тканей, стимулирует регенерацию, нормализует процессы возбуждения и торможения в центральной нервной системе. Влияние сульфидных вод на обменные процессы и активность сульфгидрильных групп, входящих в состав многих ферментов, обусловлено

непосредственным участием сероводорода и его соединений в биохимических реакциях. Терапевтический эффект сульфидных вод связывают с проникновением H_2S и продуктов его метаболизма в микроциркуляторное русло и их воздействием на эндотелий капилляров [27–29].

Теоретической основой для применения сульфидной бальнеотерапии послужили работы профессоров В.И. Сухарева и З.Н. Гржебина, которые в 1940-х гг. возглавляли кожную клинику Сочинского бальнеологического института. Они изучали влияние сероводородной минеральной воды на патологические процессы в коже. Оба учёных отмечали стимулирующее воздействие мацестинской сероводородной минеральной воды на функциональное состояние соединительной ткани [30].

Установлено, что изменения внутриклеточного метаболизма зависят от концентрации сероводорода. Это является одной из основных причин снижения терапевтического эффекта при его высоких концентрациях. Низкие и средние концентрации сероводорода (25–150 мг/л) способствуют увеличению потребления кислорода митохондриями, тогда как высокие концентрации (300–400 мг/л) приводят к разобщению процессов тканевого дыхания и фосфорилирования [13]. Низкие концентрации H_2S обладают цитопротекторным действием, в то время как высокие проявляют цитотоксичность. В наномолярных концентрациях сероводород действует как цитопротектор в митохондриях, поддерживая энергетический метаболизм, служа субстратом для дыхательной цепи, предотвращая апоптоз и стимулируя митохондриальный биогенез [31]. При более высоких концентрациях H_2S подавляет дыхательную цепь, связываясь с цитохромоксидазой и ингибируя её активность [32].

Известно, что воздействие сероводородной минеральной воды на кожу пациентов стимулирует образование провоспалительных цитокинов. В местах непосредственного контакта минеральной воды с кожей наблюдается расширение кровеносных сосудов и их переполнение кровью. Особенно заметной реакцией, привлекающей внимание как исследователей, так и пациентов, является выраженное покраснение кожи во время сероводородной бальнеотерапии. Гиперемия кожи носит фазный характер и включает стадии активной гиперемии, последующей ишемии и восстановления нормальной окраски. Развитие и интенсивность гиперемии зависят от концентрации сероводорода в воде и особенностей микроциркуляции у пациента [29].

Токсические осложнения сероводородной бальнеотерапии, в том числе возникающие при самолечении без медицинского контроля [20], по своим проявлениям схожи с синдромом системной воспалительной реакции. Этот синдром, обычно вызванный дисбалансом про- и противовоспалительных реакций организма, индуцированных эндо- и экзотоксинами микроорганизмов, цитокинами и медиаторами при сепсисе, может быть также обусловлен неинфекционными факторами [33], включая такой мощный восстановитель, как сероводород (H_2S).

Сульфидные минеральные воды считаются одним из наиболее эффективных бальнеологических факторов, применяемых для реабилитации пациентов после термических ожогов. Санаторно-курортное лечение, включающее сульфидную бальнеотерапию в сочетании с лечебной физкультурой и другими курортными факторами, способствует осветлению поражённых участков кожи, уменьшению ощущения натяжения и напряжения рубцов, повышению их эластичности, увеличению объёма движений в суставах и восстановлению тактильной чувствительности [30].

Активируя полиморфно-ядерные мононуклеары, сероводород стимулирует репаративную регенерацию и упорядочивает структуру коллагеновых волокон в рубцовой ткани, повышая её растяжимость и эластичность. Это связано со способностью H_2S модифицировать белки путём разрыва дисульфидных связей. Предположительно, такая химическая модификация белков, в частности коллагена, включая сульфидрирование (присоединение атома серы к тиоловой группе), приводит к изменению конформации белковых молекул и их функциональной активности [34].

Основными механизмами действия сероводорода являются модификация протеинов и образование полисульфидов [8, 16, 35, 36]. Будучи сильным восстановителем, он способен разрывать дисульфидные связи. Другим механизмом действия является присоединение атома серы к тиоловой группе (сульфидрирование). Такая химическая модификация белков приводит к изменению их конформации и, как следствие, функциональной активности. Изменение конформации обусловлено вращением вокруг одной или нескольких одинарных сигма-связей, что приводит к новому пространственному расположению атомов в молекуле. Кроме того, мишенями для H_2S в клетке могут быть ионные каналы, мембранные и внутриклеточные ферменты, различные белки и другие молекулы [34].

Эндогенный сероводород продуцируется тремя ферментами: цистатионин-β-синтазой (CBS), цистатионин-γ-лиазой (CSE) и 3-меркаптопируватсульфотрансферазой (3MST). Предполагается, что в центральной нервной системе H_2S образуется преимущественно в астроцитах нейроглии при участии CBS, а в нейронах — при участии 3MST. Считается, что сероводород играет важную роль в когнитивных процессах, формировании памяти, регуляции сердечно-лёгочной деятельности и нейропротекции. Есть основания полагать, что в периферической нервной системе H_2S участвует в вегетативной регуляции сердечно-сосудистой, дыхательной и пищеварительной систем, а также в процессах обезболивания и воспаления [37].

Наряду с увеличением числа публикаций, посвящённых биологической роли H_2S , активно ведутся поиски доноров сероводорода, которые могли бы использоваться в качестве исследовательских инструментов и потенциальных лекарственных средств. Это привело к разработке различных стратегий высвобождения данного газотрансмиттера. Во многих исследованиях на модельных

системах применяют прямую ингаляцию газообразного сероводорода или водные растворы гидросульфида натрия (NaSH) и сульфида натрия (Na_2S), а также полисульфиды (H_2S_n) [38]. Однако такие подходы не воспроизводят процессы эндогенного образования H_2S . Это явное несоответствие подчёркивает необходимость разработки более эффективных доноров сероводорода [39].

С.М. Levinn и соавт. [39] впервые предложили использовать соединения, высвобождающие карбонилсульфид (COS), в качестве нового класса доноров эндогенного сероводорода. Этот подход, вдохновлённый широко применяемой стратегией пролекарств на основе карбаматов, основан на использовании самоиммулирующихся тиокарбаматов для контролируемого высвобождения COS . В свою очередь, COS быстро превращается в H_2S под действием широко распространённого фермента карбоангидразы (CA).

Низкие эндогенные концентрации сероводорода затрудняют точное определение его биологических функций. Именно поэтому для изучения физиологической роли H_2S используют методы экзогенной доставки этого газа в клетки и ткани экспериментальных животных. Необходимость в экзогенных источниках H_2S ставит перед исследователями задачу разработки специальных химических инструментов, облегчающих изучение сероводорода в лабораторных условиях. Доноры сероводорода — это соединения, способные высвобождать H_2S в ответ на определённый стимул. Они характеризуются разнообразием функциональных групп и систем доставки. Некоторые доноры имитируют строго регулируемые процессы эндогенного образования H_2S в ответ на специфические биологические сигналы [17].

Несмотря на обилие публикаций, посвящённых сероводороду, наше понимание его роли в нормальных и патологических процессах остаётся неполным [13]. Тонкая регуляция синтеза и метаболизма эндогенного H_2S критически важна для поддержания оптимальной функции клеток, поскольку как избыточное образование, так и дефицит сероводорода могут способствовать развитию заболеваний. Нарушения регуляции пути обратного транссульфирования, в результате которого образуется H_2S , наблюдаются при некоторых нейродегенеративных заболеваниях, таких как болезнь Паркинсона, болезнь Хантингтона и болезнь Альцгеймера. В связи с этим применение доноров сероводорода или стимуляция обратного транссульфирования показали свою эффективность в лечении этих нейродегенеративных состояний [40].

Болезнь Альцгеймера — распространённое нейродегенеративное заболевание, характеризующееся прогрессирующим снижением когнитивных функций, изменением личности и различными нейропсихиатрическими симптомами. Патогенез болезни Альцгеймера связан с апоптозом и повреждением нейронов, вызванными отложением бета-амилоида и окислительным стрессом [41–44]. Уровень сероводорода (H_2S) в головном мозге пациентов

с болезнью Альцгеймера ниже, чем у здоровых людей того же возраста [45]. В экспериментальной модели сосудистой деменции у крыс наблюдалось снижение уровня H_2S в плазме крови. Внутривенное введение NaHS (донора H_2S) обеспечивало нейропротекцию и улучшало показатели обучения и памяти в поведенческих тестах [46]. Другое исследование показало, что применение сероводородной минеральной воды в клинике замедляло прогрессирование болезни Альцгеймера [47]. Благоприятное влияние сероводорода на когнитивные функции, пространственное восприятие и память, а также его нейропротекторные эффекты, продемонстрированные как в экспериментах на крысах [41, 44], так и в клинических исследованиях [48], дают основания рассчитывать на успех в борьбе с болезнью Альцгеймера.

Болезнь Паркинсона — это хроническое прогрессирующее нейродегенеративное заболевание, характеризующееся дегенерацией дофаминергических нейронов в чёрной субстанции среднего мозга и образованием телец Леви в цитоплазме выживших нейронов [49, 50]. Результаты экспериментальных исследований на животных показали, что ингаляция или инъекции доноров H_2S предотвращали развитие нарушений, характерных для болезни Паркинсона [51–54].

Черепно-мозговая травма является одной из ведущих причин смерти в мире. Нарушения памяти и когнитивные дисфункции — два распространённых последствия черепно-мозговых травм. Быстрое и чрезмерное образование свободных радикалов кислорода также связано с вторичным повреждением нейронов [55, 56]. S.A. Karimi и соавт. [55] продемонстрировали нейропротекторный эффект внутрибрюшинного введения NaHS при нарушениях памяти, вызванных черепно-мозговыми травмами у крыс. M. Zhang и соавт. [57] выявили нейромодулирующее действие сероводорода: инъекции гидросульфида натрия уменьшали объём поражения головного мозга. Нейропротекторный эффект NaHS был также показан при других патологических состояниях [58–61]. Эти результаты подтверждаются данными об изменении уровней CBS и сероводорода в различных отделах головного мозга в экспериментальных моделях черепно-мозговой травмы [59].

Болезнь Хантингтона — наследственное нейродегенеративное заболевание, характеризующееся нейротоксичностью, поведенческими расстройствами, нарушением координации движений и окислительным стрессом. B.D. Paul и соавт. [40, 62] показали, что в экспериментальных моделях болезни Хантингтона наблюдается снижение уровня цистатионин-γ-лиазы (CSE) в тканях млекопитающих. Дефицит этого фермента, участвующего в биосинтезе цистеина, приводит к снижению продукции эндогенного сероводорода, дегенерации нейронов и прогрессированию заболевания.

Недавние исследования показали, что у пациентов с синдромом Дауна уровень фермента цистатионин-β-синтазы (CBS) выше, чем у здоровых людей.

Предполагается, что избыточная экспрессия CBS является причиной когнитивных нарушений у детей с этой хромосомной патологией и может способствовать развитию болезни Альцгеймера в зрелом возрасте. Кроме того, избыточная продукция H_2S также ассоциирована с этилмалоновой энцефалопатией [63].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сульфидные (сероводородные) минеральные воды представляют собой важную группу вод со специфическим химическим составом, широко и эффективно применяемых в бальнеологии. Они характеризуются наличием сероводорода, который может присутствовать в свободном (молекулярном), полусвязанном (гидросульфид-ион) и связанном (сульфид-ион) состояниях. Признание сероводорода газотрансмиттером открывает новые возможности для фармакологических исследований и разработки препаратов, регулирующих метаболизм и концентрацию H_2S в тканях и органах при различных заболеваниях.

Опубликованные данные свидетельствуют о важной роли эндогенного сероводорода в физиологии и патологии человека и животных. Несмотря на продолжающиеся дискуссии относительно сигнальных путей, полезных и вредных эффектов газотрансмиттеров, их участие в межклеточной коммуникации является общепризнанным фактом. Изучение этих молекул, особенно их роли в центральной нервной системе, находится на начальном этапе. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на изучении комбинированного действия газотрансмиттеров и выяснении сигнальных путей, связанных с их антагонистическими эффектами. Это позволит разработать новые терапевтические подходы к лечению различных неврологических заболеваний.

Анализ литературы показывает, что сульфидная минеральная вода может служить источником сигнальных молекул сероводорода, а эффективность бальнеотерапии подтверждает её терапевтическую ценность. Концепция газотрансмиттеров потребует пересмотра показаний и противопоказаний к сульфидной бальнеотерапии, а также корректировки параметров бальнеологических процедур. С учётом того, что газотрансмиттеры являются регуляторами и медиаторами клеточной активности и могут влиять на функционирование всего организма, включая головной мозг, эмоциональное состояние и поведение, можно ожидать расширения спектра применения бальнеотерапии и включения новых нозологических форм в перечень показаний к данному методу лечения.

В связи с востребованностью сероводородной

бальнеотерапии в настоящее время актуальными задачами остаются изучение результатов её применения, разработка новых лечебных комплексов на основе сульфидных минеральных вод и профилактика возможных осложнений. Эти исследования могут стать отправной точкой для развития приоритетного направления в бальнеологии — изучения механизмов клеточной сигнализации в рамках фундаментальных и прикладных научных исследований.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Л.С. Ходасевич — концепция и дизайн исследования; А.В. Полякова — сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследований и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

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: L.S. Khodasevich: study conception and design; A.V. Polyakova: data collection, analysis and interpretation of results, writing of the article. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made a significant contribution to the development of the concept, conduct of the study, and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

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

- Panthi S, Manandhar S, Gautam K. Hydrogen sulfide, nitric oxide, and neurodegenerative disorders. *Transl Neurodegener.* 2018;7:3. doi: 10.1186/s40035-018-0108-x
- Tarasov VN, Chelnokova NV, Tarasova VA. Possible risk factors for workers during drilling, production and processing of natural gas with high hydrogen sulfide content. *Advances in current natural sciences.* 2007;(10):130–133. (In Russ.) EDN: IJKUQL
- Shefa U, Kim MS, Jeong NY, Jung J. Antioxidant and cell-signaling functions of hydrogen sulfide in the central nervous system. *Oxid Med Cell Longev.* 2018;2018:1873962. doi: 10.1155/2018/1873962
- Szabo C. A timeline of hydrogen sulfide (H₂S) research: from environmental toxin to biological mediator. *Biochem Pharmacol.* 2018;149:5–19. doi: 10.1016/j.bcp.2017.09.010
- Muravyov AV. The role of gas mediators (CO, NO and H₂S) in the regulation of blood circulation: analysis of the participation of blood cell microrheology. *Regional Blood Circulation and Microcirculation.* 2021;20(1):91–99. doi: 10.24884/1682-6655-2021-20-1-91-99 EDN: LMZFPV
- Urazaev AKh, Zefirov AL. Physiological role of a nitric oxide. *Progress in Physiological Science.* 1999;30(1):63–72. EDN: MQDTQX
- Ignarro LJ, Byrns RE, Buga GM, Wood KS. Endothelium-derived relaxing factor from pulmonary artery and vein possesses pharmacologic and chemical properties identical to those of nitric oxide radical. *Circ Res.* 1987;61(6):866–879. doi: 10.1161/01.res.61.6.866
- Wang R. Physiological implications of hydrogen sulfide: a whiff exploration that blossomed. *Physiol Rev.* 2012;92(2):791–896. doi: 10.1152/physrev.00017.2011
- Gadalla MM, Snyder SH. Hydrogen sulfide as a gasotransmitter. *J Neurochem.* 2010;113(1):14–26. doi: 10.1111/j.1471-4159.2010.06580.x
- Wang R. *Signal transduction and the gasotransmitters. NO, CO and H₂S in Biology and Medicine.* Humana Totowa, NJ; 2004. 378 p. doi: 10.1007/978-1-59259-806-9
- Wang R. Two's company, three's a crowd: can H₂S be the third endogenous gaseous transmitter? *FASEB J.* 2002;16(13):1792–1798. doi: 10.1096/fj.02-0211hyp
- Gusakova SV, Smaglyi LV, Birulina YuG, et al. Molecular mechanisms of action of gas transmitters NO, CO and H₂S in smooth muscle cells and effect of NO-generating compounds (nitrates and nitrites) on average life expectancy. *Progress in Physiological Science.* 2017;48(1):24–52. EDN: YKVEDH
- Sitdikova GF, Yakovlev AV, Zefirov AL. Gasotransmitters: from the toxic effects to the regulation of cellular function and clinical application. *Bulletin of Siberian Medicine.* 2014;13(6):185–200. doi: 10.20538/1682-0363-2014-6-185-200 EDN: THUWPB
- Huang YQ, Jin HF, Zhang H, et al. Interaction among hydrogen sulfide and other gasotransmitters in mammalian physiology and pathophysiology. In: Zhu YC, editor. *Advances in Hydrogen Sulfide Biology. Advances in Experimental Medicine and Biology.* Springer, Singapore; 2021;1315. doi: 10.1007/978-981-16-0991-6_9
- Zhang D, Wang X, Tian X, et al. The increased endogenous sulfur dioxide acts as a compensatory mechanism for the downregulated endogenous hydrogen sulfide pathway in the endothelial cell inflammation. *Front Immunol.* 2018;9:882. doi: 10.3389/fimmu.2018.00882
- Łowicka E, Bektowski J. Hydrogen sulfide (H₂S) — the third gas of interest for pharmacologists. *Pharmacol Rep.* 2007;59(1):4–24.
- Powell CR, Dillon KM, Matson JB. A review of hydrogen sulfide (H₂S) donors: chemistry and potential therapeutic applications. *Biochem Pharmacol.* 2018;149:110–123. doi: 10.1016/j.bcp.2017.11.014
- Olefirenko VT. *Water-heat therapy.* Moscow: Medicine; 1970. 208 p. (In Russ.)
- Manshina NV. *Balneology for all. For health to the resort.* Moscow: Veche; 2007. 589 p. (In Russ.) ISBN: 978-5-9533-2354-3
- Khodasevich LS. The toxic complications of hydrogen sulfide-based balneotherapy in the spa and health resort practice. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy.* 2015;92(5):61–66. doi: 10.17116/kurort2015561-66 EDN: VIYXWL
- Pastushenko YuN. *Mineral waters of the federal resort of Sochi.* Sochi; 2006. 218 p. (In Russ.) ISBN: 5-7588-0423-1
- Khodasevich LS, Utekhina VP, Ryzhkov NT. The 100th anniversary of vasily mikhailovich kukanov's birth (1904–1978). *Problems of Balneology, Physiotherapy, and Exercise Therapy.* 2004;(6):49–50. EDN: OJKMXV
- Luzgina NG, Shkurupy VA, Potapova OV, Devizorova OV. Pathogenetic features of balneological response in patients with atopic dermatitis on intake of natural high mineralized water during medical rehabilitation. *Russian Journal of Allergy.* 2009;(6):18–25. EDN: KYOMLX
- Kamyshny AJr, Ekeltchik I, Gun J, Lev O. Method for the determination of inorganic polysulfide distribution in aquatic systems. *Anal Chem.* 2006;78(8):2631–2639. doi: 10.1021/ac051854a
- Khutoryanskii VA, Smirnov AI, Matveev DA. The determination of molecular sulphur in Matsesta mineral water and its analog Novonukutskaya mineral water. *Problems of Balneology, Physiotherapy, and Exercise Therapy.* 2014;91(6):48–51. EDN: TKIMLJ
- Prandelli C, Parola C, Buizza L, et al. Sulphurous thermal water increases the release of the anti-inflammatory cytokine IL-10 and modulates antioxidant enzyme activity. *Int J Immunopathol Pharmacol.* 2013;26(3):633–646. doi: 10.1177/039463201302600307
- Tsopikov AS, Kuznetsov VM. *Use of Matsesta irrigations in the complex treatment of patients with post-burn keloid scars: Information and methodological letter.* Sochi; 1986. 13 p. (In Russ.)
- Ibadova GD. *Medical rehabilitation of patients with osteoarthritis at the resort of Sochi.* Sochi: RIO SGUTiKD; 2005. (In Russ.)
- Kurtaev OSh, Grechkina ZF, Khodasevich LS. Effects of hydrosulfide balneotherapy on microcirculation in arterial hypertension. *Problems of Balneology, Physiotherapy, and Exercise Therapy.* 2004;(4):4–7. EDN: OJJJFN
- Khodasevich LS, Mironov VI, Rassokha IA, et al. Hydrogen sulfide balneotherapy in comprehensive sanatorium-resort treatment of post-burn scars in children. *Problems of Balneology, Physiotherapy, and Exercise Therapy.* 2024;101(3):32–40. doi: 10.17116/kurort202410103132 EDN: RLKEDD
- Murphy B, Bhattacharya R, Mukherjee P. Hydrogen sulfide signaling in mitochondria and disease. *FASEB J.* 2019;33(12):13098–13125. doi: 10.1096/fj.201901304R
- Nicholls P, Marshall DC, Cooper CE, Wilson MT. Sulfide inhibition of and metabolism by cytochrome c oxidase. *Biochem Soc Trans.* 2013;41(5):1312–1316. doi: 10.1042/BST20130070
- Bobrovitsky IP, Khodasevich LS, Ibadova GD, Kurtaev OSh. Mechanism of action of hydrogen sulphide balneotherapy in the light of knowledge about systemic inflammatory response. *Problems of Balneology, Physiotherapy, and Exercise Therapy.* 2005;(3):47–52. EDN: OJKNZN
- Hermann A, Sitdikova GF, Weiger T. Gase als zellulare Signalstoffe. *Biol Unserer Zeit.* 2010;40(3):185–193. doi: 10.1002/biuz.201010422
- Kimura H. Hydrogen sulfide (H₂S) and Polysulfide (H₂S_n) signaling: the first 25 years. *Biomolecules.* 2021;11(6):896. doi: 10.3390/biom11060896
- Tikhomirova IA, Petrochenko EP, Petrochenko AS. Hydrogen sulfide as a signaling molecule in the cardiovascular system. *Regional Blood Circulation and Microcirculation.* 2021;20(1):5–16. doi: 10.24884/1682-6655-2021-20-1-5-16 EDN: BRKKMZ
- Rong W, Kimura H, Grundy D. The neurophysiology of hydrogen sulfide. *Inflamm Allergy Drug Targets.* 2011;10(2):109–117. doi: 10.2174/187152811794776295
- Kimura H. Hydrogen Sulfide (H₂S)/polysulfides (H₂S_n) signalling and TRPA1 channels modification on sulfur metabolism. *Biomolecules.* 2024;14(1):129. doi: 10.3390/biom14010129
- Levin CM, Cerda MM, Pluth MD. Development and application of carbonyl sulfide-based donors for H₂S delivery. *Acc Chem Res.* 2019;52(9):2723–2731. doi: 10.1021/acs.accounts.9b00315

40. Paul BD, Snyder SH. Gasotransmitter hydrogen sulfide signaling in neuronal health and disease. *Biochem Pharmacol*. 2018;149:101–109. doi: 10.1016/j.bcp.2017.11.019
41. Gong QH, Wang Q, Pan LL, et al. Hydrogen sulfide attenuates lipopolysaccharide-induced cognitive impairment: a pro-inflammatory pathway in rats. *Pharmacol Biochem Behav*. 2010;96(1):52–58. doi: 10.1016/j.pbb.2010.04.006
42. Tang XQ, Yang CT, Chen J, et al. Effect of hydrogen sulphide on beta-amyloid-induced damage in PC12 cells. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2008;35(2):180–186. doi: 10.1111/j.1440-1681.2007.04799.x
43. Fan H, Guo Y, Liang X, et al. Hydrogen sulfide protects against amyloid beta-peptide induced neuronal injury via attenuating inflammatory responses in a rat model. *J Biomed Res*. 2013;27(4):296–304. doi: 10.7555/JBR.27.20120100
44. Xuan A, Long D, Li J, et al. Hydrogen sulfide attenuates spatial memory impairment and hippocampal neuroinflammation in β -amyloid rat model of Alzheimer's disease. *J Neuroinflammation*. 2012;9:202. doi: 10.1186/1742-2094-9-202
45. Eto K, Asada T, Arima K, et al. Brain hydrogen sulfide is severely decreased in Alzheimer's disease. *Biochem Biophys Res Commun*. 2002;293(5):1485–1488. doi: 10.1016/S0006-291X(02)00422-9
46. Zhang LM, Jiang CX, Liu DW. Hydrogen sulfide attenuates neuronal injury induced by vascular dementia via inhibiting apoptosis in rats. *Neurochem Res*. 2009;34(11):1984–1992. doi: 10.1007/s11064-009-0006-9
47. Giuliani D, Ottani A, Zaffe D, et al. Hydrogen sulfide slows down progression of experimental Alzheimer's disease by targeting multiple pathophysiological mechanisms. *Neurobiol Learn Mem*. 2013;104:82–91. doi: 10.1016/j.nlm.2013.05.006
48. Schreier SM, Muellner MK, Steinkellner H, et al. Hydrogen sulfide scavenges the cytotoxic lipid oxidation product 4-HN. *Neuroto Res*. 2010;17(3):249–256. doi: 10.1007/s12640-009-9099-9
49. Zhang JY, Ding YP, Wang Z, et al. Hydrogen sulfide therapy in brain diseases: from bench to bedside. *Med Gas Res*. 2017;7(2):113–119. doi: 10.4103/2045-9912.208517
50. Kida K, Ichinose F. Hydrogen sulfide and neuroinflammation. *Handb Exp Pharmacol*. 2015;230:181–189. doi: 10.1007/978-3-319-18144-8_9
51. Kida K, Yamada M, Tokuda K, et al. Inhaled hydrogen sulfide prevents neurodegeneration and movement disorder in a mouse model of Parkinson's disease. *Antioxid Redox Signal*. 2011;15(2):343–352. doi: 10.1089/ars.2010.3671
52. Hu LF, Lu M, Tiong CX, et al. Neuroprotective effects of hydrogen sulfide on Parkinson's disease rat models. *Aging Cell*. 2010;9(2):135–146. doi: 10.1111/j.1474-9726.2009.00543.x
53. Xie L, Hu LF, Teo XQ, et al. Therapeutic effect of hydrogen sulfide-releasing L-Dopa derivative ACS84 on 6-OHDA-induced Parkinson's disease rat model. *PLoS One*. 2013;8(4):e60200. doi: 10.1371/journal.pone.0060200
54. Cao X, Cao L, Ding L, Bian JS. A new hope for a devastating disease: hydrogen sulfide in parkinson's disease. *Mol Neurobiol*. 2018;55(5):3789–3799. doi: 10.1007/s12035-017-0617-0
55. Karimi SA, Hosseinmardi N, Janahmadi M, et al. The protective effect of hydrogen sulfide (H_2S) on traumatic brain injury (TBI) induced memory deficits in rats. *Brain Res Bull*. 2017;134:177–182. doi: 10.1016/j.brainresbull.2017.07.014
56. Borgens RB, Liu-Snyder P. Understanding secondary injury. *Q Rev Biol*. 2012;87(2):89–127. doi: 10.1086/665457
57. Zhang M, Shan H, Wang T, et al. Dynamic change of hydrogen sulfide after traumatic brain injury and its effect in mice. *Neurochem Res*. 2013;38(4):714–725. doi: 10.1007/s11064-013-0969-4
58. Dai HB, Xu MM, Lv J, et al. Mild hypothermia combined with hydrogen sulfide treatment during resuscitation reduces hippocampal neuron apoptosis via NR2A, NR2B, and PI3K-Akt signaling in a rat model of cerebral ischemia-reperfusion injury. *Mol Neurobiol*. 2016;53(7):4865–4873. doi: 10.1007/s12035-015-9391-z
59. Li T, Liu H, Xue H, et al. Neuroprotective effects of hydrogen sulfide against early brain injury and secondary cognitive deficits following subarachnoid hemorrhage. *Brain Pathol*. 2017;27(1):51–63. doi: 10.1111/bpa.12361
60. Yonezawa D, Sekiguchi F, Miyamoto M, et al. A protective role of hydrogen sulfide against oxidative stress in rat gastric mucosal epithelium. *Toxicology*. 2007;241(1-2):11–18. doi: 10.1016/j.tox.2007.07.020
61. Chu QJ, He L, Zhang W, et al. Hydrogen sulfide attenuates surgical trauma-induced inflammatory response and cognitive deficits in mice. *J Surg Res*. 2013;183(1):330–336. doi: 10.1016/j.jss.2012.12.003
62. Paul BD, Sbodio JI, Xu R, et al. Cystathionine γ -lyase deficiency mediates neurodegeneration in Huntington's disease. *Nature*. 2014;509(7498):96–100. doi: 10.1038/nature13136
63. Kimura H, Shibuya N, Kimura Y. Hydrogen sulfide is a signaling molecule and a cytoprotectant. *Antioxid Redox Signal*. 2012;17(1):45–57. doi: 10.1089/ars.2011.4345

ОБ АВТОРАХ

***Ходасевич Леонид Сергеевич**, д-р мед. наук, профессор;
адрес: 354000, Россия, Сочи, ул. Пластунская, д. 94;
ORCID: 0000-0003-4676-0972;
eLibrary SPIN: 3732-6794;
e-mail: nic_kir@mfil.ru

Полякова Антонина Валентиновна, канд. биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0003-1796-4546;
eLibrary SPIN: 3748-9802;
e-mail: av-polyakova@list.ru

AUTHORS' INFO

***Leonid S. Khodasevich**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
address: 94 Plastunskaya st, Sochi, Russia, 354000;
ORCID: 0000-0003-4676-0972;
eLibrary SPIN: 3732-6794;
e-mail: nic_kir@mfil.ru

Antonina V. Polyakova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;
ORCID: 0000-0003-1796-4546;
eLibrary SPIN: 3748-9802;
e-mail: av-polyakova@list.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643363>

EDN: RJNJCY

Lack of Association Between *I/D* Dimorphism in the *ACE* Gene and Success in a Chosen Sport

Nikita N. Khromov-Borisov¹, Elvira A. Bondareva²¹ Independent researcher, Saint Petersburg, Russia;² Lopukhin Federal Research and Clinical Center of Physical-Chemical Medicine of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: In recent decades, numerous attempts have been made to identify genes that determine various morphofunctional and psychophysiological traits associated with outstanding athletic performance. One of the first to be studied in sports genetics is the insertion/deletion dimorphism in the angiotensin I-converting enzyme (*ACE I/D*) gene.

AIM: To evaluate the utility of the *ACE* gene *I/D* dimorphism (rs1799752) as a predictive marker of exceptional athletic achievement, based on an analysis of the available scientific sources.

MATERIALS AND METHODS: A total of 60 studies were retrieved using the keywords in PubMed, Google Scholar, and eLIBRARY, of which 47 were excluded from analysis due to the lack of control group data. The final sample included 13,776 individuals (3536 athletes and 10,240 controls).

RESULTS: A statistically significant deviation from Hardy–Weinberg equilibrium was detected in nine cases in the athlete subgroups and in six controls (mid- $p < 0.05$). In 56 cases, the fixation index (F_{IS}) significantly deviated from zero, indicating either inbreeding, outbreeding, and/or an excessively wide 95% confidence interval—suggesting probable genotyping errors. Meta-analysis was performed using the MetaGenyo online software. The dominant model yielded the most significant findings. However, even in this case, the obtained odds ratios and their 95% confidence intervals were either practically negligible or characterized by excessively wide confidence ranges. In addition to standard pooled effect estimation (odds ratio), 95% prediction intervals were also calculated, which were 0.58 to 1.15.

CONCLUSION: No sport or athletic specialization was identified in which the *ACE* gene *I/D* dimorphism could serve as a reliable marker for predicting individual predisposition to high athletic performance.

Keywords: sports genetics; *ACE*; gene; sport; genetic polymorphism; SNV; meta-analysis; genetic testing; FixIndAll.

To cite this article:

Khromov-Borisov NN, Bondareva EA. Lack of association between *I/D* dimorphism in the *ACE* gene and success in a chosen sport. *Ekologiya cheloveka* (Human Ecology). 2024;31(11):796–806. DOI: 10.17816/humeco643363 EDN: RJNJCY

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643363>

EDN: RJNJCY

Отсутствие ассоциации диморфизма *I/D* в гене *ACE* с успешностью в выбранном виде спорта

Н.Н. Хромов-Борисов¹, Э.А. Бондарева²¹ Независимый исследователь, Санкт-Петербург, Россия;² Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины им. акад. Ю.М. Лопухина Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В последние десятилетия предпринимались многочисленные попытки отыскать гены, детерминирующие различные морфофункциональные и психофизиологические характеристики, ассоциированные с высокими спортивными достижениями. Первым из изученных в спортивной генетике является инсерционно-делеционный диморфизм (индел) в гене ангиотензин-1-превращающего фермента (*ACE I/D*).

Цель. Оценка пригодности *I/D* варианта в гене *ACE* (rs1799752) в качестве прогностического маркера достижения выдающихся спортивных результатов на основе анализа представленных в литературе данных.

Материалы и методы. Из баз данных PubMed, Google Scholar и eLIBRARY по ключевым словам отобрали 60 исследований; 47 работ были исключены из анализа, потому что в них отсутствовали данные о контрольных группах. Итоговая численность составила 13 776 человек (из них 3536 человек в группе спортсменов и 10 240 — в контрольной).

Результаты. Для девяти случаев в подгруппах спортсменов и для шести в контрольной группе было обнаружено статистически значимое отклонение от равновесия Харди–Вайнберга ($\text{mid-}p < 0,05$). В 56 случаях индекс фиксации F_{IS} имел значимое отличие от нуля как в сторону инбридинга, так и аутбридинга и/или слишком широкий 95% доверительный интервал, что свидетельствует скорее всего об ошибках генотипирования. Для метаанализа использовали онлайн-программу MetaGenyo. Наиболее значимые результаты получены для доминантной модели. Но и в этом случае полученные значения отношения шансов и их 95% доверительные интервалы находятся в диапазоне практически ничтожных либо обладают очень широким доверительным интервалом. Кроме обычной оценки сводного эффекта (отношение шансов), вычисляли 95% предсказательные интервалы: от 0,58 до 1,15.

Заключение. Не были обнаружены виды спорта/спортивные амплуа, для которых *I/D*-диморфизм гена *ACE* являлся бы надёжным маркером при прогнозе индивидуальной предрасположенности к достижению высоких спортивных результатов.

Ключевые слова: спортивная генетика; *ACE*; ген; спорт; генетический полиморфизм; SNV; метаанализ; генетическое тестирование; программа FixIndAll.

Как цитировать:

Хромов-Борисов Н.Н., Бондарева Э.А. Отсутствие ассоциации диморфизма *I/D* в гене *ACE* с успешностью в выбранном виде спорта // Экология человека. 2024. Т. 31, № 11. С. 796–806. DOI: 10.17816/humeco643363 EDN: RJNJCY

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643363>

EDN: RJNJCY

ACE基因I/D多态性与所选运动项目成功之间缺乏关联

Nikita N. Khromov-Borisov¹, Elvira A. Bondareva²¹ Independent researcher, Saint Petersburg, Russia;² Lopukhin Federal Research and Clinical Center of Physical-Chemical Medicine of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

摘要

论证。近几十年来，研究人员开展了大量探索性工作，试图识别与高水平运动成绩相关的不同形态功能和心理生理特征的决定性基因。血管紧张素I转换酶（ACE I/D）基因中的插入/缺失多态性是运动遗传学研究中最早被关注的变异之一。

目的。基于文献中已有数据，评估ACE基因I/D位点（rs1799752）在预测卓越运动成绩方面的标志物潜力。

材料与方法。通过在PubMed、Google Scholar和eLIBRARY数据库中以关键词检索，共筛选出60项研究；其中47项因缺乏对照组数据而被排除在分析之外。最终样本总数为13,776人（其中运动员3,536人，对照组10,240人）。

结果。在运动员亚组中有9项研究、在对照组中有6项研究显示Hardy - Weinberg平衡显著偏离（ $\text{mid-p} < 0.05$ ）。在56项研究中， F_{IS} 固定指数显著偏离0，无论是向近交方向还是远交方向，并/或具有过宽的95%置信区间，表明可能存在基因分型误差。使用MetaGenyo在线工具进行荟萃分析。显性模型的结果最为显著，但即使在这种情况下，其比值比及其95%置信区间也处于几乎无效的范围，或置信区间过宽。除了常规的合并效应评估（优势比）之外，还计算了95%预测区间，范围为0.58至1.15。

结论。未发现任何运动项目或运动角色可将ACE基因I/D多态性作为可靠的遗传预测标志，用于评估个人获得高水平运动成绩的倾向性。

关键词：运动遗传学；ACE；基因；运动；遗传多态性；SNV；荟萃分析；遗传检测；FixIndAll程序。

引用本文：

Khromov-Borisov NN, Bondareva EA. ACE基因I/D多态性与所选运动项目成功之间缺乏关联. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(11):796–806. DOI: 10.17816/humeco643363 EDN: RJNJCY

收到: 24.12.2024

接受: 02.04.2025

发布日期: 19.05.2025

BACKGROUND

In recent decades, numerous attempts have been made to identify genes that determine various morphofunctional and psychophysiological traits associated with outstanding athletic performance [1, 2]. Montgomery et al. [3] and Rivera et al. [4] were the first to study the genetic determinants of athletic performance. In 1997, Bouchard et al. [5] published the first monograph on the genetic basis of physical activity—Genetics of Fitness and Physical Performance. Case-control association studies are based on comparing the frequency of alleles/genotypes in specific genes or extensive genomic regions between athletes and non-athletes. The results of these studies were used to identify specific gene variants associated with an athlete's qualification or their physiological characteristics. Several editions of genetic maps have been published, clearly demonstrating the association or linkage with the phenotype of athletes [6]. Some of the most studied aspects in sports genetics are the insertion-deletion dimorphism (indel) in the angiotensin-I converting enzyme gene (*ACE I/D*) and the *C/T* polymorphism in the alpha-actinin-3 gene (*ACTN3*, rs1815739). Earlier, we conducted a similar test for the *C/T* polymorphism of the *ACTN3* gene [7].

The very concept of an *elite athlete* does not have a clear or unambiguous definition, because of this, it is difficult to compare various case-control studies, comparing the *elite athlete* group to the controls [8]. The lack of clear phenotypic (anthropometric, physiological, ethnic, etc.) characteristics of the examined groups of athletes is one of the bottlenecks in sports genetics. The absence of a clearly defined phenotype inherent to a top-level athlete warrants the development of phenomics, a new field of science at the intersection of sports physiology, psychology, anthropology, and genetics. Phenomics aims to accumulate and analyze multidimensional data on various characteristics of athletes at the organism level [9].

Reasonable criticism is also caused by the inclusion of individuals who do not have any significant sports achievements at the time of the study in the control group of non-athletes [10]. This group often consists of volunteers who have never been engaged in any professional sport and led a sedentary lifestyle. That is why it is impossible to realistically assess their predisposition to high athletic performance. It would probably be advisable to form a control group consisting of individuals who were engaged in the specific sport, but without any significant results, such as being awarded the title of Candidate Master of Sports.

Most of the studies assume that there are alleles (genotypes) that enhance an individual's speed-strength qualities, and opposing genetic variants that enhance aerobic qualities. Conventionally speaking, the existence of the genotype of an outstanding sprinter and the opposite genotype of an outstanding long-distance runner is suggested. Sports that require an individual to simultaneously exhibit high-speed strength and aerobic qualities (all-around events, complex

coordination sports, martial arts) are not suitable for this approach. Due to the great diversity of sports, sports disciplines, and sports roles, it is necessary to assess the potential of sports genomics in creating sets of genetic markers that increase an individual's chances of achieving high sports performance in a chosen sport.

AIM. The aim of the study was to evaluate the utility of the *ACE* gene *I/D* dimorphism (rs1799752) as a predictive marker of exceptional athletic performance, based on the analysis of the available scientific sources.

MATERIALS AND METHODS

The search was conducted using the principles of the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA) [11]. Publications for the analysis were retrieved using the keywords: *ACE*, *sport genetics*, *athletes*, *SNP*, *sport selection* in the PubMed, Google Scholar, and eLIBRARY databases. The analysis included full-text articles that met the study objectives. As a result of the search, 60 studies were selected, and 47 studies were excluded from the analysis due to insufficient data on control groups. The final sample included 13,776 individuals (3536 athletes and 10,240 controls) [12–35].

For each analyzed study, the correspondence of genotype frequencies with the Hardy–Weinberg equilibrium (HWE) was checked. Mid- p -values, i.e., the exact p -values adjusted for the conservativeness of exact tests [36], were calculated using an online program (<https://www.cog-genomics.org/software/stats>). It is known that p -values reflect neither the probability of the absence of an effect (the probability of the null hypothesis), nor the sign of the effect, or its size. Therefore, interval estimation of the size of the effect is more informative and has long become a mandatory procedure in statistical analysis. One of the main indicators of observed genotype frequency deviation from Hardy–Weinberg equilibrium is the fixation index F_{IS} (inbreeding coefficient). Thus, to check the overall correspondence of genotype frequencies with Hardy–Weinberg equilibrium for F_{IS} , 95% confidence intervals (CI) were calculated and checked to see whether they cover the equilibrium value of $F_{IS}=0$ or not. To verify the concordance of the frequencies of each genotype with those expected from HWE, 95% CIs were calculated and checked to see whether they cover the expected values or not. To assess the equality of genotype or allele frequencies in the compared groups, a 95% CIs for the difference in D frequencies were calculated and checked whether they cover the indifferent value $\Delta=0$ or not. To calculate these parameters, we used the original FixIndAll program, which the authors will provide to interested researchers upon request. Unlike other similar programs, in FixIndAll analysis of genotype and allele frequencies, their comparisons, and accordance with Hardy–Weinberg equilibrium is based on the calculation of Bayesian intervals of statistically permissible values (credible intervals) for them, for their differences, and for F_{IS} .

For meta-analysis, the MetaGenyo online program (<https://metagenyo.genyo.es/>) was used [37]. In addition to the usual assessment of the pooled effect (OR, odds ratio), 95% prediction intervals (PI) were calculated using the Meta-Essentials package (<https://www.erim.eur.nl/research-support/meta-essentials/>) [38] and/or CMA Prediction Intervals (<https://meta-analysis-workshops.com/pages/predictionintervals>).

RESULTS

A statistically significant deviation from Hardy–Weinberg equilibrium was detected in nine cases in the athlete subgroups and in six controls ($\text{mid-}p < 0.05$). Of them, five and three were with $\text{mid-}p < 0.01$, respectively. In 56 subgroups, the fixation index (F_{IS}) significantly deviated from zero, indicating either inbreeding, outbreeding, and/or an excessively wide 95% confidence interval, suggesting probable genotyping errors. In three cases [12, 17, 33], statistically significant differences in allele frequencies (Δ) were found between the groups of athletes and the control group. However, these studies demonstrated a significant deviation of F_{IS} from zero, and in the study by Varillas-Delgado et al. [33], there was a deviation from Hardy–Weinberg equilibrium in the control group. In all other cases, the differences between genotype frequencies were not statistically significant.

The MetaGenyo program provides meta-analysis for three inheritance models: dominant, codominant, and recessive. The most significant results were obtained for the dominant model, which is represented in Fig. 1 and in Table 1. But even in this case, all 95% CIs for OR (except for one) cover the indifferent value of $\text{OR}=1$ or have a very wide CI. No sport or athletic specialization was identified in which the *ACE* gene *I/D* dimorphism could serve as a reliable marker for predicting individual predisposition to high athletic performance.

DISCUSSION

The obtained results reinforce doubts that adaptively and evolutionarily neutral genetic polymorphism can serve as a tool for selection or prediction in sports [10, 39]. Currently, most of the identified associations have not proven their practical value.

The assumption that athletic talent is a fixed trait that can be identified at an early stage, the belief in the exceptional influence of talent on the development of athletic qualities, various levels of risk in decision-making with regard to athlete selection, biases in approaches to athlete selection, inadequacy of modern statistical approaches, issues with using current results to predict future outcomes, short-term benefits and competition between different sports for promising athletes dramatically decrease the overall effectiveness of sports development systems [40]. One of the most significant issues in predicting high athletic performance based on presumed individual genetic predisposition is uncertainty, measured using PI [41]. Most meta-analyses so far are limited to reporting confidence intervals only. However, this is insufficient. CI is an indicator of the accuracy of effect measurement, but it does not indicate the degree of variation in effect size. Variation, the dispersion of the effect, is reflected by the confidence interval, which is mandatorily calculated in meta-analyses [41, 42]. In this meta-analysis, the 95% CI ranges from 0.58 to 1.16. It covers the indifferent value of $\text{OR}=1$, meaning it is not statistically significant. This means that in 95% of subsequent studies comparable to those presented in this analysis, the actual effect size will fall within this interval and will generally be practically useless.

The practical infeasibility of using individual genes to predict sports talent at the individual level is due to the following limitations: genotyped variants are not functionally significant and show incomplete linkage with other significant gene variants; low statistical power of studies, lack of population stratification, heterogeneity of the phenotypes and loci studied. It was previously shown that the effectiveness of using a genetic marker for testing a binary trait (healthy/sick, athlete/non-athlete) depends on the frequency of occurrence of the given genotype (allele, haplotype) and the frequency of manifestation of the studied phenotype [43]. If the OR is less than 2.2, then at any frequency of marker occurrence, it does not have any diagnostic and/or prognostic value. Only with an OR greater than 5.4 and a population frequency above 0.3 can be recognized as a marker suitable for mass screenings and professional selection [43]. But in sports genetics, such markers have not been identified and are unlikely to ever be discovered. There are such markers for certain cancers.

Table 1. Results of the meta-analysis for the dominant model (DD+ID vs II)

Model	OR	95% CI	p -value	p -value adjusted for multiple comparisons	95% PI
Fixed effect	0.82	[0.74; 0.90]	$8 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-4}$	[0.58; 1.16]
Random effect	0.81	[0.72; 0.12]	0.00042	0.0029	[0.57; 1.15]
Heterogeneity and publication bias tests					
τ^2	H	I^2	Q	p -value	Egger's test p -value
0.03	1.12	0.20	48.7	0.14	0.47

Note. CI, confidence interval; OR, odds ratio; PI, prediction interval.

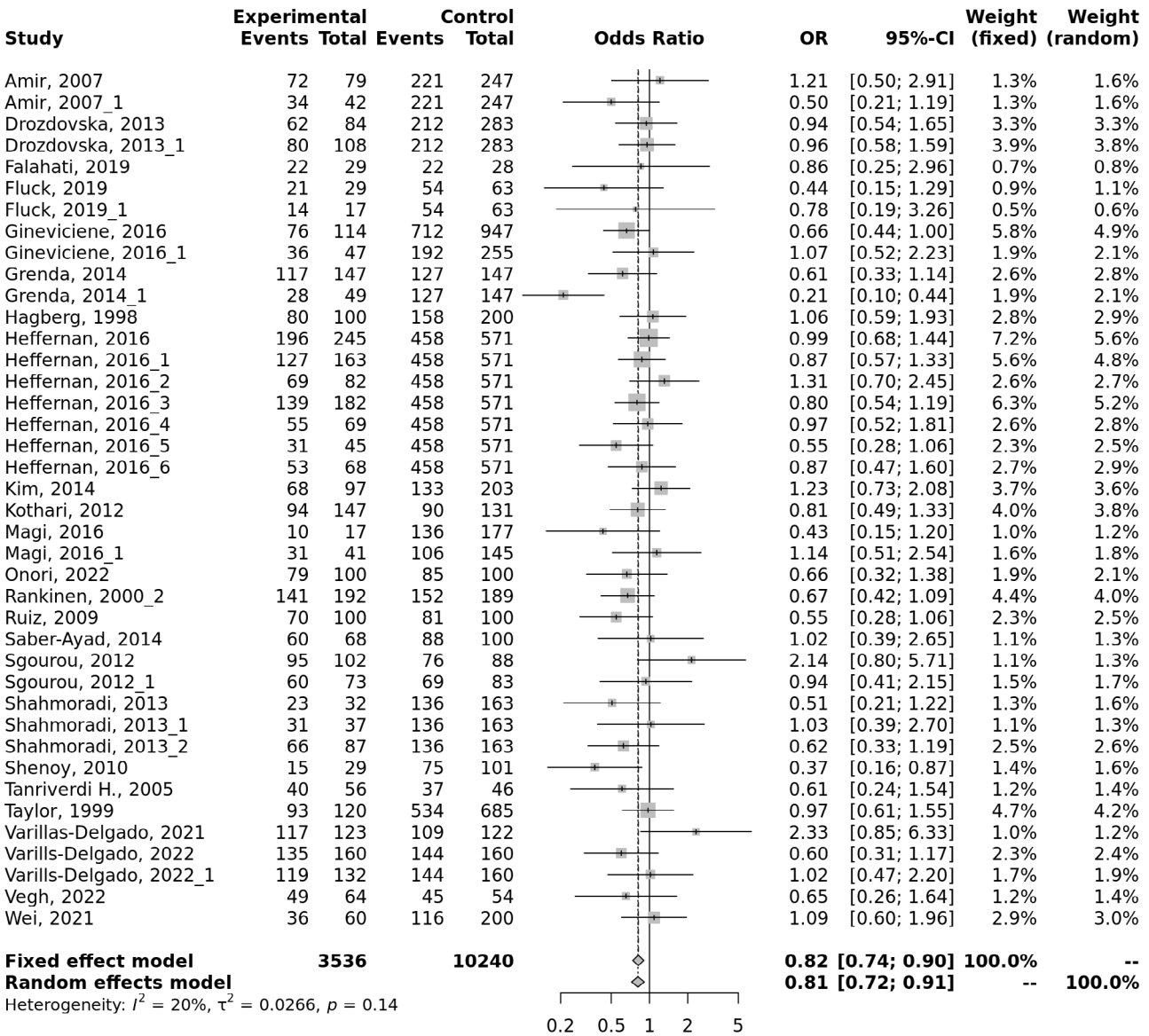


Fig. 1. Forest-plot for the dominant model (*DD+ID* vs *II*) meta-analysis.

Contradictory research results, as well as the lack of data on their real practical value for the search, selection, and profiling of young athletes and the choice of a training program, caused leading scientists in the field of sports genetics to release a joint statement in 2016. The outline of the statement is as follows: there is currently no scientifically proven basis to consider that the studied molecular-genetic markers have prognostic value for selecting talented athletes or for individualizing the training process; test systems based on the results of these studies are misleading and should not be used for the stated purposes [44]. Undoubtedly, the complex of morphofunctional and psychophysiological traits inherent in high-level athletes is based on a multitude of genes. However, the mechanisms that determine these connections are still virtually unexplored [45].

In recent years, the number of commercial companies providing direct-to-consumer (DTC) services for predicting individual predisposition to a specific type of sport/group

of sports and injury risk has significantly increased [39]. In several countries, DTC tests are widely used as one of the stages of selecting gifted athletes at the initial stages [44]. This approach and the scale that DTC tests have acquired in sports genetics raise reasonable concerns in the professional scientific community both in the Russian Federation [10] and abroad [46]. Such services are provided based on research of a limited number of loci (from 1 to 37 depending on the company). Some companies do not provide the results of genotyping claimed in gene testing, and the criteria for conclusions to be based on are not universally accepted in the global community. There is no single diagnostic procedure that has been approved by official regulatory and supervisory authorities and has proven effectiveness for assessing the claimed qualities in children, adolescents, and/or adults [45–47]. Most test systems have not undergone randomized blind trials. In fact, none of these companies provide information on the quantitative (statistical) characteristics of the

predictive ability of their test systems (specific values of *PPV*, *NPV*, likelihood ratios, and the limits of their interval estimates) [45].

Let us assume that we have identified a certain number of independent (unlinked) genetic markers that actually have a significant impact on the development and manifestation of traits necessary for achieving high athletic performance. Then the question arises regarding the probability of detecting a carrier of all these variants (G^+) in the population, and the predictive ability of a diagnostic test based on the analysis of these variants/variant Table 2 represents quantitative assessments of these parameters, indicating that theoretically, if an individual has 9–10 predisposing variants, a high predictive probability (0.91–0.95) can be achieved. However, the probability of existence of such an individual in the population is negligible (10^{-9} – 10^{-10}): less than one person in the entire population of the Earth. And this is despite the fact that these calculations do not consider the inevitable epistasis and pleiotropy, where different genotypes can suppress effects of each other.

As we already mentioned, the phenotype of an elite athlete is complex, with each of its individual components being polygenic in nature, meaning it is controlled by several genes. Obviously, there is a need to simultaneously consider multiple genes (a polygenic profile) for a quantitative assessment of their cumulative impact on the phenotype and the chances of a particular individual achieving outstanding athletic results. The next stage in the development of sports genetics was the introduction of a method for calculating the total genotype score (TGS) to assess the polygenic profile of athletes [48]. The first model for assessing the polygenic profile and its associations with athletic achievements was the additive model proposed by Williams and Folland in 2008 [48]. It involves assignment of scores to alternative genotypes of each polymorphic system based on the results of association studies, then the results for all studied systems are summed and divided by the total number of alleles. This approach is also known as the polygenic or genetic predisposition score [49].

The assessment of a polygenic profile, including 7 genes, in a group of elite long-distance runners led to the conclusion that the average genetic score of the athletes is higher than that of the control group [25]. This result was confirmed in a group of athletes highly qualified in endurance sports (using 6 genes), with the average score being higher than that of the controls and long-distance runners [50]. The presence of all six genotypes associated with endurance sports was found in 9% of athletes, and no long-distance runner had the “ideal” polygenic profile. The distribution spectra of TGS in the control group and the groups of endurance and aerobic athletes significantly overlap. This means that many individuals in the control group had a TGS equal to or exceeding that of highly qualified athletes [50]. The analysis of TGS for a larger number of genes (22 and 23) showed significant similarity between groups of athletes and non-athletes, which also does not allow using this approach to identify individuals

with a greater or lesser predisposition to a particular sport/group of sports [51].

The inadequacy of calculating TGS for assessing a polygenic profile to identify gifted individuals at the individual level, is illustrated by one of the recent studies [52]. The control group included 503 non-athletes, while the experimental group consisted of five international-level track and field athletes, including one Olympic champion. Two TGS values were calculated based on different polygenic profiles: 68 loci for stayers and 48 loci for sprinters. It turned out that both TGS values in sprinter athletes were higher than those in elite long-distance runners. Moreover, in 70 representatives of the control group, the “sprint” TGS values were higher than those of elite sprinters. A similar result was obtained in a Japanese study on the polygenic profile for marathon runners ($n = 211$), which included 21 genes. In the control group, the TGS ($n = 649$) was $49.0\% \pm 7.6\%$, which was higher than that in professional stayers at the international ($48.2\% \pm 7.0\%$), national ($49.1\% \pm 5.7\%$), and regional ($47.3\% \pm 7.6\%$) levels [1].

The use of a large number of markers leads to the probability of detecting a carrier with an ideal or near-ideal polygenic profile being negligible.

In the overwhelming majority of cases, commercial entities providing genetic predisposition services to the general public, do not consider themselves obligated to adhere to international standards for the use and protection of the data they obtain. Such structures often transfer the obtained data to third parties (research groups or other organizations) and also use the accumulated data for purposes not specified in the informed consent [44, 46].

Regarding minors, the following issues should be addressed: whether sport clubs, sections, and state institutions may require trainees to provide data on individual genetic

Table 2. Correlation of predictabilities with the number of independent predisposing genetic markers combined in the genotype of an individual

The number of predisposing genetic variants in the genotype of an individual	PPV	The proportion of carriers of the predisposing genotype G^+ in the population
1	0.020	0.1
2	0.039	0.01
3	0.075	0.001
4	0.14	0.0001
5	0.24	10^{-5}
6	0.39	10^{-6}
7	0.71	10^{-7}
8	0.84	10^{-8}
9	0.91	10^{-9}
10	0.95	10^{-10}

Note: *PPV*, probability of the presence of the studied phenotype in a carrier of a given genotype (positive predictive value). It is simplistically assumed that the prevalence of each genotype is the same (0.1).

characteristics; whether it is permissible to deny a young athlete the right to engage in a specific sport based on genetic data; who can have access to data on the genetic parameters of a minor; what is the mechanism for protecting a child from discrimination based on genetic reasons; what consequences may arise for an athlete if they refuse to undergo genetic testing [47]. It should also be recognized that in the practical use of such genetic testing, there is an inevitable high risk of obtaining both false-positive and false-negative results and conclusions based on them [10, 43]. This approach may be acceptable at the population level, but cannot be used for individual assessment. Currently, the predictive ability of sports genetics is zero. There is no direct evidence that genetic indicators of athlete success exist. An athlete's performance primarily depends on socioeconomic, cultural, and environmental factors. So, the stopwatch predicts a runner's athletic achievements much better than all the genetics.¹

Despite numerous attempts to identify genetic variants associated with success in high-performance sports, progress in this area remains insignificant and disappointing. The advantage of genetic testing over standard pedagogical and anthropometric testing also remains open. We should keep in mind that a specific phenotype can be a product of completely different genotypes and even genomes. This is strongly evidenced by the phenomenon of doppelgängers, where unrelated individuals, sometimes living on different continents, look surprisingly alike. This example illustrates the complexity of the task of guessing or predicting the phenotypic manifestation of a given specific genotype. The phenotype prediction algorithm should take into account the frequency of phenotypic expression of a specific genotype (penetrance), even if it concerns rare alleles that have a pronounced effect on the phenotype. For example, carrying rare high-penetrance pathogenic alleles that cause monogenic diseases in children does not always lead to the development of the disease. The study of more than half a million genomes revealed 13 adults who were carriers of eight rare pathogenic variants, yet the disease did not manifest in them [53].

CONCLUSION

The development of modern technologies in the field of genomics (high-throughput sequencing, formal analysis of big data, use of artificial intelligence, genome editing) should contribute to the emergence of tools for personalized medicine and gene therapy as part of everyday practice. However, the emerging opportunities raise some ethical, moral, social, and personal questions for society. The field of genomics in physical activity is also influenced by emerging genomic

technologies, warrants an urgent need to develop common principles and approaches to the procedures of genetic testing for athletes. Modern technologies for obtaining genetic data and the rate of their accumulation significantly outpace our current ability to interpret and correctly apply them.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: N.N. Khromov-Borisov: data collection and analysis, formal analysis, writing—original draft, writing—review & editing; E.A. Bondareva: sources review, data collection and analysis, writing—original draft, writing—review & editing. All authors confirm that their authorship meets the ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

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.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Н.Н. Хромов-Борисов — сбор и анализ литературных источников, статистический анализ, написание текста и редактирование статьи; Э.А. Бондарева — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка, написание и редактирование текста 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).

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.

¹ The reasons why Kenyans always win marathons lie in one region. Available at: <http://news.menshealth.com/why-kenyans-keep-winning-marathons/2011/06/03/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Rankinen T, Fuku N, Wolfarth B, et al. No evidence of a common DNA variant profile specific to world class endurance athletes. *PLoS One*. 2016;11(1):e0147330. doi: 10.1371/journal.pone.0147330
- Bouchard C, Sarzynski MA, Rice TK, et al. Genomic predictors of the maximal O₂ uptake response to standardized exercise training programs. *J Appl Physiol* (1985). 2011;110(5):1160–1170. doi: 10.1152/jappphysiol.00973.2010
- Montgomery HE, Marshall R, Hemingway H, et al. Human gene for physical performance. *Nature*. 1998;393(6682):221–222. doi: 10.1038/30374
- Rivera MA, Wolfarth B, Dionne FT, et al. Three mitochondrial DNA restriction polymorphisms in elite endurance athletes and sedentary controls. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30(5):687–690. doi: 10.1097/00005768-199805000-00007
- Bouchard C, Malina RM, Pérusse L. *Genetics of fitness and physical performance*. Human Kinetics: Champaign, IL, USA; 1997. 400 p.
- Bray MS, Hagberg JM, Pérusse L, et al. The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2006–2007 update. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(1):35–73. doi: 10.1249/mss.0b013e3181844179
- Godina E, Khromov-Borisov N, Bondareva E. Prediction of success in sports based on assumed individual genetic predisposition: lack of association with the C>T variant in the *ACTN3* gene. *J Physiol Anthropol*. 2025;44(1):6. doi: 10.1186/s40101-025-00386-7
- Tanisawa K, Wang G, Seto J, et al. Sport and exercise genomics: the FIMS 2019 consensus statement update. *Br J Sports Med*. 2020;54(16):969–975. doi: 10.1136/bjsports-2019-101532
- Varillas-Delgado D, Del Coso J, Gutiérrez-Hellín J, et al. Genetics and sports performance: the present and future in the identification of talent for sports based on DNA testing. *Eur J Appl Physiol*. 2022;122(8):1811–1830. doi: 10.1007/s00421-022-04945-z
- Khromov-Borisov NN. Fortune telling on gene grounds. In: *International scientific and practical conference named after V.L. Ginzburg and E.P. Kruglyakov "Pseudoscience in the modern world: media sphere, higher education, school"*. Saint Petersburg; 2016. P. 62–64. (In Russ.) doi: 10.13140/RG.2.1.1442.2644 EDN: YQLKLR
- Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71
- Amir O, Amir R, Yamin C, et al. The ACE deletion allele is associated with Israeli elite endurance athletes. *Exp Physiol*. 2007;92(5):881–886. doi: 10.1113/expphysiol.2007.038711
- Drozdzowska SB, Dosenko VE, Ahmetov II, Ilyin VN. The association of gene polymorphisms with athlete status in ukrainians. *Biol Sport*. 2013;30(3):163–167. doi: 10.5604/20831862.1059168
- Falahati A, Arazi H. Association of ACE gene polymorphism with cardiovascular determinants of trained and untrained Iranian men. *Genes Environ*. 2019;41:8. doi: 10.1186/s41021-019-0126-7
- Flück M, Kramer M, Fitze DP, et al. Cellular aspects of muscle specialization demonstrate genotype — phenotype interaction effects in athletes. *Front Physiol*. 2019;10:526. doi: 10.3389/fphys.2019.00526
- Gineviciene V, Jakaitiene A, Aksenov MO, et al. Association analysis of ACE, ACTN3 and PPARGC1A gene polymorphisms in two cohorts of European strength and power athletes. *Biol Sport*. 2016;33(3):199–206. doi: 10.5604/20831862.1201051
- Grenda A, Leońska-Duniec A, Kaczmarczyk M, et al. Interaction between ACE I/D and ACTN3 R57X polymorphisms in Polish competitive swimmers. *J Hum Kinet*. 2014;42:127–136. doi: 10.2478/hukin-2014-0067
- Hagberg JM, Ferrell RE, McCole SD, et al. V02 max is associated with ACE genotype in postmenopausal women. *J Appl Physiol* (1985). 1998;85(5):1842–1846. doi: 10.1152/jappl.1998.85.5.1842
- Heffernan SM, Kilduff LP, Erskine RM, et al. Association of ACTN3 R57X but not ACE I/D gene variants with elite rugby union player status and playing position. *Physiol Genomics*. 2016;48(3):196–201. doi: 10.1152/physiolgenomics.00107.2015
- Kim JH, Jung ES, Kim CH, et al. Genetic associations of body composition, flexibility and injury risk with ACE, ACTN3 and COL5A1 polymorphisms in Korean ballerinas. *J Exerc Nutrition Biochem*. 2014;18(2):205–214. doi: 10.5717/jenb.2014.18.2.205
- Kothari ST, Chheda P, Chatterjee L, Das BR. Molecular analysis of genetic variation in angiotensin I-converting enzyme identifies no association with sporting ability: First report from Indian population. *Indian J Hum Genet*. 2012;18(1):62–65. doi: 10.4103/0971-6866.96653
- Mägi A, Unt E, Prans E, et al. The association analysis between ACE and ACTN3 genes polymorphisms and endurance capacity in young cross-country skiers: longitudinal study. *J Sports Sci Med*. 2016;15(2):287–294.
- Onori ME, Pasqualetti M, Moretti G, et al. Genetics and sport injuries: new perspectives for athletic excellence in an Italian court of rugby union players. *Genes (Basel)*. 2022;13(6):995. doi: 10.3390/genes13060995
- Rankinen T, Pérusse L, Gagnon J, et al. Angiotensin-converting enzyme ID polymorphism and fitness phenotype in the HERITAGE family study. *J Appl Physiol* (1985). 2000;88(3):1029–1035. doi: 10.1152/jappl.2000.88.3.1029
- Ruiz JR, Gómez-Gallego F, Santiago C, et al. Is there an optimum endurance polygenic profile? *J Physiol*. 2009;587(Pt 7):1527–1534. doi: 10.1113/jphysiol.2008.166645
- Saber-Ayad MM, Nassar YS, Latif IA. Angiotensin-converting enzyme I/D gene polymorphism affects early cardiac response to professional training in young footballers. *J Renin Angiotensin Aldosterone Syst*. 2014;15(3):236–242. doi: 10.1177/1470320312471150
- Sgourou A, Fotopoulos V, Kontos V, et al. Association of genome variations in the renin-angiotensin system with physical performance. *Hum Genomics*. 2012;6(1):24. doi: 10.1186/1479-7364-6-24
- Shahmoradi S, Ahmadipour A, Salehi M. Evaluation of ACE gene I/D polymorphism in Iranian elite athletes. *Adv Biomed Res*. 2014;3:207. doi: 10.4103/2277-9175.143242
- Shenoy S, Tandon S, Sandhu J, Bhanwer AS. Association of angiotensin converting enzyme gene polymorphism and Indian army triathletes performance. *Asian J Sports Med*. 2010;1(3):143–150. doi: 10.5812/asjrm.34855
- Tanriverdi H, Evrengul H, Tanriverdi S, et al. Improved endothelium dependent vasodilation in endurance athletes and its relation with ACE I/D polymorphism. *Circ J*. 2005;69(9):1105–1110. doi: 10.1253/circj.69.1105
- Taylor RR, Mamotte CD, Fallon K, van Bockxmeer FM. Elite athletes and the gene for angiotensin-converting enzyme. *J Appl Physiol* (1985). 1999;87(3):1035–1037. doi: 10.1152/jappl.1999.87.3.1035
- Varillas-Delgado D, Tellería Orriols JJ, Del Coso J. Genetic profile in genes associated with cardiorespiratory fitness in elite Spanish male endurance athletes. *Genes (Basel)*. 2021;12(8):1230. doi: 10.3390/genes12081230
- Varillas-Delgado D, Morencos E, Gutiérrez-Hellín J, et al. Genetic profiles to identify talents in elite endurance athletes and professional football players. *PLoS One*. 2022;17(9):e0274880. doi: 10.1371/journal.pone.0274880
- Végh D, Reichwalderová K, Slaninová M, Vavák M. The effect of selected polymorphisms of the *ACTN3*, *ACE*, *HIF1A* and *PPARA* genes on the immediate supercompensation training effect of elite Slovak endurance runners and football players. *Genes (Basel)*. 2022;13(9):1525. doi: 10.3390/genes13091525
- Wei Q. The ACE and ACTN3 polymorphisms in female soccer athletes. *Genes Environ*. 2021;43(1):5. doi: 10.1186/s41021-021-00177-3

36. Graffelman J, Moreno V. The mid p-value in exact tests for Hardy-Weinberg equilibrium. *Stat Appl Genet Mol Biol*. 2013;12(4):433–448. doi: 10.1515/sagmb-2012-0039
37. Martorell-Marugan J, Toro-Dominguez D, Alarcon-Riquelme ME, Carmona-Saez P. MetaGenyo: a web tool for meta-analysis of genetic association studies. *BMC Bioinformatics*. 2017;18(1):563. doi: 10.1186/s12859-017-1990-4
38. Suurmond R, van Rhee H, Hak T. Introduction, comparison, and validation of Meta-Essentials: A free and simple tool for meta-analysis. *Res Synth Methods*. 2017;8(4):537–553. doi: 10.1002/jrsm.1260
39. Konopka MJ, Sperlich B, Rietjens G, Zeegers MP. Genetics and athletic performance: a systematic SWOT analysis of non-systematic reviews. *Front Genet*. 2023;14:1232987. doi: 10.3389/fgene.2023.1232987
40. Baker J, Schorer J, Wattie N. Compromising talent: issues in identifying and selecting talent in sport. *Quest*. 2017;70(1):1–16. doi: 10.1080/00336297.2017.1333438
41. Borenstein M. How to understand and report heterogeneity in a meta-analysis: The difference between I-squared and prediction intervals. *Integr Med Res*. 2023;12(4):101014. doi: 10.1016/j.imr.2023.101014
42. Borg DN, Impellizzeri FM, Borg SJ, et al. Meta-analysis prediction intervals are under reported in sport and exercise medicine. *Scand J Med Sci Sports*. 2024;34(3):e14603. doi: 10.1111/sms.14603
43. Rubanovich AV, Khromov-Borisov NN. Theoretical analysis of the predictability indices of the binary genetic tests. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2014;4(2):146–158. doi: 10.1134/S2079059714020087 EDN: SKRQNF
44. Webborn N, Williams A, McNamee M, et al. Direct-to-consumer genetic testing for predicting sports performance and talent identification: Consensus statement. *Br J Sports Med*. 2015;49(23):1486–1491. doi: 10.1136/bjsports-2015-095343
45. Khromov-Borisov NN, Rubanovich AV. Evolutionary medical genomics. *Molecular Medicine*. 2014;2(2):13–17. EDN: SDBWEL
46. Psatha A, Al-Mahayri ZN, Mitropoulou C, Patrinos GP. Meta-analysis of genomic variants in power and endurance sports to decode the impact of genomics on athletic performance and success. *Hum Genomics*. 2024;18(1):47. doi: 10.1186/s40246-024-00621-9
47. Harris A, Kelly SE, Wyatt S. Counseling customers: emerging roles for genetic counselors in the direct-to-consumer genetic testing market. *J Genet Couns*. 2013;22(2):277–288. doi: 10.1007/s10897-012-9548-0
48. Williams AG, Folland JP. Similarity of polygenic profiles limits the potential for elite human physical performance. *J Physiol*. 2008;586(1):113–121. doi: 10.1113/jphysiol.2007.141887
49. Pranckeviciene E, Gineviciene V, Jakaitiene A, et al. Total genotype score modelling of polygenic endurance-power profiles in Lithuanian elite athletes. *Genes*. 2021;12(7):1067. doi: 10.3390/genes12071067
50. Ruiz JR, Arteta D, Buxens A, et al. Can we identify a power-oriented polygenic profile? *J Appl Physiol (1985)*. 2010;108(3):561–566. doi: 10.1152/japplphysiol.01242.2009
51. Hughes DC, Day SH, Ahmetov II, Williams AG. Genetics of muscle strength and power: polygenic profile similarity limits skeletal muscle performance. *J Sports Sci*. 2011;29(13):1425–1434. doi: 10.1080/02640414.2011.597773
52. Pickering C, Kiely J. Can genetic testing predict talent? A case study of 5 elite athletes. *Int J Sports Physiol Perform*. 2021;16(3):429–434. doi: 10.1123/ijsp.2019-0543
53. Chen R, Shi L, Hakenberg J, et al. Analysis of 589,306 genomes identifies individuals resilient to severe Mendelian childhood diseases. *Nat Biotechnol*. 2016;34(5):531–538. doi: 10.1038/nbt.3514

AUTHORS' INFO

***Elvira A. Bondareva**, Cand. Sci. (Biology);
address: 1a Malaya Pirogovskaya st, Moscow, Russia, 119435;
ORCID: 0000-0003-3321-7575;
eLibrary SPIN: 6732-2072;
e-mail: bondareva.e@gmail.com

Nikita N. Khromov-Borisov, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0001-6435-7218;
eLibrary SPIN: 1086-2105;
e-mail: nikita.khromovborisov@gmail.com

ОБ АВТОРАХ

***Бондарева Эльвира Александровна**, канд. биол. наук;
адрес: Россия, 119435, Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1а;
ORCID: 0000-0003-3321-7575;
eLibrary SPIN: 6732-2072;
e-mail: bondareva.e@gmail.com

Никита Николаевич Хромов-Борисов, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0001-6435-7218;
eLibrary SPIN: 1086-2105;
e-mail: nikita.khromovborisov@gmail.com

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643398>

EDN: EQNEBN

Результаты оценки стандартных показателей функциональной спектроскопии ближнего инфракрасного диапазона у молодых людей, проживающих в различных регионах европейской части России

А.Б. Мулик¹, И.В. Улесикова¹, Н.О. Назаров², М.А. Кунавин³, А.Г. Соловьёв⁴, Ю.А. Шатыр¹¹ Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия;² Центр внедрения изменений Министерства здравоохранения Московской области, Красногорск, Россия;³ Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия;⁴ Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В последние годы появляются многочисленные попытки соотнесения результатов функциональной спектроскопии ближнего инфракрасного диапазона (fNIRS), полученных разными авторами с использованием различной приборной базы. Для достижения консенсуса в нормировании показателей fNIRS, интерпретации и воспроизведения экспериментальных данных требуется сравнительная оценка этих показателей в группах здоровых людей — жителей различных природно-климатических зон.

Цель. Охарактеризовать проявление стандартных показателей fNIRS у молодых людей, проживающих в различных условиях среды жизнедеятельности.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 100 клинически здоровых мужчин и женщин европеоидной расы 18–25 лет, коренных жителей трёх регионов европейской части России: Архангельской, Волгоградской областей и Республики Крым. Для оценки гемодинамического ответа коры головного мозга в ближнем инфракрасном диапазоне применяли прибор Cortivision Poton Cap C20 (Cortivision, Польша). Схема исследования включала в себя 3 этапа: 1-й этап — фон fNIRS с открытыми глазами (30'); 2-й этап — предъявление теста «Простая зрительно-моторная реакция» (2') + предъявление теста «Сложная зрительно-моторная реакция» (2') + предъявление теста «Крепелин» (3'); 3-й этап — постнагрузочные значения fNIRS с открытыми глазами (1'). Для последующего анализа данных учитывали среднеарифметические значения показателей концентрации оксигенированного и деоксигенированного гемоглобина (ммоль/л) на этапе фона и постнагрузочных значений fNIRS.

Результаты. Сравнительный анализ региональной выраженности фоновых и постнагрузочных значений показателей fNIRS не выявил статистически значимых различий между представителями населения модельных регионов, характеризующихся существенным перепадом уровня комфортности среды обитания (Архангельская область — 6 баллов, Волгоградская область — 17 баллов, Республика Крым — 25 баллов). Вместе с тем наглядно проявляются различия фоновой выраженности показателей fNIRS между выборочной совокупностью мужчин и выборочной совокупностью женщин, участвовавших в исследовании. Выявлена повторяемость однонаправленных отличий между мужчинами и женщинами, обнаруженных в фоновых значениях оксигенированного и деоксигенированного гемоглобина в одних и тех же областях коры головного мозга. В обоих случаях статистически значимые различия концентраций были определены в симметричных лобных (AF4-AFp2, AF3-AFp1) и височных (FTT8-T8, FTT7-T7) отведениях. У женщин зарегистрированы более высокие значения показателей в лобных отделах коры больших полушарий, а у мужчин, наоборот, концентрации изучаемых форм гемоглобина были выше в височных отделах.

Заключение. Охарактеризованы проявления стандартных показателей fNIRS у молодых людей, проживающих в различных условиях среды жизнедеятельности. Представленные данные будут способствовать повышению надёжности и воспроизводимости результатов исследований, выполненных с использованием технологии fNIRS, и тем самым стимулировать внедрение передовых методов нейровизуализации функций мозга в исследовательскую деятельность и клиническую практику.

Ключевые слова: сосудисто-нервная связь; функциональная ближняя инфракрасная спектроскопия; fNIRS; половые различия показателей fNIRS.

Как цитировать:

Мулик А.Б., Улесикова И.В., Назаров Н.О., Кунавин М.А. Соловьёв А.Г., Шатыр Ю.А. Результаты оценки стандартных показателей функциональной спектроскопии ближнего инфракрасного диапазона у молодых людей, проживающих в различных регионах европейской части России // Экология человека. 2024. Т. 31, № 11. С. 807–818. DOI: [10.17816/humeco643398](https://doi.org/10.17816/humeco643398) EDN: EQNEBN

Рукопись поступила: 25.12.2024

Рукопись одобрена: 07.04.2025

Опубликована online: 29.05.2025

Standard Functional Near-Infrared Spectroscopy Parameters in Young Adults Living in Different Regions of European Russia

Aleksandr B. Mulik¹, Irina V. Ulesikova¹, Nikita O. Nazarov², Mikhail A. Kunavin³, Andrey G. Soloviev⁴, Yulia A. Shatyr¹

¹ Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia;

² Change Implementation Center of the Ministry of Health of the Moscow Region, Krasnogorsk, Russia;

³ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia;

⁴ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: In recent years, numerous studies have attempted to compare the results of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) obtained by different authors using various devices. To reach a consensus on standardizing fNIRS parameters, interpreting data, and ensuring reproducibility, comparative assessments of these parameters in healthy individuals from different geographical and climatic regions are needed.

AIM: To characterize standard fNIRS parameters in young adults living in various environmental conditions.

MATERIALS AND METHODS: The study included 100 clinically healthy Caucasian men and women aged 18–25 years, all native residents of three regions in European Russia: Arkhangelsk Oblast, Volgograd Oblast, and the Republic of Crimea. Hemodynamic responses of the cerebral cortex in the near-infrared range were assessed using the Cortivision Poton Cap C20 device (Cortivision, Poland). The experimental protocol consisted of three stages: Stage 1: baseline fNIRS recording with eyes open (30'); Stage 2: administration of the following tasks: Simple Visual-Motor Reaction (2'), Complex Visual-Motor Reaction (2'), and Kraepelin Test (3'); Stage 3: post-task fNIRS recording with eyes open (1'). For subsequent data analysis, mean fNIRS values of HbO and HbR concentrations (mmol/L) were used for both the baseline and post-task stages.

RESULTS: Comparative analysis of regional differences in baseline and post-task fNIRS values revealed no statistically significant differences between participants from the modeled regions, which varied considerably in environmental comfort scores (6 points for Arkhangelsk Oblast, 17 points for Volgograd Oblast, 25 points for the Republic of Crimea). At the same time, clear differences in the baseline expression of fNIRS parameters were observed between the sampled groups of male and female participants. Repeatedly observed unidirectional differences in baseline HbO and HbR concentrations between male and female participants were identified in the same cortical areas. In both cases, statistically significant differences in concentrations were identified in symmetrical frontal (AF4–AFp2, AF3–AFp1) and temporal (FTT8–T8, FTT7–T7) leads. In women, higher values were recorded in the frontal cortex, whereas in men, the concentrations of the studied forms of hemoglobin were higher in the temporal regions.

CONCLUSION: The study characterized standard fNIRS parameters in young adults residing in varied environmental conditions. The presented data will contribute to improving the reliability and reproducibility of studies conducted using fNIRS technology, thereby facilitating the implementation of advanced neuroimaging methods in both research and clinical practice.

Keywords: neurovascular coupling; functional near-infrared spectroscopy; fNIRS; sex differences in fNIRS parameters.

To cite this article:

Mulik AB, Ulesikova IV, Nazarov NO, Kunavin MA, Soloviev AG, Shatyr YuA. Standard functional near-infrared spectroscopy parameters in young adults living in different regions of European Russia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(11):807–818. DOI: 10.17816/humeco643398 EDN: EQNEBN

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643398>

EDN: EQNEBN

居住在俄罗斯欧洲部分不同地区的青年标准功能性近红外光谱指标评估结果

Aleksandr B. Mulik¹, Irina V. Ulesikova¹, Nikita O. Nazarov², Mikhail A. Kunavin³,
Andrey G. Soloviev⁴, Yulia A. Shatyr¹

¹ Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia;

² Change Implementation Center of the Ministry of Health of the Moscow Region, Krasnogorsk, Russia;

³ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia;

⁴ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

摘要

论证。近年来，越来越多研究尝试比较不同研究者使用不同仪器设备所获得的功能性近红外光谱（functional near-infrared spectroscopy, fNIRS）结果。为实现fNIRS指标的标准

目的。描述生活在不同环境条件下青年的标准 fNIRS 指标表现。

材料与方法。研究共纳入100名18 - 25岁、临床健康的欧洲人种男性与女性，分别为俄罗斯欧洲部分Archangelsk 州、Volgograd州和Republic of Crimea的原住居民。使用Cortivision Photon Cap C20仪器（Cortivision, 波兰）记录大脑皮层在近红外光谱范围内的血流动力学反应。研究设计包括三阶段：第一阶段为睁眼基础状态（30秒）；第二阶段依次进行“简单视动反应”（2分钟），“复杂视动反应”（2分钟）和“Kraepelin测试”（3分钟）；第三阶段为睁眼负荷后状态（1分钟）。在后续数据分析中，纳入了基础阶段和负荷后阶段fNIRS中HbO与HbR浓度（mmol/L）指标的平均值。

结果。对模型地区人群 fNIRS 指标基础阶段与负荷后阶段的区域表达强度进行比较分析，结果显示在居住环境舒适度显著差异的地区（Volgograd州 — 6分，Volgograd州 — 17分，Republic of Crimea — 25分）之间无统计学显著差异。同时，参与研究的男性与女性样本在fNIRS指标的基础阶段表达水平上表现出明显差异。在HbO和HbR的基础期数值中，男性与女性在大脑皮层相同区域表现出方向一致的重复性差异。在这两种情况下，均在左右对称的额叶导联（AF4-AFp2、AF3-AFp1）和颞叶导联（FTT8-T8、FTT7-T7）中检测到浓度的统计学显著差异。女性在大脑皮层额叶区域的相关指标更高，而男性则在颞叶区域表现出更高的血红蛋白浓度。

结论。本研究描述了生活在不同环境条件下青年群体的标准fNIRS指标特征。该数据有助于提升采用fNIRS技术的研究结果的可靠性和可重复性，从而推动先进脑功能神经成像方法在科研与临床实践中的应用。

关键词：神经-血管耦合；功能性近红外光谱；fNIRS；性别差异fNIRS指标。

引用本文：

Mulik AB, Ulesikova IV, Nazarov NO, Kunavin MA, Soloviev AG, Shatyr YuA. 居住在俄罗斯欧洲部分不同地区的青年标准功能性近红外光谱指标评估结果. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(11):807–818. DOI: 10.17816/humeco643398 EDN: EQNEBN

收到: 25.12.2024

接受: 07.04.2025

发布日期: 29.05.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Функциональная ближняя инфракрасная спектроскопия (functional Near-Infrared Spectroscopy, fNIRS) — неинвазивная, простая в использовании методика визуализации уровня оксигенации кортикальных отделов головного мозга, позволяющая изучать их нормальную работу и нарастающие патологические изменения в условиях реальной жизнедеятельности [1]. Посредством применения пар оптодов (излучателя и детектора света) осуществляется спектроскопия различных участков головного мозга. Изменения в количестве рассеянного света, фиксируемого детектором, соответствуют изменениям оптических свойств ткани в рабочей зоне оптодов. Из-за низкой поглощающей способности гемоглобина в диапазоне длин волн от 650 до 1000 нм свет в ближнем инфракрасном диапазоне может проникать на несколько сантиметров сквозь кожу головы, череп и в отражённом виде, достигая детектора, характеризовать концентрацию оксигенированного (HbO) и деоксигенированного (HbR) гемоглобина в тканях мозга.

Количество исследований в этой области за последние десятилетия резко возросло параллельно с ростом доступности коммерческих систем fNIRS. В связи с этим появляются многочисленные попытки соотнесения результатов fNIRS, полученных разными авторами с использованием различной приборной базы, что усложняет интерпретацию и воспроизведение экспериментальных данных [2]. Для достижения консенсуса в нормировании показателей fNIRS требуется их сравнительная оценка в группах здоровых людей, проживающих в различных условиях внешней среды. Наиболее актуальным является изучение выраженности стандартных показателей fNIRS в зависимости от географической широтной зональности места жительства, более всего отражающей природную комфортность жизнедеятельности человека. Результаты ряда исследований свидетельствуют о влиянии различных, в том числе социальных, факторов окружающей среды на структурные и функциональные свойства головного мозга [3, 4]. Отмечается положительное влияние эстетичности природной среды и негативное — экстремальных погодных условий на функциональное состояние центральной нервной системы [5]. Определена роль комфортности и эстетичности среды обитания в становлении фенотипического и социального статуса человека [6]. Кроме этого, необходимо учитывать пол как возможный фактор влияния на выраженность показателей fNIRS. В качестве объекта исследования представляется целесообразным привлечение студенческой молодёжи как группы населения, наименее зависимой от негативного воздействия ситуативных факторов среды, способных повлиять на функциональное состояние центральной нервной системы.

Цель исследования. Охарактеризовать проявление стандартных показателей fNIRS у молодых людей, проживающих в различных условиях среды жизнедеятельности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования были отобраны студенты государственных вузов, являющиеся коренными жителями трёх регионов европейской части России: Архангельской области (16 мужчин, средний возраст 20,1 года, SD 1,82; 17 женщин, средний возраст 18,8 года, SD 1,48), Волгоградской области (16 мужчин, средний возраст 20,4 года, SD 2,44; 17 женщин, средний возраст 19,8 года, SD 1,56) и Республики Крым (17 мужчин, средний возраст 19,3 года, SD 1,26; 17 женщин, средний возраст 19,9 года, SD 2,59). Всего было 49 мужчин и 51 женщина. Условиями включения студентов в выборочную совокупность являлось следующее: возраст 18–25 лет, достаточный для устойчивой сформированности функционального и структурного статуса организма, но не выходящий за рамки восходящего периода развития человека; отсутствие хронических соматических и неврологических заболеваний; наличие полной, социально благополучной родительской семьи; отсутствие финансовых и бытовых проблем. Соблюдались принципы Всеобщей декларации о биоэтике и правах человека: статьи 4 (благо и вред), 5 (самостоятельность и индивидуальная ответственность), 6 (согласие) и 9 (неприкосновенность частной жизни и конфиденциальность). Выбор модельных регионов был обусловлен разным географическим положением и существенным перепадом комфортности среды обитания. Степень комфортности — интегральный показатель, основанный на 30 параметрах окружающей среды, согласно данным Национального атласа России, для Архангельской области соответствует уровню дискомфорта (крайне интенсивный природный прессинг на здоровье людей), для Волгоградской области — уровню гипокмфортности (интенсивный природный прессинг на здоровье людей), для Республики Крым — уровню комфортности (умеренный природный прессинг на здоровье людей) [7].

Для оценки гемодинамического ответа коры головного мозга в ближнем инфракрасном диапазоне применяли прибор Cortivision Poton Cap C20 (Cortivision, Польша). Данный прибор наиболее широко используется в научных организациях как в Российской Федерации, так и за рубежом, в том числе при выполнении физиологических исследований на Международной космической станции компанией Axiom Space (Хьюстон, США), сотрудничающей с НАСА. Прибор сертифицирован и соответствует требованиям технического регламента Евразийского экономического союза (ЕАЭС N RU Д-PL.РА03.В.20841/21 от 03.12.2021, срок действия — до 02.12.2026). Cortivision Poton Cap C20 укомплектован 20 оптодами (10 источников и 10 детекторов) с частотой дискретизации 7,8125 Гц. Оптоды неинвазивно фиксируются на голове обследуемого путём установки в гнезда эластичной шапочки «Easycap». При этом 8 пар оптодов размещались по международной системе 10–20 в лобных, теменных, височных и затылочных регионах в левом и правом

полушариях (F3 и F4; P3 и P4; T7 и T8; O1 и O2 соответственно); ещё 2 пары оптодов были размещены для исследования префронтальной области коры (AF3 и AF4) (табл. 1).

Схема исследования включала в себя 3 этапа: 1-й этап — фон fNIRS с открытыми глазами (30'); 2-й этап — предъявление теста «Простая зрительно-моторная реакция» (2') + предъявление теста «Сложная зрительно-моторная реакция» (2') + предъявление теста «Крепелин» (3'); 3-й этап — постнагрузочные значения fNIRS с открытыми глазами (1'). Для последующего анализа данных учитывали среднеарифметические значения показателей концентрации HbO и HbR (ммоль/л) на этапе фона и постнагрузочных значений fNIRS. Статистическую обработку результатов проводили в программе SPSS для Windows (ver. 20). Потенциальное влияние среды обитания на функциональное состояние центральной нервной системы жителей модельных регионов (Архангельская и Волгоградская области, Республика Крым) оценивали посредством однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). В качестве основных характеристик распределения признаков использовали следующие значения: среднее арифметическое (M); ошибка среднего (m); медиана (Me); интервальный размах (Q25,

Q75). Нормальность распределения первичных данных определяли по критерию Колмогорова–Смирнова. Полученные результаты свидетельствовали о ненормальном распределении значений исследуемых показателей, что послужило основанием для использования непараметрических методов статистики для последующего анализа данных. Для сравнительной оценки половых различий по показателям fNIRS применяли *U*-критерий Манна–Уитни, статистическую значимость различий принимали при $p < 0,05$.

Участие в исследовании было добровольным. До включения в исследование все участники выразили информированное согласие. Исследование проводилось в ноябре 2024 г. и было одобрено этическим комитетом Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург, Россия), протокол № 295 от 22.10.2024.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Наличие артефактов физического или биологического происхождения в результатах ЭЭГ или fNIRS послужило основанием для исключения из последующего статистического анализа 5 испытуемых женщин, в том числе двух представительниц Волгоградской области, двух

Таблица 1. Схема отведения оптодов функциональной ближней инфракрасной спектроскопии
Table 1. Optode placement scheme for functional near-infrared spectroscopy

Номер канала Channel No.	Тип датчика Sensor type	Соответствие датчика отведениям ЭЭГ Corresponding EEG electrode	Место съёма Recording site
1	Источник Emitter	F4	Правая лобная кора Right frontal cortex
	Детектор Detector	F6	
2	Источник Emitter	F3	Левая лобная кора Left frontal cortex
	Детектор Detector	F5	
3	Источник Emitter	AF4	Правая лобная кора Right frontal cortex
	Детектор Detector	AFp2	
4	Источник Emitter	AF3	Левая лобная кора Left frontal cortex
	Детектор Detector	AFp1	
5	Источник Emitter	FTT8h	Правая височная кора Right temporal cortex
	Детектор Detector	T8	
6	Источник Emitter	FTT7h	Левая височная кора Left temporal cortex
	Детектор Detector	T7	
7	Источник Emitter	P3	Левая теменная кора Left parietal cortex
	Детектор Detector	CPP5h	
8	Источник Emitter	P4	Правая теменная кора Right parietal cortex
	Детектор Detector	CPP6h	
9	Источник Emitter	O1	Левая затылочная кора Left occipital cortex
	Детектор Detector	OL1h	
10	Источник Emitter	O2	Правая затылочная кора Right occipital cortex
	Детектор Detector	OL2h	

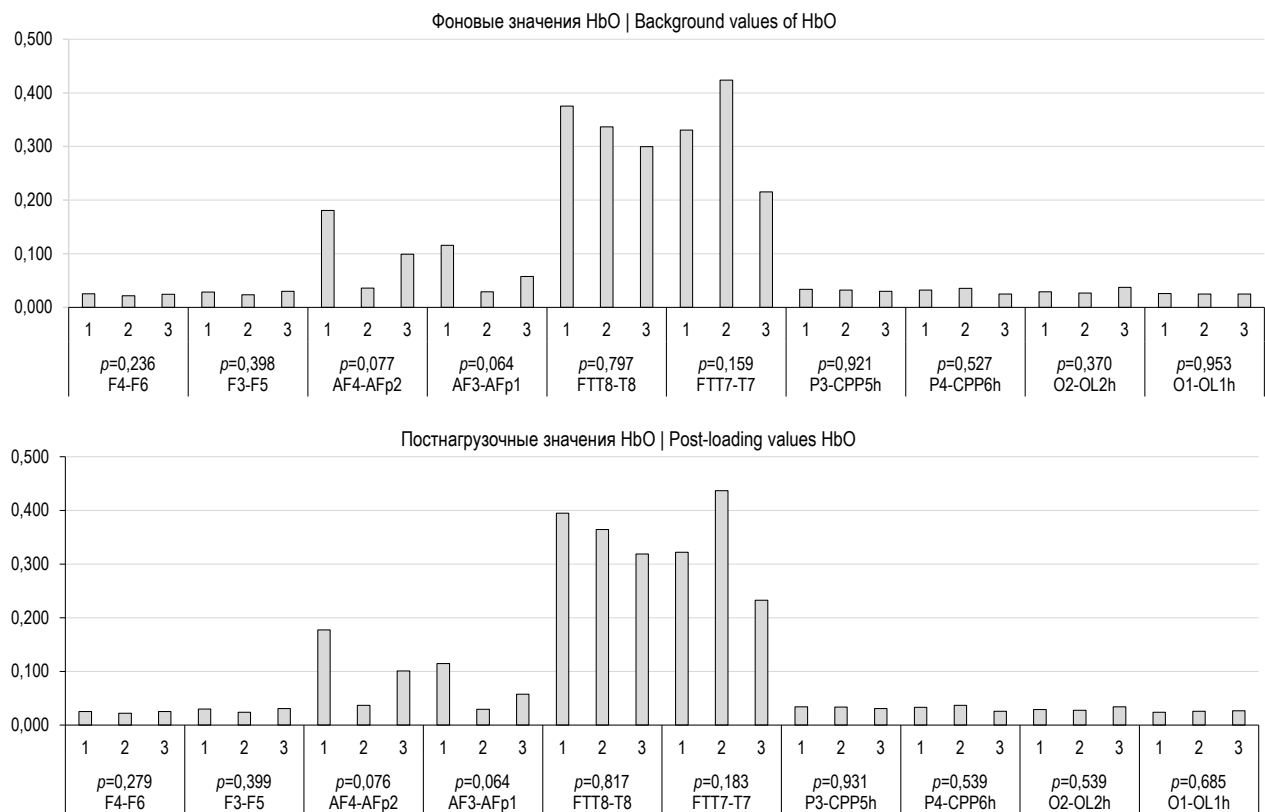


Рис. 1. Фоновые и постнагрузочные значения концентрации HbO (ммоль/л) в группах мужчин, проживающих в Архангельской области (регион 1), Волгоградской области (регион 2), Республике Крым (регион 3).
Fig. 1. Baseline and post-load HbO concentrations (mmol/L) in male groups residing in Arkhangelsk Oblast (Region 1), Volgograd Oblast (Region 2), and the Republic of Crimea (Region 3).

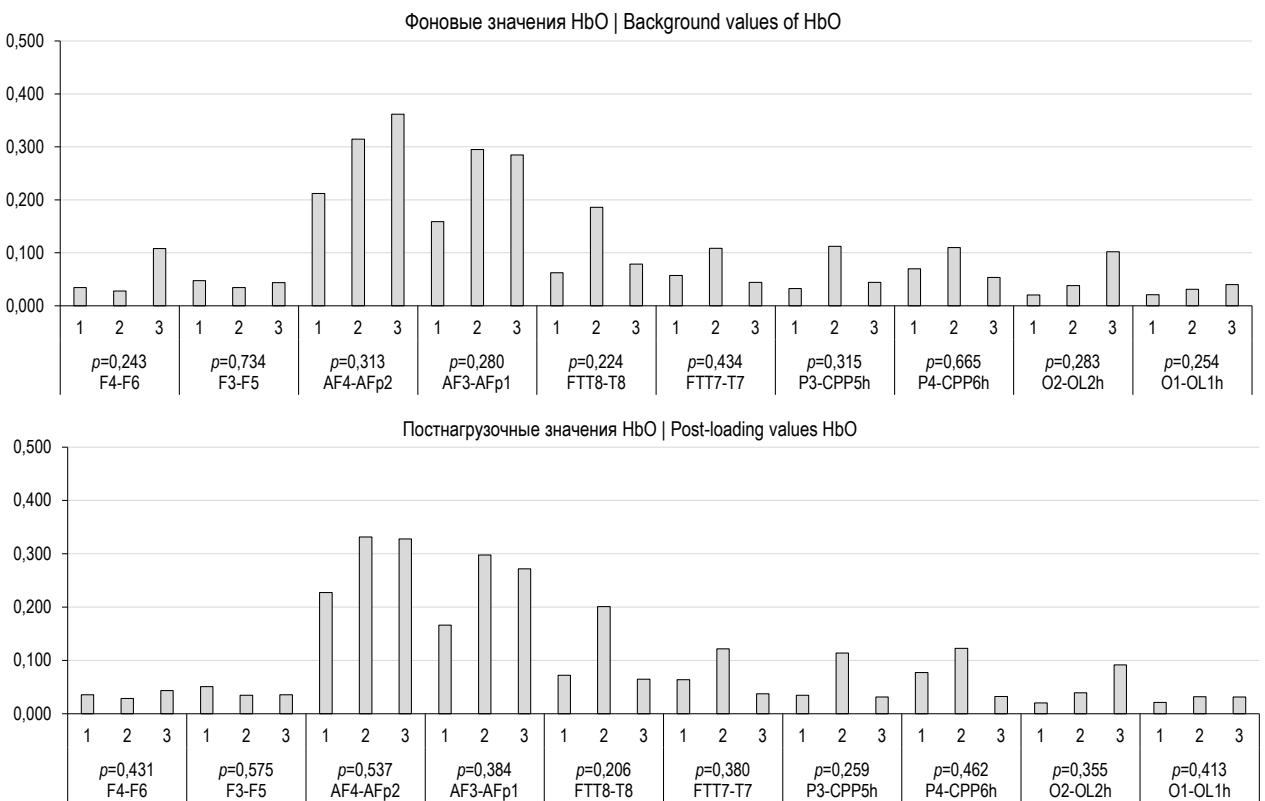


Рис. 2. Фоновые и постнагрузочные значения концентрации HbO (ммоль/л) в группах женщин, проживающих в Архангельской области (регион 1), Волгоградской области (регион 2), Республике Крым (регион 3).
Fig. 2. Baseline and post-load HbO concentrations (mmol/L) in female groups residing in Arkhangelsk Oblast (Region 1), Volgograd Oblast (Region 2), and the Republic of Crimea (Region 3).

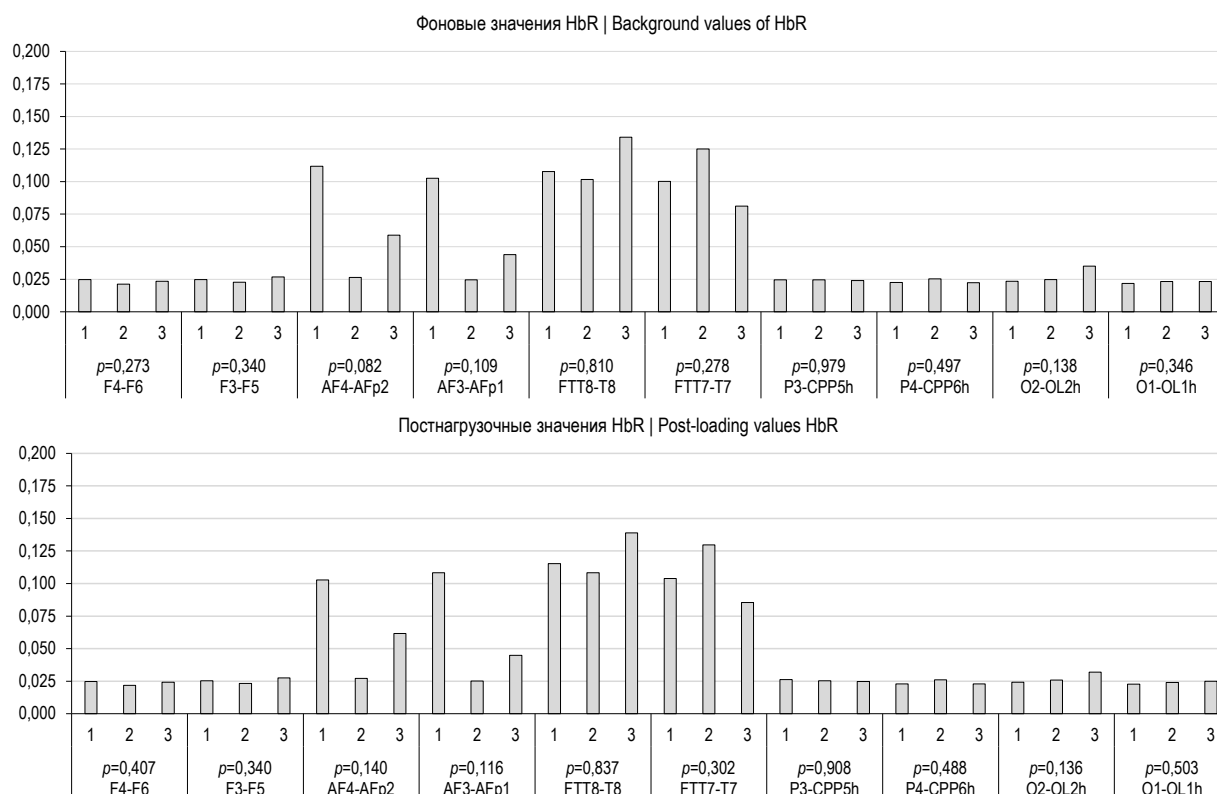


Рис. 3. Фоновые и постнагрузочные значения концентрации HbR (ммоль/л) в группах мужчин, проживающих в Архангельской области (регион 1), Волгоградской области (регион 2), Республике Крым (регион 3).

Fig. 3. Baseline and post-load HbR concentrations (mmol/L) in male groups residing in Arkhangelsk Oblast (Region 1), Volgograd Oblast (Region 2), and the Republic of Crimea (Region 3).

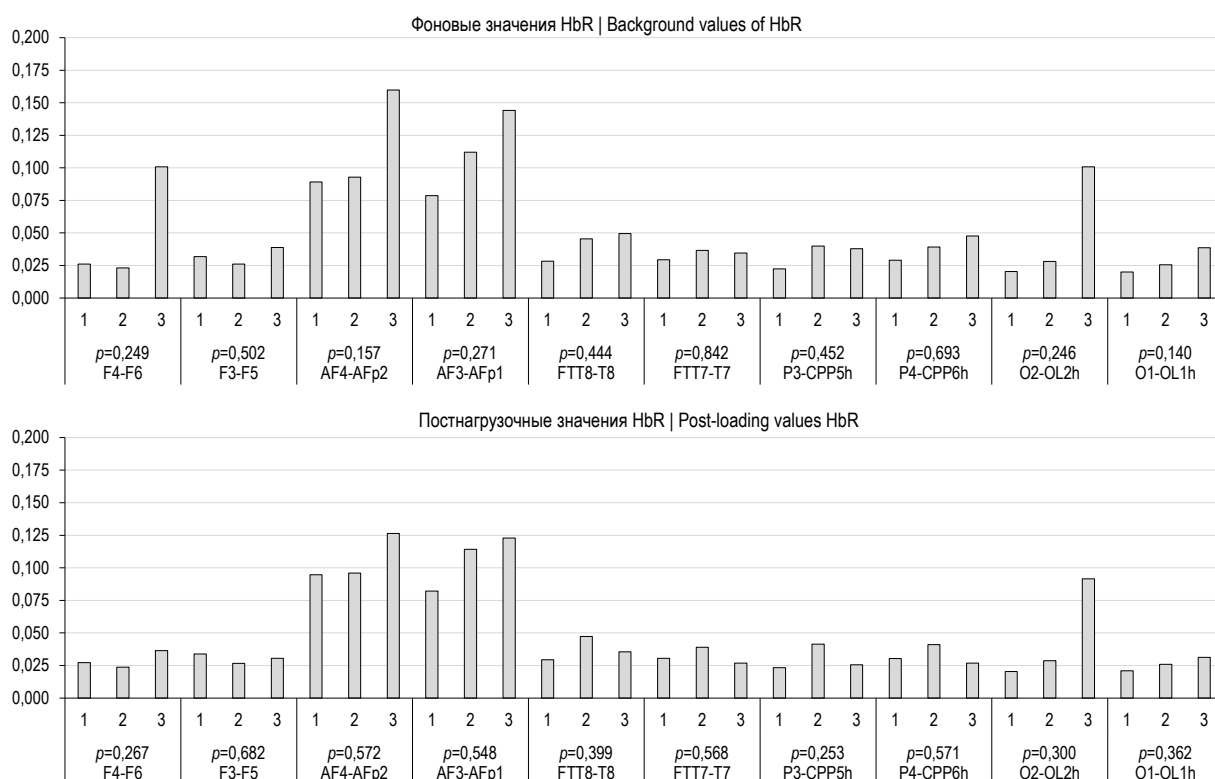


Рис. 4. Фоновые и постнагрузочные значения концентрации HbR (ммоль/л) в группах женщин, проживающих в Архангельской области (регион 1), Волгоградской области (регион 2), Республике Крым (регион 3).

Fig. 4. Baseline and post-load HbR concentrations (mmol/L) in female groups residing in Arkhangelsk Oblast (Region 1), Volgograd Oblast (Region 2), and the Republic of Crimea (Region 3).

представительниц Республики Крым и одной жительницы Архангельской области. Сравнительная выраженность фоновых и постнагрузочных значений показателей fNIRS с учётом региональной принадлежности испытуемых отражена на рис. 1–4 (HbO в группах мужчин и женщин, HbR в группах мужчин и женщин). По каждому из 10 каналов fNIRS методом однофакторного дисперсионного анализа выполнен расчёт *p*-значения различий исследуемых показателей между выборочными совокупностями модельных регионов (1 — Архангельская область, 2 — Волгоградская область, 3 — Республика Крым).

В табл. 2 представлены результаты сравнительного анализа фоновых значений показателей fNIRS по каждому отведению между выборочной совокупностью всех мужчин и всех женщин, ставших участниками исследования.

ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ региональной выраженности фоновых и постнагрузочных значений показателей fNIRS не выявил статистически значимых различий между представителями населения модельных регионов,

характеризующихся существенным перепадом уровня комфортности среды обитания (Архангельская область — 6 баллов, Волгоградская область — 17 баллов, Республика Крым — 25 баллов) [6]. Также не выявлено статистически значимых различий между фоновыми и постнагрузочными значениями исследуемых показателей в рамках каждого модельного региона. При этом полученные результаты подтверждают данные недавнего исследования Knap и соавт. [8] о сходстве фоновых значений HbR и HbO. Отсутствие значимых различий содержания HbO и HbR между региональными выборками испытуемых, проживающих на территориях с различным уровнем комфортности среды обитания, вероятно, обусловлено относительной генетической и фенотипической однородностью славянского населения Архангельской, Волгоградской областей и Республики Крым. В ранее выполненных собственных исследованиях по ряду показателей генетического и фенотипического статуса подтверждена однородность жителей данных территорий [9, 10]. Некоторые изученные гены (*COMT*, *CACNA1D*, *CACNA2D3*) обуславливают регуляцию сосудистого тонуса и церебрального кровотока [11–13]. Это подтверждает отсутствие генетических предпосылок к выраженным

Таблица 2. Сравнительная характеристика выраженности фоновых значений показателей функциональной ближней инфракрасной спектроскопии между выборочной совокупностью мужчин и выборочной совокупностью женщин

Table 2. Comparative characteristics of baseline functional near-infrared spectroscopy values between male and female sampled groups

Отведения Leads	HbO, ммоль/л (M±m); Me (p25; p75) HbO (mmol/L), M±m; Me (Q25; Q75)		<i>p</i>	HbR, ммоль/л (M±m); Me (p25; p75) HbR (mmol/L), M±m; Me (Q25; Q75)		<i>p</i>
	Мужчины Men (n=49)	Женщины Women (n=46)		Мужчины Men (n=49)	Женщины Women (n=46)	
F4-F6	0,0230±0,0009; 0,021 (0,021; 0,024)	0,0560±0,0214; 0,023 (0,020; 0,037)	0,037	0,0230±0,0009; 0,021 (0,020; 0,022)	0,0490±0,0213; 0,021 (0,020; 0,026)	0,346
F3-F5	0,0270±0,0022; 0,022 (0,021; 0,025)	0,0410±0,0070; 0,023 (0,021; 0,034)	0,167	0,0240±0,0012; 0,022 (0,021; 0,023)	0,0320±0,0044; 0,022 (0,021; 0,027)	0,926
AF4-AFp2	0,1060±0,0297; 0,032 (0,024; 0,077)	0,2960±0,0402; 0,202 (0,068; 0,475)	<0,001	0,0660±0,0179; 0,025 (0,022; 0,05)	0,1130±0,0167; 0,077 (0,034; 0,160)	<0,001
AF3-AFp1	0,0680±0,0175; 0,026 (0,022; 0,067)	0,2470±0,0383; 0,136 (0,049; 0,336)	<0,001	0,0580±0,0178; 0,022 (0,021; 0,042)	0,1110±0,0162; 0,065 (0,029; 0,175)	<0,001
FTT8-T8	0,3380±0,0507; 0,153 (0,059; 0,621)	0,1100±0,0318; 0,025 (0,021; 0,063)	<0,001	0,1140±0,0237; 0,060 (0,028; 0,16)	0,0410±0,0070; 0,022 (0,021; 0,027)	<0,001
FTT7-T7	0,3230±0,0493; 0,179 (0,045; 0,69)	0,0700±0,0215; 0,022 (0,021; 0,028)	<0,001	0,1020±0,0124; 0,071 (0,026; 0,176)	0,0330±0,0050; 0,021 (0,021; 0,023)	<0,001
P3-CPP5h	0,0320±0,0041; 0,023 (0,021; 0,028)	0,0640±0,0230; 0,021 (0,021; 0,027)	0,302	0,0240±0,0013; 0,022 (0,021; 0,023)	0,0330±0,0061; 0,021 (0,020; 0,022)	0,142
P4-CPP6h	0,0310±0,0043; 0,022 (0,021; 0,03)	0,0780±0,0259; 0,022 (0,021; 0,029)	0,923	0,0230±0,0012; 0,021 (0,021; 0,022)	0,0380±0,0086; 0,021 (0,02; 0,022)	0,155
O2-OL2h	0,0300±0,0036; 0,025 (0,023; 0,027)	0,0530±0,0217; 0,022 (0,02; 0,028)	0,050	0,0270±0,0029; 0,023 (0,022; 0,026)	0,0490±0,0213; 0,022 (0,02; 0,025)	0,271
O1-OL1h	0,0250±0,0012; 0,022 (0,021; 0,025)	0,0300±0,0046; 0,021 (0,02; 0,023)	0,035	0,0220±0,0005; 0,021 (0,021; 0,023)	0,0270±0,0039; 0,021 (0,02; 0,022)	0,066

Примечание. Значения *p*, соответствующие статистической значимости, выделены полужирным.

Note. The *p*-values corresponding to statistical significance are shown in bold.

различиям структурных и функциональных свойств головного мозга у представителей населения исследуемых территорий.

Вместе с тем наглядно проявляются различия фоновой выраженности показателей fNIRS между выборочной совокупностью мужчин и выборочной совокупностью женщин, участвовавших в исследовании. Обращает на себя внимание повторяемость однонаправленных отличий между мужчинами и женщинами, обнаруженных в фоновых значениях HbO и HbR в одних и тех же областях коры головного мозга. В обоих случаях статистически значимые различия концентраций были определены в симметричных лобных (AF4-AFp2, AF3-AFp1) и височных (FTT8-T8, FTT7-T7) отведениях. При этом в выборке женщин зарегистрированы более высокие значения показателей в лобных отделах коры больших полушарий, а у мужчин, наоборот, концентрации изучаемых форм гемоглобина были выше в височных отделах. Важно отметить, что речь в данном случае идёт не о перераспределении концентраций HbO и HbR вследствие активации различных областей головного мозга, что сопровождалось бы разнонаправленными отличиями показателей, а о более высоких значениях содержания общего гемоглобина в височных отделах у мужчин и в лобных отделах у женщин.

Вероятным обоснованием обнаруженных половых различий могут быть не функциональные особенности работы структур головного мозга, а, скорее всего, морфофизиологические особенности мужского и женского организма. Одним из базовых различий в концентрации гемоглобина у мужчин и женщин является его зависимость от уровня половых гормонов. Широко известно, что в присутствии андрогенов происходит стимуляция эритропоэза, что, в частности, приводит к более высоким значениям числа эритроцитов и концентрации гемоглобина у мужчин по сравнению с женщинами (8,56–11,17 и 7,51–9,37 ммоль/л соответственно). Аналогичные отличия были выявлены с использованием методики fNIRS в исследованиях R.L.D. Кап и соавт. [14] и Н. Auger и соавт. [15]. Однако влиянием только гормонального фона не может быть объяснена специфика в локализации выявленных различий.

Другим фактором возможного влияния на регистрацию показателей fNIRS являются особенности регионального кровоснабжения. В литературе имеются данные, указывающие на существующие половые различия гемодинамических характеристик мозговых артерий, питающих ткани головного мозга [16]. Так, у лиц мужского и женского пола различаются диаметр внутренних сонных артерий, объёмная скорость кровотока и параметры сосудистого сопротивления. Эти же различия характерны и для средней мозговой артерии, которая питает ткани лобной и височной долей головного мозга.

В качестве потенциальной причины различий выраженности показателей fNIRS у мужчин и женщин является половая специфика развития жевательных мышц головы,

в особенности височной (лат. *musculus temporalis*), тело которой располагается в зоне височных отведений оптодов. Развитие скелетной мускулатуры подвержено воздействию со стороны мужских половых гормонов, что приводит к росту её массы и силы [17]. Исследования с использованием методики fNIRS подтверждают, что мужчины, обладая большей мышечной массой и более активными метаболическими процессами в них, действительно отличаются от женщин по регистрируемым показателям HbO и HbR [18].

Наконец, нельзя исключать различия в толщине и структуре тканей головы у мужчин и женщин. Методика fNIRS основана на проникновении лучей ближнего инфракрасного диапазона сквозь ткани головы (кожу, подкожно-жировую клетчатку, фасции, кости черепа) и поглощению их молекулами гемоглобина, концентрация которого рассчитывается как разность в интенсивности светового пучка на выходе (источник) и входе (детектор) [19]. Несмотря на то что ткани головы практически прозрачны для света в этом диапазоне, увеличение их толщины может приводить к излишнему поглощению и рассеиванию лучей и, как следствие, к снижению значений регистрируемых показателей. В этой связи важно отметить, что мужчины обладают более развитым слоем жировой ткани, а также более толстой лобной костью черепа, что используется в антропологических исследованиях для подтверждения половой принадлежности [20, 21].

Таким образом, следует признать отсутствие однозначного определения причин различий выраженности стандартных показателей fNIRS между мужчинами и женщинами. Видимо, это результат полифакторного влияния специфики эндогенных фенотипических особенностей организма мужчин и женщин, связанных с проявлением физических эффектов в технологии fNIRS. Тем не менее результаты выполненного исследования конкретизируют значения стандартных показателей fNIRS с учётом пола человека.

Ограничения исследования. Представленное исследование имеет определённые ограничения. Одним из них является сравнительно малый объём выборочной совокупности, не отвечающий требованиям организации поперечного исследования [22]. Для более точного и обобщающего анализа региональной выраженности фоновых и постнагрузочных значений показателей fNIRS в последующем необходимо увеличить количество участников исследования. Результаты работы не могут распространяться на детей и подростков, пожилых людей, лиц с хроническими соматическими и неврологическими заболеваниями. Нельзя не отметить, что данное исследование ограничено территориями трёх регионов, физико-географические характеристики которых не охватывают всего реально существующего спектра климатических особенностей европейской части России. Отсутствие аналогичных исследований в границах территории Российской

Федерации и нормативных значений показателей fNIRS не позволяет полноценно интерпретировать эмпирически полученные результаты, не имеющие «точки отсчёта». Результаты предпринятого исследования определяют целесообразность дальнейшего всестороннего изучения и проверки на других группах населения в различных физико-географических, биогеохимических и социальных условиях среды, региональной выраженности фоновых и постнагрузочных значений показателей fNIRS.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предпринятое исследование определило отсутствие статистически значимых различий выраженности фоновых и постнагрузочных значений показателей fNIRS между представителями населения модельных регионов европейской части России, характеризующихся существенным перепадом уровня комфортности среды обитания. Вероятнее всего, это обусловлено относительной генетической и фенотипической однородностью славянского населения Архангельской, Волгоградской областей и Республики Крым. Также не определено статистически значимых различий между фоновыми и постнагрузочными значениями исследуемых показателей в рамках каждого модельного региона. Выявленные различия в значениях фоновой концентраций HbO и HbR между выборочной совокупностью мужчин и выборочной совокупностью женщин подтверждают необходимость учёта пола при выполнении исследований fNIRS. Представленные данные будут способствовать повышению надёжности и воспроизводимости результатов исследований, выполненных с использованием технологии fNIRS, и тем самым стимулировать внедрение передовых методов нейровизуализации функций мозга в исследовательскую деятельность и клиническую практику.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.Б. Мулик — концепция и дизайн исследования, анализ данных, редактирование статьи; И.В. Улесикова — сбор материала и первичная обработка результатов исследования; Н.О. Назаров — статистическая обработка результатов исследования; М.А. Кунавин — сбор материала и первичная обработка результатов исследования; А.Г. Соловьёв — анализ данных и интерпретация результатов исследования; Ю.А. Шатыр — обзор литературы, написание текста. 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).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Ferrari M, Quaresima V. A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *Neuroimage*. 2012;63(2):921–935. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.03.049
2. Yücel MA, Lühmann A, Scholkmann F, et al. Best practices for fNIRS publications. *Neurophotonics*. 2021;8(1):101–108. doi: 10.1117/1.NPh.8.1.012101
3. Komleva YuK, Salmina AB, Prokopenko SV, et al. Changes in structural and functional plasticity of the brain induced by environmental

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург, Россия), протокол № 295 от 22.10.2024.

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

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках реализации НИР по программе академического стратегического лидерства «Приоритет-2030».

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.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: A.B. Mulik: conceptualization, formal analysis, writing—review & editing; I.V. Ulesikova: investigation; N.O. Nazarov: formal analysis; M.A. Kunavin: investigation; A.G. Soloviev: formal analysis, interpretation of results; Yu.A. Shatyr: sources review, writing—original draft. All authors confirm that their authorship meets the 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 S.M. Kirov Military Medical Academy (Saint Petersburg, Russia), Protocol No. 295 dated October 22, 2024.

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

Funding sources: This work was part of the Priority 2030 Strategic Academic Leadership Program.

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.

- enrichment. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2013;68(6):39–48. doi: 10.15690/vramn.v68i6.672 EDN: QCVRFD
4. Miguel PM, Pereira LO, Silveira PP, Meaney MJ. Early environmental influences on the development of children's brain structure and function. *Dev Med Child Neurol*. 2019;61(10):1127–1133. doi: 10.1111/dmnc.14182
 5. Smith L. Integrating the physical environment within a population neuroscience perspective. *Curr Top Behav Neurosci*. 2024;68:223–238. doi: 10.1007/7854_2024_477
 6. Mulik AB, Ulesikova IV, Mulik IG, et al. Comfort and aesthetics of the living environment as a determinant of an individual's phenotypic and social status. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2019;26(2):31–38. doi: 10.33396/1728-0869-2019-2-31-38 EDN: XLUHZE
 7. Characteristics of the sanitary system. In: *National Atlas of Russia*. Vol. 2. Nature. Ecology. Moscow; 2007. [cited 2025 Mar 20]. Available from: <http://xn--80aaaa1bhnclcci1cl5c4ep.xn--p1ai/cd2/447/447> (In Russ.)
 8. Khan AF, Yuan H, Smith ZA, Ding L. Distinct time-resolved brain-wide coactivations in oxygenated and deoxygenated hemoglobin. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2024;71(8):463–472. doi: 10.1109/TBME.2024.3377109
 9. Shatyr YuA, Nazarov NO, Glushakov RI, et al. Search for genetic and phenotypical bases of human predisposition to risk behavior. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*. 2023;9(3):291–299. EDN: ZOEIFS
 10. Mulik AB, Shatyr YuA, Ulesikova IV, et al. Sexual characteristics of genetic determination of human propensity to aggressive, suicidal and addicive behavior: descriptive study. *Marine medicine*. 2024;10(3):94–107. doi: 10.22328/2413-5747-2024-10-3-94-107 EDN: FJLHJI
 11. Akil M, Kolachana BS, Rothmond DA, et al. Catechol-O-methyltransferase genotype and dopamine regulation in the human brain. *J Neurosci*. 2003;23(6):2008–2013. doi: 10.1523/JNEUROSCI.23-06-02008.2003
 12. Pinggera A, Lieb A, Benedetti B, et al. CACNA1D de novo mutations in autism spectrum disorders activate Cav1.3 L-type calcium channels. *Biol Psychiatry*. 2015;77(9):816–822. doi: 10.1016/j.biopsych.2014.11.020
 13. Dolphin AC. The $\alpha 2\delta$ subunits of voltage-gated calcium channels. *Biochim Biophys Acta*. 2013;1828(7):1541–1549. doi: 10.1016/j.bbame.2012.11.019
 14. Kan RLD. Sex differences in brain excitability revealed by concurrent iTBS/fNIRS. *Asian J Psychiatr*. 2024;(96):40–43. doi: 10.1016/j.ajp.2024.104043
 15. Auger H, Bherer L, Boucher É, et al. Quantification of extra-cerebral and cerebral hemoglobin concentrations during physical exercise using time-domain near infrared spectroscopy. *Biomed Opt Express*. 2016;7(10):3826–3842. doi: 10.1364/BOE.7.003826
 16. Filatova OV, Sidorenko AA. Age and sex hemodynamic characteristics of cerebral arteries. *Acta Biologica Sibirica*. 2015;1(3–4):199–243. EDN: VARUGZ
 17. Ben Mansour G, Kacem A, Ishak M, et al. The effect of body composition on strength and power in male and female students. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2021;13(1):130–150. doi: 10.1186/s13102-021-00376-z
 18. Keller JL, Traylor MK, Gray SM, et al. Sex differences in NIRS-derived values of reactive hyperemia persist after experimentally controlling for the ischemic vasodilatory stimulus. *J Appl Physiol (1985)*. 2023;135(1):3–14. doi: 10.1152/japophysiol.00174.2023
 19. Kwashnjova KV, Iljukhina WA, Kryghanowskyi EV, Chistow AV. Near-infrared topography and spectroscopy in the study of brain activity. *Biotechnosfera*. 2013;2(26):1–5. EDN: REXRPN
 20. Perlaza NA. Sex determination from the frontal bone: a geometric morphometric study. *J Forensic Sci*. 2014;59(5):1330–1332. doi: 10.1111/1556-4029.12467
 21. Garcovich D, Gasco A, Lorenzo A, et al. Sex estimation through geometric morphometric analysis of the frontal bone: an assessment in pre-pubertal and post-pubertal modern Spanish population. *Int J Legal Med*. 2022;136(1):319–328. doi: 10.1007/s00414-021-02712-x
 22. Kholmatova KK, Gorbatova MA, Kharkova OA, Gribovski AM. Cross-sectional studies: planning, sample size, data analysis. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2016;23(2):49–56. doi: 10.33396/1728-0869-2016-2-49-56 EDN: VQGTNJ

ОБ АВТОРАХ

***Мулик Александр Борисович**, д-р биол. наук, профессор;
адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург,
ул. Академика Лебедева, д. 6;
ORCID: 0000-0001-6472-839X;
eLibrary SPIN: 8079-9698;
e-mail: mulikab@mail.ru

Улесикова Ирина Владимировна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0001-9284-3280;
eLibrary SPIN: 9859-6036;
e-mail: ulesikovairina@mail.ru

Назаров Никита Олегович, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-0668-4664;
eLibrary SPIN: 9126-2809;
e-mail: naznik86@gmail.com

Кунавин Михаил Алексеевич, канд. биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0001-7948-1043;
eLibrary SPIN: 5271-0260;
e-mail: m.kunavin@narfu.ru

Соловьёв Андрей Горгоньевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-0350-1359;
eLibrary SPIN: 2952-0619;
e-mail: asoloviev1@yandex.ru

AUTHORS' INFO

***Aleksandr B. Mulik**, Dr. Sci. (Biology), Professor;
address: 6 Akademika Lebedeva st, Saint Petersburg, Russia,
194044;
ORCID: 0000-0001-6472-839X;
eLibrary SPIN: 8079-9698;
e-mail: mulikab@mail.ru

Irina V. Ulesikova, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0001-9284-3280;
eLibrary SPIN: 9859-6036;
e-mail: ulesikovairina@mail.ru

Nikita O. Nazarov, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-0668-4664;
eLibrary SPIN: 9126-2809;
e-mail: naznik86@gmail.com

Mikhail A. Kunavin, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-7948-1043;
eLibrary SPIN: 5271-0260;
e-mail: m.kunavin@narfu.ru

Andrey G. Soloviev, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-0350-1359;
eLibrary SPIN: 2952-0619;
e-mail: asoloviev1@yandex.ru

Шатыр Юлия Александровна, канд. биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0001-9279-5282;
eLibrary SPIN: 2942-6250;
e-mail: yuliashatyr@gmail.com

Yulia A. Shatyr, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-9279-5282;
eLibrary SPIN: 2942-6250;
e-mail: yuliashatyr@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643368>

EDN: XAGPPL

Physiological Rationale for Expanding the Spectrum of Traditional Lipid Metabolism Parameters in Indigenous Males of the Arctic Region

Veronika A. Solovyeva¹, Ulker G. Guseynova¹, Natalia V. Solovieva¹,
Fatima A. Bichkaeva², Andrey G. Soloviev¹

¹ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;

² Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Early physiological and biochemical studies reported relatively favorable lipid profiles in terms of protection against cardiovascular risk factors. However, in recent decades, a shift toward a more atherogenic lipid profile has been observed in some apparently healthy individuals living in the North. An expanded lipid panel includes the assessment of apolipoproteins and free fatty acids. There is a growing need for in-depth investigation of lipid metabolism in individuals without clinical signs of its disturbance residing in the Arctic zone to enable early diagnosis, timely correction, and prevention of cardiovascular diseases.

AIM: To substantiate the selection of a set of lipid metabolism alteration markers in apparently healthy indigenous males of the Arctic region.

MATERIALS AND METHODS: A total of 112 apparently healthy men permanently residing in the Arkhangelsk Region were examined. Serum levels of total cholesterol, high-, low-, and very-low-density lipoproteins, triglycerides, atherogenic index, concentrations of saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids, as well as the apolipoprotein A to B ratio were determined.

RESULTS: It was found that, although the levels of total cholesterol, high-, low-, and very-low-density lipoproteins, triglycerides, and the atherogenic index did not exceed reference values in apparently healthy residents of the Arctic region, elevated levels of very-low-density lipoproteins (19.8% of participants), triglycerides (17.2%), and the atherogenic index (52.1%) were observed. Apolipoprotein A levels were below reference values but exceeded apolipoprotein B levels in 39.1% of cases; the apolipoprotein A to B ratio was elevated in 51.2% of subjects. High levels of the palmitic (12.5%) and stearic (10.7%) saturated fatty acids were observed. In contrast, levels of polyunsaturated fatty acids were below the median in the case of ω -6 linoleic (21.4%) and arachidonic (51.5%) acids, as well as ω -3 alpha-linolenic (51.8%), eicosapentaenoic (40.8%), and docosahexaenoic (48.3%) acids. Moderate correlations were identified between triglyceride levels and saturated fatty acids, as well as weaker correlations with polyunsaturated fatty acids.

CONCLUSION: Markers of subclinical lipid metabolism disturbances in indigenous residents of the Arctic region include relatively low levels of apolipoprotein A, a higher apolipoprotein B to A ratio, and reduced concentrations of ω -3 (alpha-linolenic, eicosapentaenoic, docosahexaenoic) and ω -6 (linoleic, arachidonic) polyunsaturated fatty acids.

Keywords: lipid metabolism; apolipoproteins; free fatty acids; Russian Arctic region.

To cite this article:

Solovyeva VA, Guseynova UG, Solovieva NV, Bichkaeva FA, Soloviev AG. Physiological rationale for expanding the spectrum of traditional lipid metabolism parameters in indigenous males of the Arctic Region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(11):819–828.

DOI: 10.17816/humeco643368 EDN: XAGPPL

Received: 24.12.2024

Accepted: 14.04.2025

Published online: 19.05.2025

Физиологическое обоснование расширения исследования спектра традиционных параметров липидного обмена у коренного мужского населения Арктического региона

В.А. Соловьёва¹, У.Г. Гусейнова¹, Н.В. Соловьёва¹, Ф.А. Бичкаева², А.Г. Соловьёв¹

¹ Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия;

² Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В ранних физиолого-биохимических исследованиях представлены данные об относительно благоприятных профилях липидного обмена в отношении протекции факторам риска развития патологии сердечно-сосудистой системы. Однако в последние десятилетия у части практически здоровых северян стали выявляться изменения липидного профиля крови атерогенной направленности. Расширенный спектр параметров липидного обмена включает изучение аполипопротеинов и свободных жирных кислот. Возникает необходимость углублённого изучения липидного обмена у лиц без клинических признаков его нарушений, проживающих в Арктической зоне, для ранней диагностики, коррекции и профилактики патологии сердечно-сосудистой системы.

Цель. Обоснование выделения совокупности маркеров изменения липидного обмена у практически здорового коренного мужского населения Арктического региона.

Материалы и методы. Проведено обследование 112 практически здоровых мужчин, постоянно проживающих в Архангельской области. В сыворотке крови определяли содержание общего холестерина, липопротеинов высокой, низкой и очень низкой плотности, триглицеридов, коэффициент атерогенности, концентрацию насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, соотношение аполипопротеинов А и В.

Результаты. Установлено, что при невыходящем за пределы референсных значений содержании общего холестерина, липопротеинов высокой, низкой и очень низкой плотности, триглицеридов, коэффициента атерогенности у практически здоровых жителей Арктического региона имеется высокое содержание липопротеинов очень низкой плотности (19,8% обследуемых), триглицеридов (17,2%), коэффициента атерогенности (52,1%); содержание аполипопротеинов А ниже референсных значений, но выше аполипопротеинов В (39,1%), соотношение аполипопротеинов А и В было высоким (51,2 %). Отмечается высокое содержание пальмитиновой (12,5%), стеариновой (10,7%) насыщенных жирных кислот. Напротив, значения ниже медианы отмечены в содержании ω -6 линолевой (21,4%), арахидоновой (51,5%), ω -3 линоленовой (51,8%), эйкозопентаеновой (40,8%), докозагексаеновой (48,3%) полиненасыщенных жирных кислот. Установлены взаимосвязи средней силы между триглицеридами и насыщенными жирными кислотами, но более слабые с полиненасыщенными жирными кислотами.

Заключение. Маркерами скрытых нарушений липидного обмена у жителей Арктического региона являются относительно низкое содержание аполипопротеинов А, но более высокое соотношение аполипопротеинов В и А, а также низкое содержание ω -3 линоленовой, эйкозопентаеновой, докозагексаеновой и ω -6 линолевой, арахидоновой полиненасыщенных жирных кислот.

Ключевые слова: липидный обмен; аполипопротеины; свободные жирные кислоты; Арктический регион России.

Как цитировать:

Соловьёва В.А., Гусейнова У.Г., Соловьёва Н.В., Бичкаева Ф.А., Соловьёв А.Г. Физиологическое обоснование расширения исследования спектра традиционных параметров липидного обмена у коренного мужского населения Арктического региона // Экология человека. 2024. Т. 31, № 11. С. 819–828. DOI: 10.17816/humeco643368 EDN: XAGPPL

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643368>

EDN: XAGPPL

北极地区原住男性脂质代谢传统参数谱扩展研究的生理学依据

Veronika A. Solovyeva¹, Ulker G. Guseynova¹, Natalia V. Solovieva¹,
Fatima A. Bichkaeva², Andrey G. Soloviev¹

¹ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;

² Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

摘要

论证。早期的生理-生化研究提供了有关脂质代谢相对有利特征的数据，这些特征与对心血管疾病风险因素的保护作用相关。然而，近几十年来，部分临床健康的北方居民已被发现存在动脉粥样硬化倾向的血脂谱改变。脂质代谢参数谱的拓展应包括对载脂蛋白和游离脂肪酸的检测。因此，有必要对居住在北极地区、无临床脂质代谢紊乱表现的人群进行深入研究，以实现心血管系统疾病的早期诊断、干预和预防。

目的。论证在北极地区临床健康的原住男性人群中划定脂质代谢变化标志物组合的合理性。
材料与方法。研究对象为112名常住Arkhangelsk州、临床表现健康的男性。检测其血清中的总胆固醇、高密度、低密度和极低密度脂蛋白、甘油三酯、动脉粥样硬化指数，以及饱和、单不饱和和多不饱和脂肪酸的含量，并评估载脂蛋白A与B的比值。

结果。在大多数总胆固醇、高密度、低密度及极低密度脂蛋白、甘油三酯和动脉粥样硬化指数等指标未超出参考范围的背景下，部分北极地区临床健康受试者仍表现出极低密度脂蛋白偏高（19.8%）、甘油三酯偏高（17.2%）、动脉粥样硬化指数升高（52.1%）；载脂蛋白A水平低于参考值，而载脂蛋白B水平较高（39.1%），A/B比值较高（51.2%）。此外，棕榈酸（12.5%）和硬脂酸（10.7%）等饱和脂肪酸水平较高。而 ω -6亚油酸（21.4%）、花生四烯酸（51.5%）、 ω -3亚麻酸（51.8%）、二十碳五烯酸（40.8%）、二十二碳六烯酸（48.3%）等多不饱和脂肪酸水平则普遍偏低。甘油三酯与饱和脂肪酸呈中等强度相关，与多不饱和脂肪酸的相关性相对较弱。

结论。北极地区居民潜在脂质代谢异常的标志物包括：载脂蛋白A含量相对较低、载脂蛋白B与A的比值较高，以及 ω -3系列（ α -亚麻酸、二十碳五烯酸、二十二碳六烯酸）和 ω -6系列（亚油酸、花生四烯酸）多不饱和脂肪酸含量较低。

关键词：脂质代谢；载脂蛋白；游离脂肪酸；俄罗斯北极地区。

引用本文：

Solovyeva VA, Guseynova UG, Solovieva NV, Bichkaeva FA, Soloviev AG. 北极地区原住男性脂质代谢传统参数谱扩展研究的生理学依据. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(11):819–828. DOI: 10.17816/humeco643368 EDN: XAGPPL

收到: 24.12.2024

接受: 14.04.2025

发布日期: 19.05.2025

BACKGROUND

Early physiological and biochemical studies reported distinctive features of metabolic processes among residents in Arctic regions, determined by a biologically established adaptive type and associated with a traditional lifestyle and a diet rich in fats and proteins [1]. Indigenous populations, characterized by the northern type of metabolism, demonstrated more favorable lipid profiles that appear to confer protection against cardiovascular risk factors. Lower serum levels of total cholesterol (TC), triglycerides (TG), low-density lipoprotein (LDL), and very-low-density lipoprotein (VLDL), along with higher levels of high-density lipoprotein (HDL), have been observed compared with nonindigenous populations [2]. The current approach to assessing cardiovascular status includes the identification of risk factors and clinical symptoms of atherosclerosis, measurement of blood lipid profile, and evaluation of cardiovascular risk using the SCORE scale. Lipid profile parameters used to assess cardiovascular risk include TC, HDL, LDL, and TG. However, the analysis of these parameters does not always allow for a targeted evaluation of existing disturbances, especially given the growing emphasis on early detection of biochemical abnormalities in metabolic processes rather than on the identification of clinical manifestations [3].

In recent years, metabolic disorders have become increasingly common among residents of the Arctic regions. Primary contributing factors include physical inactivity and poor dietary habits [4], accompanied by a gradual decline in the consumption of traditional foods (e.g., reindeer meat, fish from northern seas) and increased intake of carbohydrates and trans fats [5].

There is an increasing number of studies that focus on an extended range of lipid metabolism parameters, including apolipoproteins and free fatty acids (FFAs). Currently, apolipoproteins B and A1 (ApoB and ApoA1) are considered the most reliable markers of lipid profile abnormalities. ApoB (specifically ApoB-100) is a structural component of VLDL, intermediate-density lipoproteins, and LDL, with each lipoprotein particle containing only one apolipoprotein molecule. Therefore, the ApoB level reflects the total number of atherogenic particles in the bloodstream. In contrast, ApoA1 is a structural component of antiatherogenic HDL. Thus, the ApoB/ApoA1 ratio reflects the balance between atherogenic and antiatherogenic lipoproteins and serves as an early potential marker of cardiovascular disease risk [6].

Apolipoproteins contain ligands that bind to membrane receptors, enabling the entry of lipoproteins into cells and their subsequent catabolism. They also serve as cofactors for enzymes that are needed for the proper functioning of lipoproteins. During lipoprotein formation in hepatocytes, apolipoproteins bind various TGs, depending on the types of fatty acids esterified with the hydroxyl groups of glycerol. This, in turn, influences the density of the TGs and the lipoproteins that contain them [7]. Most fatty acids are found in a bound form as components of phospholipids, TGs, and TC

esters, and the specific type of fatty acid significantly affects many of their properties.

The ratio of consumed fatty acids plays a significant role in determining the composition of TGs, particularly in relation to an increase in saturated fatty acids (SFAs) and a decrease in polyunsaturated fatty acids (PUFAs). Fatty acids can affect lipoprotein proteins by destabilizing them, thereby impairing their functionality and rendering them dysfunctional. Alterations in the proteome and/or lipidome of HDL result in HDL dysfunction, manifested by impaired antioxidant and anti-inflammatory functions [8]. An imbalance in the content of fatty acids, TGs, and lipoproteins may contribute to inflammation through the synthesis of inflammatory mediators. To better understand these mechanisms, it is particularly important to assess an extended lipid profile, including apolipoproteins and fatty acid composition.

Only a few clinical reports describe the combined analysis of traditional lipid profile parameters, apolipoproteins, SFAs, PUFAs, and FFAs [9]. However, no data are available on their combined changes in apparently healthy individuals living at high latitudes. This highlights the need for in-depth investigation of lipid metabolism in individuals without clinical signs of its disturbance residing in the Arctic zone to enable early diagnosis, timely correction, and prevention of cardiovascular diseases.

AIM. The work aimed to substantiate the selection of a set of lipid metabolism alteration markers in apparently healthy indigenous males of the Arctic region.

MATERIALS AND METHODS

This cross-sectional study included 112 apparently healthy men aged 22 to 55 years (mean age: 43.57 ± 1.43 years), all indigenous residents of Arkhangelsk. All participants completed questionnaires collecting information on age, anthropometric parameters, ethnicity (self-reported and parental), duration of residence in the North, medical history, dietary habits, and other relevant factors. The individuals with a history or clinical signs of alcohol or tobacco dependence or exposure to occupational hazards (including shift and night work) were excluded.

Primary blood lipid profile parameters were evaluated. Venous blood samples were collected from the cubital vein after an overnight fast (between 8:00 and 10:00 a.m.) using Becton Dickinson BP vacutainers.

Levels of TC, HDL, VLDL, LDL, and TGs were measured by turbidimetric analysis using a FURUNO CA-270 biochemical analyzer (Japan) and Chronolab AG reagent kits (Switzerland). VLDL was calculated as $TG/5$. The atherogenic coefficient (AC) was determined using Klimov's formula [10]: $AC = (TC - HDL) / HDL$. Concentrations of apolipoproteins (ApoA and ApoB) were measured by immunoturbidimetric assay using the FURUNO CA-270 biochemical analyzer (Japan) and Chronolab AG reagent kits (Switzerland). The ApoB/ApoA ratio was also calculated.

The content of SFAs, monounsaturated fatty acids (MUFAs), and PUFAs, including ω -3 and ω -6 fatty acids, was determined by gas–liquid chromatography following preliminary lipid extraction from blood serum and subsequent methylation of fatty acids to obtain their methyl esters [11]. Methylated fatty acid derivatives were analyzed using an Agilent 7890A gas chromatograph (flame ionization detector; Agilent DB-23 capillary column, 60×0.25×0.15 mm) in programmed temperature mode with nitrogen as the carrier gas. Fatty acids were identified using standard mixes Supelco 37 FAME C₄–C₂₄ (USA) and GLS-569B (Nu-Chek-Prep, Inc., USA). The quantification of fatty acids was performed using the internal standard method (nonadecanoic acid) with the Agilent ChemStation B.03.01 software (USA).

The study was conducted in accordance with the principles of the World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research [12]. Written informed consent was provided by all participants. The study protocol was approved by the Ethics Committee of the Federal Research Center for Integrated Arctic Studies, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Protocol No. 12, dated February 15, 2022).

The statistical analysis of the obtained data, including assessment of the distribution of variables and comparative analysis of samples, was performed using SPSS software, version 15.0. Quantitative variables were described using the median (MD), first quartile (Q25), and third quartile (Q75). The Shapiro–Wilk test was used to assess normality of distribution, which showed that most variables did not follow a normal distribution. Therefore, nonparametric tests were used. The correlation analysis was performed using Spearman rank correlation coefficient. The strength of correlation was considered strong for $r > 0.70$, moderate for $r = 0.30–0.69$, and weak for $r < 0.29$.

RESULTS

No significant deviations in traditional lipid metabolism parameters from the reference values (as indicated in the instructions for the test kits used) were identified among apparently healthy individuals residing in the Arctic region. However, elevated levels of VLDL were found in 19.8% of participants, TGs in 17.2%, and the AC in 52.1% (Table 1).

Several studies have demonstrated that TC, which was previously considered a primary cardiovascular risk factor, is

neither the only nor the principal factor [13]. This underscores the need for a more detailed analysis of the lipid profile to detect subclinical abnormalities and supports the evaluation of serum apolipoprotein and FFA levels.

In this context, a targeted assessment of apolipoproteins as potential markers of lipid metabolism disturbances was conducted. It was found that the mean ApoA level was below the reference range, ApoB levels were elevated in 39.1% of participants, and the ApoB/ApoA ratio was elevated in 51.2% (Table 2).

The analysis of the most clinically significant SFAs and MUFAs showed that the levels of palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), and oleic acid (C18:1 ω 9) generally remained within the reference range in the northern population. However, elevated levels of palmitic acid were observed in 12.5% of cases and elevated levels of stearic acid in 10.7% (Table 3).

The levels of PUFAs from the ω -3 and ω -6 families were assessed (Table 4). No reduction in the mean level of linoleic acid (C18:2 ω 6), a representative of ω -6 PUFAs, was observed; however, its concentration was below the median in 21.4% of cases. A low level of arachidonic acid (C20:4 ω 6), 15.2% below the reference values, was observed; values below the median were identified in 51.5% of participants.

The level of α -linolenic acid (C18:3 ω 3), a representative of ω -3 PUFAs, was within reference values, although values below the median were found in 51.8% of participants. The levels of eicosapentaenoic acid (C20:5 ω 3) and docosahexaenoic acid (C22:6 ω 3) did not differ significantly from the reference values; however, concentrations below the median were observed for eicosapentaenoic acid (C20:5 ω 3) and docosahexaenoic acid (C22:6 ω 3) in 40.8% and 48.3% of participants, respectively.

The relevance of assessing SFAs in apparently healthy individuals for identifying latent changes in lipid metabolism is supported by the detection of correlations between SFAs and traditional lipid profile parameters.

In individuals residing in the Arctic region, moderate correlations were found between TGs and SFAs, MUFAs, and weaker correlations with PUFAs, indicating the incorporation of fatty acids into TG and LDL. Specifically, correlations were found between TG and the SFAs: myristic acid (C14:0; $r = 0.649$; $p < 0.0001$), pentadecanoic acid (C15:0; $r = 0.469$; $p < 0.001$), palmitic acid (C16:0; $r = 0.581$; $p < 0.001$), margaric acid (C17:0; $r = 0.560$; $p < 0.001$), stearic acid (C18:0; $r = 0.551$; $p < 0.001$);

Table 1. Traditional lipid metabolism parameters in apparently healthy residents of the Arctic region

Parameters	Reference range	Values in apparently healthy individuals, Me (Q25; Q75)
Total cholesterol, mmol/L	2.99–6.09	4.74 (4.22; 5.62)
Very-low-density lipoproteins, mmol/L	0.16–0.46	0.28 (0.16; 0.46)
Low-density lipoproteins, mmol/L	3–7	4.24 (3.13; 5.95)
High-density lipoproteins, mmol/L	0.85–1.94	1.19 (0.98; 1.36)
Atherogenic index	up to 3.0	3.10 (2.07; 4.40)
Triglycerides, mmol/L	0.8–2.3	1.40 (0.82; 1.98)

MUFAs: myristoleic acid (C14:1; $r=0.448$; $p<0.001$), palmi-
toleic acid (C16:1; $r=0.529$; $p<0.001$), oleic acid (C18:1 ω 9;
 $r=0.647$; $p<0.001$); ω -6 PUFAs: linoleic acid (C18:2 ω 6;
 $r=0.425$; $p<0.001$), γ -linolenic acid (C18:3 ω 6; $r=0.495$;
 $p<0.001$), dihomo- γ -linolenic acid (C20:3 ω 6; $r=0.348$;
 $p=0.001$), arachidonic acid (C20:4 ω 6; $r=0.208$; $p=0.042$);
 ω -3 PUFAs: α -linolenic acid (C18:3 ω 3; $r=0.484$; $p<0.001$),
eicosatrienoic acid (C20:3 ω 3; $r=0.352$; $p=0.005$), docosahex-
aenoic acid (C22:6 ω 3; $r=0.245$; $p=0.005$). Correlations were
established between ω -6 PUFAs: linoleic acid (C18:2 ω 6) and
 γ -linolenic acid (C18:3 ω 6; $r=0.724$; $p=0.001$); γ -linolenic acid
(C18:3 ω 6) and dihomo- γ -linolenic acid (C20:3 ω 6; $r=0.470$;
 $p<0.001$); and dihomo- γ -linolenic acid (C20:3 ω 6) and ara-
chidonic acid (C20:4 ω 6; $r=0.726$; $p=0.001$).

The main sources of long-chain ω -3 PUFAs (eicosapen-
taenoic acid and docosahexaenoic acid) are marine fish oils
[14]. Partially, ω -3 PUFAs (eicosapentaenoic and docosahex-
aenoic) are formed from α -linolenic acid; this process pro-
ceeds as follows: α -linolenic acid $\rightarrow$ eicosatrienoic acid $\rightarrow$
eicosapentaenoic acid $\rightarrow$ docosahexaenoic acid.

Correlations were identified between α -linolenic acid
(C18:3 ω 3) and eicosatrienoic acid (C20:3 ω 3; $r=0.435$; $p=0.01$);
eicosapentaenoic acid (C20:5 ω 3; $r=0.501$; $p<0.001$) and do-
cosahexaenoic acid (C22:6 ω 3; $r=0.496$; $p=0.001$). This chain
lacks an intermediate link: the conversion of eicosatrienoic
acid (C20:3 ω 3) to eicosapentaenoic acid (C20:5 ω 3; $r=0.501$;
 $p<0.001$).

DISCUSSION

No significant deviations from reference values were
identified when evaluating the results of traditional lipid
metabolism parameters in apparently healthy residents of

the Arctic region. However, elevated levels of atherogenic
VLDL fractions, TGs, and particularly the AC were observed
in 52.1% of participants. The analysis of apolipoprotein levels
revealed a low mean ApoA concentration, whereas elevated
ApoB levels and an increased ApoB/ApoA ratio were identi-
fied in 39% to 51% of individuals.

A study by Pashinskaya et al. [15] reported a low serum
ApoA level in a substantial proportion of apparently healthy
individuals residing in the Far North. The ApoB/ApoA1 ratio
reflects the balance between atherogenic ApoB and antiath-
erogenic ApoA1 particles and is considered one of the mark-
ers of cardiovascular risk [16].

The levels of TGs, LDLs, and HDLs are known to depend
on the intake of SFAs in the diet. Dietary enrichment with
PUFAs results in a reduction in LDL levels without signifi-
cantly affecting antiatherogenic HDL concentrations. Several
studies have shown that PUFA consumption is associated
with reduced TG, TC, fibrinogen, and VLDL levels, as well as
increased HDL concentrations [17].

Earlier studies by Boyko et al. [18] and Lyudinina et al.
[19] demonstrated that among the indigenous population of
the North, particularly those adhering to a traditional pro-
tein–lipid diet, there is an increased content of ω -3 PUFAs
(eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids), along with
decreased levels of ω -6 PUFAs. Higher PUFA levels were
observed in the residents of the Arctic regions compared with
those living in southern regions [20].

The analysis of SFA, MUFA, and PUFA levels showed that
the most significant SFAs involved in the composition of TG
and LDL were palmitic acid (C16:0) and stearic acid (C18:0),
along with the MUFA oleic acid (C18:1 ω 9). SFAs are a major
source of energy for the body. It is well known that their
levels depend on dietary patterns, which vary by region. SFAs

Table 2. Apolipoprotein levels in apparently healthy residents of the Arctic region

Parameters	Reference range	Values in apparently healthy individual. Me (Q25; Q75)
Apolipoprotein A, mg/dL	122–161	84.90 (76.08; 97.12)
Apolipoprotein B, mg/dL	69–105	90.49 (72.85; 120.42)
Apolipoprotein B to A ratio	up to 1.0	1.09 (0.93; 1.35)

Table 3. Levels of saturated and monounsaturated fatty acids in apparently healthy residents of the Arctic region, μ g/ml

Fatty acids	Reference range	Values in apparently healthy individuals, Me (Q25; Q75)
C14:0 Myristic	5.70–28.00	15.92 (10.14; 27.48)
C15:0 Pentadecanoic	1.88–7.92	4.36 (3.27; 5.38)
C16:0 Palmitic	217.50–570.34	352.66 (284.65; 111.53)
C17:0 Margaric	2.88–9.17	4.92 (3.75; 6.51)
C18:0 Stearic	83.44–197.16	132.61 (112.66; 175.30)
C14:1 Myristoleic	0.11–2.16	1.06 (0.82; 1.57)
C15:1 Pentadecenoic	0.10–1.15	0.65 (0.29; 1.05)
C16:1 Palmitoleic	10.20–65.50	21.41 (14. 09; 39.10)
C18:1 ω 9 Oleic	137.40–660.50	246.92 (195.56; 395.96)

Table 4. Levels of polyunsaturated fatty acids in apparently healthy residents of the Arctic region, µg/ml

Parameters	Reference range	Values in apparently healthy individuals, Me (Q25; Q75)
C18:2 ω6 Linoleic	201.50–1500.25	581.53 (369.82; 716.41)
C18:3 ω6 γ-Linolenic	0.23–25.50	4.13 (2.67; 5.65)
C20:3 ω6 Dihomo-γ-linolenic	3.53–33.86	13.47 (9.04; 20.26)
C20:4 ω6 Arachidonic	85.24–160.97	73.70 (42.22; 107.12)
C18:3 ω3 α-Linolenic	0.25–11.02	4.09 (2.11; 5.70)
C20:3 ω3 Eicosatrienoic	0.25–4.50	0.60 (0.30; 1.32)
C20:5 ω3 Eicosapentaenoic	2.25–80.50	8.93 (3.81; 19.72)
C22:6 ω3 Docosahexaenoic	5.50–110.20	33.00 (11.94; 60.55)

are primarily found in animal fats. On the one hand, elevated SFA levels may be necessary to ensure energy reserves; on the other hand, their excessive intake can contribute to TG and LDL accumulation, thereby promoting the development of atherosclerotic changes. Evidence of latent disturbances in lipid metabolism is also supported by the finding that some of the individuals examined in the North had elevated SFA levels. This may, to some extent, be associated with changes in diet, including increased consumption of trans fats, fast food, and related products.

We also assessed the levels of ω-3 and ω-6 PUFAs. In 21.4% of cases, low levels of ω-6 linoleic acid were detected; the level of ω-6 arachidonic acid was below the median in 51.5% of participants. Low levels (below the median) of ω-3 PUFAs (α-linolenic, eicosapentaenoic, and docosahexaenoic acids) were observed in 40%–50% of the individuals.

ω-6 linoleic acid (C18:2ω6c) and ω-3 α-linolenic acid (C18:3ω3) are essential fatty acids. Some authors also consider arachidonic acid (C20:4ω6) essential. These fatty acids are present in vegetable oils, whereas small amounts of arachidonic acid are found in pork fat and dairy products.

The ω-3 family includes α-linolenic acid (C18:3ω3), eicosapentaenoic acid (C20:5ω3), and docosahexaenoic acid (C22:6ω3), which are primarily found in the fat of marine fish from northern seas. In cells and tissues, long-chain PUFAs are not present in free form but are incorporated into various lipid classes, including TGs, phospholipids, and cholesterol esters. Fatty acids constitute approximately 60% of the dry mass of the brain, with the highest concentrations found in neuronal membranes. In the gray matter of the cerebral cortex in healthy individuals, docosahexaenoic acid accounts for up to 13% and arachidonic acid up to 9% of total fatty acids; in the retina, approximately 60% of PUFAs are represented by docosahexaenoic acid. The composition of membrane phospholipids affects electrophysiological responsiveness, which explains the high content of arachidonic and docosahexaenoic acids in organs with intense electrophysiological activity, such as the brain, retina, and synapses [21].

To clarify the role of SFAs in lipid metabolism among residents of the Arctic region, a correlation analysis was performed. It revealed associations between TGs and SFAs,

MUFAs, and PUFAs, which may indicate the incorporation of fatty acids into TGs. Correlations were also identified among ω-6 and ω-3 PUFAs: in particular, associations between linoleic acid and γ-linolenic, dihomo-γ-linolenic, and arachidonic acids were observed. These findings indicate that the conversion of linoleic acid to arachidonic acid is not impaired. Arachidonic acid is predominantly derived from dietary sources (animal fats); thus, its reduced levels are likely due to insufficient dietary intake. However, small amounts of arachidonic acid can also be synthesized from ω-6 linoleic acid via its intermediate conversion to γ-linolenic acid, then to dihomo-γ-linolenic acid, and subsequently to arachidonic acid.

We identified correlations between the ω-3 PUFA α-linolenic acid (C18:3ω3) and eicosatrienoic acid (C20:3ω3); however, no correlation was found between eicosatrienoic acid (C20:3ω3) and eicosapentaenoic acid (C20:5ω3). Only correlations between eicosapentaenoic acid (C20:5ω3) and docosahexaenoic acid (C22:6ω3) were observed. This may indicate a disruption in the conversion of eicosatrienoic acid (C20:3ω3) to eicosapentaenoic acid (C20:5ω3). The synthesis of both ω-6 and ω-3 PUFAs involves the same enzymes (elongase and desaturase), participating competitively in the synthesis of ω-6 and ω-3 PUFAs [22]. It is possible that these enzymes are preferentially utilized for ω-6 PUFA synthesis.

Undoubtedly, genetic factors also influence lipid metabolism, and these may differ among populations from various geographic regions. However, a unified viewpoint has not been established. For example, Bichkaeva et al. [23] compared blood lipid profiles in residents of the polar regions of the North and the southern Caucasus (South Ossetia). Residents of the North had higher levels of not only LDL and VLDL, but also HDL and ApoA. However, they also exhibited elevated ApoB levels and a higher ApoB/ApoA ratio compared with those residing in the southern Caucasus, indicating an imbalance in apolipoproteins. Krivoschapkina et al. [24] found no significant sex-based differences in lipid metabolism among residents of Yakutia. In a work by Shaimardanov and Litovchenko [25], the indigenous population of Yakutia showed a high prevalence of atherogenic dyslipidemia and obesity based on biochemical blood parameters. Our study did not aim to include indigenous residents of the Arctic

regions, as this would require a targeted and more detailed investigation. Therefore, the findings presented here should be interpreted with this limitation in mind.

CONCLUSION

This study demonstrated that apparently healthy residents of the Arctic region exhibit latent disturbances in lipid metabolism, as evidenced by elevated levels of VLDL, TGs, the AC, ApoB, and the ApoB/ApoA ratio, along with reduced ApoA levels in some residents. The decreased concentrations of ω -6 PUFAs, particularly linoleic and arachidonic acids, and ω -3 PUFAs (eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids) may be due to both insufficient dietary intake and competition for enzymes involved in their metabolic conversion. To identify latent lipid metabolism disorders in apparently healthy individuals living in the Arctic region, it is important to assess both traditional lipid profile parameters and additional markers, including ApoA and ApoB, the ApoB/ApoA ratio, as well as levels of ω -3 (eicosapentaenoic and docosahexaenoic) and ω -6 (linoleic and arachidonic) PUFAs.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: N.V. Solovieva: conceptualization; V.A. Solovyeva, U.G. Guseynova: investigation; V.A. Solovyeva, F.A. Bichkaeva: clinical data collection and processing, database development; A.G. Soloviev: formal analysis, writing—review & editing. All authors confirm that their authorship meets the 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 Federal State Budgetary Institution of Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Protocol No. 12 dated February 15, 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.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Н.В. Соловьёва — разработка концепции; В.А. Соловьёва, У.Г. Гусейнова — проведение исследования; В.А. Соловьёва, Ф.А. Бичкаева — сбор и обработка клинического материала, формирование базы данных; А.Г. Соловьёв — анализ данных, редактирование текста 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. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (протокол № 12 от 15.02.2022).

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 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Aghajanyan NA, Zhvavy NF, Ananyev VN. *Human adaptation to the conditions of the Far North. Ecological and physiological mechanisms*. Moscow: KRUK; 1998. 240 p. (In Russ.)
2. Panin LE. Fundamental problems of the circumpolar and the Arctic medicine. *The Bulletin of Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences* 2013;33(6):5–10. EDN: RSAUVD
3. Solovieva NV, Leuhter SN, Solovyeva VA Alcohol-associated lipid metabolism disorders *Clinical Laboratory Diagnostics*. 2022;67(12):705–709. doi: 10.51620/0869-2084-2022-67-12-705-709 EDN: OTPMIY
4. Artemenkov AA. Plasma dyslipidemia: pathogenesis and diagnostic value. Literature review. *Perm Medical Journal* 2023;40(1):78–93. doi: 10.17816/pmj40178-93 EDN: IYNHUI
5. Burakova LN, Nikolenko MV, Shkolnikova MN. Influence of the nutrition factor on the development of the metabolic syndrome. *Polzunovskiy Vestnik*. 2024;(3):82–89. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.012 EDN: GBSFAU
6. Yakovlev-Malykh NN, Borisenko TD, Kamysnikov VS. Evaluation of the prognostic significance of the ratio of APO-B/APO-A-I in the stratification of the risk of acute forms of coronary heart disease. *Cardiology in Belarus* 2022;14(2):187–198. doi: 10.34883/PI.2022.14.2.004 EDN: VZJAPG
7. Tarasov AV, Kochetov AG, Galyautdinov DM et al. The balance of fatty acids in the blood and plaques in patients with carotid atherosclerosis. *Journal of Atherosclerosis and Dyslipidemias*. 2024;(1):52–62. doi: 10.34687/2219-8202.JAD.2024.01.0007 EDN: EWMRRU
8. Zhurba OM, Merinov AV, Alekseenko AN, Kudaeva IV. Spectrum of esterified fatty acids of the Omega-3 and Omega-6 in the blood of persons with vibration pathology. *Hygiene and Sanitation*. 2021;100(12):1430–1435. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-12-1430-1435 EDN: ULEEGU
9. Gutsol LO, Egorova IE, Korshunova EY. Mechanisms of formation of high density lipoprotein dysfunction (message 1). *Transbaikalian Medical Bulletin*. 2019;(3):72–81. doi: 10.52485/19986173_2019_3_72 EDN: NCUKFP
10. Klimov AN, Nikulicheva NG. *Lipid and lipoprotein metabolism and its violation: a guide for doctors*. St. Petersburg: Peter Com; 1999. 365 p. (In Russ.) ISBN: 5-88782-134-5
11. Patent RUS No 2758932 C1 / 03.11.2023. Bichkaeva FA, Baranova NF, Vlasova OS, et al. Method of measuring the mass concentration of methyl esters of fatty acids in biological media by gas-liquid chromatography. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/70/6f/5d/987f9d0c2ab522/RU2758932C1.pdf> EDN: SBAVXA
12. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*. 2013;310(20):2191–2194. doi: 10.1001/jama.2013.281053
13. Magruk MA, Mosikyan AA, Babenko AY. Biomarkers associated with atherogenesis: current status and promising areas. *Russian Journal of Cardiology*. 2019;24(12):148–152 doi: 10.15829/1560-4071-2019-12-148-152 EDN: PBYHYJ
14. Shikh EV, Makhova AA. Long-chain ω -3 polyunsaturated fatty acids in the prevention of diseases in adults and children: a view of the clinical pharmacologist. *Problems of Nutrition*. 2019;88(2):91–100. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10022 EDN: IMYVVZ
15. Pashinskaya KO, Samodova AV, Dobrodeeva LK. The effect of the content of APOA-I in peripheral blood on the state of immune homeostasis in people living in extreme climatic conditions of the Arctic. *Clinical Laboratory Diagnostics*. 2021;66(9):539–545. doi: 10.51620/0869-2084-2021-66-9-539-545 EDN: IXNUPA
16. Kachkovsky MA, Vvedenskaya IP, Vvedensky VYu, et al. Ersonified diagnostic and correction dyslipidemia approach by profiling of apolipoproteins. *Bulletin of the Medical Institute 'REAVIZ: Rehabilitation, Doctor, and Health'*. 2020;(4):88–104. doi: 10.20340/vmi-rvz.2020.4.11 EDN: KDOOWO
17. Van Dael P. Role of ω -3 long-chain polyunsaturated fatty acids in human nutrition and health: review of recent studies and recommendations. *Nutr Res Pract*. 2021;15(2):137–159. doi: 10.4162/nrp.2021.15.2.137
18. Boyko ER, Kaneva AM. Indices of lipid metabolism for the early diagnosis of cardiovascular disease in residents of the North. *Yakut Medical Journal*. 2019;(3):96–101. doi: 10.25789/YMJ.2019.67.27 EDN: CFSVKY
19. Lyudinina AY, Garnov IO, Boyko ER. Essential fatty acids in diet and their role in improving physical performance of ski racers *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021;28(9):27–33. doi: 10.33396/1728-0869-2021-9-27-33 EDN: WBZZTC
20. Galstyan DS, Bichkaeva FA, Baranova NF. Concentrations of polyunsaturated fatty acids by body mass index among Arctic residents. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2020;27(9):4–10. doi: 10.33396/1728-0869-2020-9-4-10 EDN: REQEPa
21. Drapkina OM, Shepel RN. Omega-3 fatty acids and age-related diseases: realities and prospects. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology* 2015;11(3):309–316. EDN: TYQOGF
22. Berezhnaya IV, Simakova MA, Simakova MA, Sgibneva AI. Polyunsaturated fatty acids: omega-3 and omega-6 and nonalcoholic fatty liver disease. *Pediatrics. Consilium Medicum*. 2021;(4):335–340. doi: 10.26442/26586630.2021.4.201348 EDN: TJCFBG
23. Bitchkayeva FA, Kokoyev TI, Djyoyeva TzG, et al. The content of apolipoproteins in blood M and parameters of lipid metabolism in population of north polar regions and southern regions of caucasus. *Clinical Laboratory Diagnostics*. 2013;(1):25–27. EDN: PVFHMT
24. Krivoshapkina ZN, Mironova GE, Semyonova EI, Olesova LD. Biochemical spectrum of blood serum as indicator of Yakutia residents adaptedness to northern conditions. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2015;22(11):19–24. EDN: UYFTNX
25. Shajmardanov AR, Litovchenko OG. Comparative analysis of the severity of oxidative stress in the indigenous and non-indigenous population of the Yamalo-Nenets autonomous okrug. *Modern Issues of Biomedicine* 2023;7(4):23. doi: 10.51871/2588-0500_2023_07_04_23 EDN: PHZZAM

AUTHORS' INFO

* **Veronika A. Solovyeva**, Assistant Lecturer;
address: 51 Troitsky ave, Arkhangelsk, Russia, 163069;
ORCID: 0000-0002-2954-8040;
eLibrary SPIN: 4724-9603;
e-mail: taurus221@yandex.ru

Ulker G. Guseynova;
ORCID: 0000-0002-6932-0446;
eLibrary SPIN: 2469-9034;
e-mail: ulkerguseynova97@mail.ru

Natalia V. Solovieva, MD, Dr. Sci. (Medicine), Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-0664-4224;
eLibrary SPIN: 2263-8904;
e-mail: patophiz@yandex.ru

Fatima A. Bichkaeva, Dr. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0001-8507-1489;
eLibrary SPIN: 3562-3921;
e-mail: fatima@fciarctic.ru

Andrey G. Soloviev, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-0350-1359;
eLibrary SPIN: 2952-0619;
e-mail: asoloviev1@yandex.ru

ОБ АВТОРАХ

* **Соловьёва Вероника Андреевна**, ассистент;
адрес: Россия, 163069, Архангельск, Троицкий пр-кт, д. 51;
ORCID: 0000-0002-2954-8040;
eLibrary SPIN: 4724-9603;
e-mail: taurus221@yandex.ru

Гусейнова Улькер Габил кызы;
ORCID: 0000-0002-6932-0446;
eLibrary SPIN: 2469-9034;
e-mail: ulkerguseynova97@mail.ru

Соловьёва Наталия Владиславовна, д-р мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-0664-4224;
eLibrary SPIN: 2263-8904;
e-mail: patophiz@yandex.ru

Бичкаева Фатима Артемовна, д-р биол. наук;
ORCID: 0000-0001-8507-1489;
eLibrary SPIN: 3562-3921;
e-mail: fatima@fciarctic.ru

Соловьёв Андрей Горгоньевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-0350-1359;
eLibrary SPIN: 2952-0619;
e-mail: asoloviev1@yandex.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

К проблеме элементного дисбаланса у детей с детским церебральным параличом (спастической диплегией)

Т.К. Ларионова¹, Р.А. Даукаев¹, Э.Р. Шайхлисламова¹, А.Н. Ларионова²,
Э.А. Аухадиева¹, Г.Р. Аллаярова¹, Г.Ф. Адиева¹, Е.Е. Зеленковская¹

¹ Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека, Уфа, Россия;

² Научно-практический центр детской психоневрологии, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Риск развития различных патологий у детей, в том числе болезней нервной системы, часто ассоциируется с нарушением минерального обмена в организме, поскольку макро- и микроэлементы играют важную роль в обеспечении деятельности центральной и вегетативной нервной системы. Элементный дисбаланс в детском организме может быть как следствием аномалий внутриутробного развития, так и связанным с внешнесредовым воздействием.

Цель. Провести анализ и оценку элементного состава волос у детей с детским церебральным параличом (спастической диплегией).

Материалы и методы. Проведено поперечное исследование 93 детей в возрасте 3–6 лет. Их разделили на две группы: основную, которую вошли дети с установленным диагнозом «детский церебральный паралич (спастическая диплегия)», и контрольную. Для оценки элементного статуса методом атомно-абсорбционной спектроскопии в пробах волос определены 14 химических элементов.

Результаты. Элементный гомеостаз детей с диагнозом «детский церебральный паралич» нарушен как в отношении эссенциальных и условно-эссенциальных элементов, так и в отношении токсичных. В волосах детей основной группы установлен достоверно повышенный ($p < 0,05$) уровень марганца, хрома, никеля и свинца относительно верхней границы референтного диапазона и показателей контрольной группы. При этом наблюдается значимое снижение концентрации селена относительно нижней границы нормы и показателей контрольной группы (в 46 и 20 раз соответственно; $p < 0,05$).

Заключение. Изучение элементного состава волос может быть использовано в качестве дополнительного теста при диагностике заболеваний нервной системы у детей, назначении лекарственных препаратов для коррекции минерального обмена.

Ключевые слова: элементный статус; детский церебральный паралич; дисбаланс микроэлементов.

Как цитировать:

Ларионова Т.К., Даукаев Р.А., Шайхлисламова Э.Р., Ларионова А.Н., Аухадиева Э.А., Аллаярова Г.Р., Адиева Г.Ф., Зеленковская Е.Е. К проблеме элементного дисбаланса у детей с детским церебральным параличом (спастической диплегией) // Экология человека. 2024. Т. 31, № 11. С. 829–837. DOI: 10.17816/humeco643109 EDN: ECFAPG

Elemental Imbalance in Children with Cerebral Palsy (Spastic Diplegia)

Tatiana K. Larionova¹, Rustem A. Daukaev¹, Elmira R. Shaikhislamova¹, Anna N. Larionova², Elvira A. Aukhadieva¹, Guzel R. Allayarova¹, Gyuzeliya F. Adieva¹, Evgenya E. Zelenkovskaya¹

¹ Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia;

² Research and Clinical Center of Pediatric Psychoneurology, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The risk of developing various disorders in children, including nervous system diseases, is often associated with impaired mineral metabolism, as macro- and microelements play a critical role in the functioning of both the central and autonomic nervous systems. Elemental imbalance in children may result from intrauterine developmental anomalies or from environmental exposure.

AIM: To analyze and assess the elemental composition of hair in children with cerebral palsy (spastic diplegia).

MATERIALS AND METHODS: A selective cohort study was conducted involving 93 children aged 3 to 6 years. The participants were divided into two groups: the main group, consisting of children diagnosed with cerebral palsy (spastic diplegia), and the control group. To assess elemental status, 14 chemical elements were measured in hair samples using atomic absorption spectrometry.

RESULTS: Elemental homeostasis in children diagnosed with cerebral palsy was found to be disrupted with respect to both essential and conditionally essential elements, as well as toxic ones. In the hair of children in the main group, significantly elevated levels ($p < 0.05$) of manganese, chromium, nickel, and lead were observed compared to the upper reference limit and the control group. At the same time, a significant decrease in selenium concentration was noted, relative to both the lower reference limit and the control group (by a factor of 46 and 20, respectively; $p < 0.05$).

CONCLUSION: Study of the elemental composition of hair may serve as an additional tool in the diagnosis of nervous system disorders in children and in guiding supplemental pharmacologic correction of mineral metabolism.

Keywords: elemental status; cerebral palsy; trace element imbalance.

To cite this article:

Larionova TK, Daukaev RA, Shaikhislamova ER, Larionova AN, Aukhadieva EA, Allayarova GR, Adieva GF, Zelenkovskaya EE. Elemental imbalance in children with cerebral palsy (spastic diplegia). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(11):829–837. DOI: 10.17816/humeco643109 EDN: ECFAPG

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643109>

EDN: ECFAPG

关于脑性瘫痪（痉挛性双瘫）儿童元素失衡问题的探讨

Tatiana K. Larionova¹, Rustem A. Daukaev¹, Elmira R. Shaikhislamova¹, Anna N. Larionova²,
Elvira A. Aukhadieva¹, Guzel R. Allayarova¹, Gyuzeliya F. Adieva¹, Evgenya E. Zelenkovskaya¹

¹ Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia;

² Research and Clinical Center of Pediatric Psychoneurology, Moscow, Russia

摘要

论证。儿童患多种疾病，尤其是神经系统疾病的风险，常与体内矿物质代谢紊乱相关，因为常量元素和微量元素在中枢神经系统和自主神经系统的功能维持中发挥着重要作用。儿童体内的元素失衡既可能源于宫内发育异常，也可能与外部环境因素相关。

目的。分析和评估患有脑性瘫痪（痉挛性双瘫）儿童毛发中的元素组成。

材料与方法。本研究为一项93名3 - 6岁儿童参与的抽样队列研究。受试者被分为两组：一组为主要组，包含确诊为“脑性瘫痪（痉挛性双瘫）”的儿童；另一组为对照组。通过原子吸收光谱法，对毛发样本中14种化学元素的含量进行测定，以评估其元素状态。

结果。被诊断为“脑性瘫痪”的儿童在必需元素、相对必需元素以及有毒元素方面的元素稳态均出现紊乱。在主要组儿童的毛发中，锰、铬、镍和铅的含量显著高于参考区间上限和对照组水平（ $p < 0.05$ ）。硒的浓度相较于参考区间下限和对照组指标显著降低（分别低46倍和20倍； $p < 0.05$ ）。

结论。毛发元素组成的研究可作为儿童神经系统疾病诊断中的辅助检测方法，并为纠正矿物质代谢紊乱的药物处方提供依据。

关键词： 元素状态；脑性瘫痪；微量元素失衡。

引用本文：

Larionova TK, Daukaev RA, Shaikhislamova ER, Larionova AN, Aukhadieva EA, Allayarova GR, Adieva GF, Zelenkovskaya EE. 关于脑性瘫痪（痉挛性双瘫）儿童元素失衡问题的探讨. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(11):829–837. DOI: 10.17816/humeco643109 EDN: ECFAPG

收到: 17.12.2024

接受: 21.04.2025

发布日期: 27.04.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Изучение дисбаланса макро- и микроэлементов при различных заболеваниях, разработка систем реабилитации путём коррекции элементного гомеостаза — весьма важные задачи профилактической медицины. Многочисленные исследования, проводимые в последние годы как российскими, так и зарубежными учёными, показали, что риск развития различных патологий часто ассоциируется с нарушением минерального обмена в организме. Макро- и микроэлементы играют важную роль в обеспечении деятельности центральной и вегетативной нервной системы [1–5]. Элементный дисбаланс в детском организме может быть как следствием аномалий внутриутробного развития, так и связанным с внешнесредовым воздействием и нерациональным питанием [6–10].

Формирование нарушений здоровья детей в перинатальном периоде преимущественно связано с состояниями, возникающими у матери во время беременности, и может быть обусловлено влиянием материнского организма на плод и загрязнением объектов окружающей среды [11, 12]. Некоторые элементы обладают способностью проникать через плацентарный барьер. Плаценты женщин, проживающих в условиях повышенного атмосферного загрязнения, имеют признаки угнетения компенсаторно-приспособительных механизмов. В исследовании А.А. Агаджаняна и А.В. Скального [13] показано, что по концентрации многих металлов в волосах матери можно достоверно судить об элементном статусе новорождённого и риске развития у него микроэlementозов. В результате ранее проведённых исследований выявлено накопление свинца, кадмия, хрома, никеля, цинка, меди, железа в волосах беременных женщин, коррелирующее с уровнем металлов в волосах её новорождённого ($r=0,60-0,78$). Установлено, что у матерей с дисбалансом элементного гомеостаза чаще рождались дети с низкими показателями физического развития, с перинатальным поражением центральной нервной системы. Определены прямые корреляционные связи средней силы между повышенным уровнем цинка и железа в волосах и отягощённым акушерско-гинекологическим анамнезом ($r=0,51$), кадмия — со слабостью родовой деятельности ($r=0,59$), марганца — с быстрыми родами ($r=0,66$), свинца — с патологическим окрашиванием околоплодных вод ($r=0,74$) [14]. Следовательно, установление дисбаланса элементов в организме матери может служить прогнозом (критерием риска) возникновения нарушений в организме ребенка.

В структуре заболеваний, являющихся основными причинами детской инвалидности, первое место занимают психические расстройства и расстройства поведения — 29,8%, на втором месте болезни нервной системы — 17,6%, на третьем месте врождённые аномалии — 13,9% [15]. В классе болезней нервной системы ведущее место принадлежит детскому церебральному параличу (ДЦП) — наиболее тяжёлому последствию

перинатального поражения нервной системы [16]. Нарушение минерального обмена при данной патологии носит, вероятно, врождённый характер и может быть связано в том числе с дисбалансом элементов в организме матери. Токсичные элементы (например, свинец и кадмий) способны преодолевать гематоплацентарный барьер, проникать в плод, в результате формируется дефицит кобальта, селена и цинка в силу антагонистических отношений. Изменение элементного гомеостаза в антенатальном периоде вызывает замедленное развитие плода, нарушение развития нервной системы и регуляции обменных процессов [17].

Ряд эссенциальных микро- и макроэлементов (Fe, Cu, Zn, Ca, Mg, Se и др.) играет значимую физиологическую роль в развитии детского организма. Тяжёлые металлы (свинец, кадмий, ртуть) и мышьяк являются нейротоксическими ядами и оказывают неблагоприятное воздействие на нервную систему даже при низких концентрациях. Некоторые эссенциальные элементы (марганец, медь) при высоких концентрациях также становятся нейротоксичными.

Вышесказанное подтверждает необходимость детального исследования элементного гомеостаза у детей с заболеваниями нервной системы для повышения эффективности лечебно-профилактических мер.

Цель исследования. Анализ и оценка элементного состава волос у детей с ДЦП (спастической диплегией).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено поперечное исследование 93 детей, проживающих в крупном промышленном городе — Уфе. Всех обследованных разделили на две группы. В основную группу вошли 43 ребёнка (17 мальчиков и 26 девочек) с установленным диагнозом «ДЦП (спастическая диплегия)», в контрольную — 50 детей (15 мальчиков и 35 девочек).

Критерии включения в исследование: возраст от 3 до 6 лет, постоянное проживание в Уфе от момента рождения, отсутствие сопутствующих хронических заболеваний, длительной постоянной медикаментозной терапии, приёма витаминно-минеральных комплексов в течение 6 мес.

Критерии исключения: родовая травма, возраст младше 3 и старше 6 лет, наличие сопутствующей патологии, часто болеющие ОРЗ, приём лекарственных средств и минерально-витаминных комплексов, проживание в другом регионе.

Для оценки элементного статуса детей провели анализ волос как наиболее доступного биологического материала, отражающего баланс макро- и микроэлементов в организме, методом атомно-абсорбционной спектроскопии в соответствии с действующими методическими указаниями. Для анализа с затылочной части головы состригали волосы в количестве 0,1–0,5 г, обрабатывали

ацетоном, затем промывали деионизированной водой. Сушили волосы при комнатной температуре в течение 15 мин. До выполнения анализа пробы волос хранили в бумажных пакетах в сухом месте при комнатной температуре. Забор и хранение проб биологического материала проводили в соответствии с действующими методическими рекомендациями. После микроволнового разложения проб волос в системе Speedwave Xpert (Berghof Products + Instruments GmbH) определяли эссенциальные (Fe, Cu, Zn, Ca, Mg, Cr, Co, Se, Mn), условно-эссенциальные (Ni, As) и токсичные элементы (Pb, Cd, Hg) методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборах АА моделей 240FS и 240Z с пламенной и термической атомизацией (Varian).

Результаты исследований содержания химических элементов в волосах детей с установленным диагнозом «ДЦП (спастическая диплегия)» в связи с отсутствием утверждённых норм оценивали относительно референтных значений, предложенных А.В. Скальным [18]. Так как для различных регионов характерен специфический фоновый уровень металлов в биосредах [6, 9, 19], концентрации металлов в волосах детей также сравнивали с уровнем в контрольной группе.

Исследование выполнено в период 2019–2024 гг. с обязательным соблюдением этических принципов и обеспечением конфиденциальности полученной информации, одобрено биоэтической комиссией ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» (выписка из протокола заседания биоэтической комиссии от 25.12.2019 № 01-12). От законных представителей детей получено информированное согласие на участие в исследовании.

Статистический анализ проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel и Statistica 10 (IBM, USA). Проверку распределения

на нормальность осуществляли с помощью критерия Колмогорова–Смирнова. Значимость различий между группами оценивали с помощью критерия Манна–Уитни и *t*-критерия Стьюдента. В таблицах приведены средние значения, ошибка среднего ($M \pm m$), медиана, минимальные и максимальные уровни элементов в биологической среде организма.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ полученных результатов исследования волос здоровых детей и детей с ДЦП выявил ряд значимых различий элементного состава. Концентрации эссенциальных элементов (меди, цинка, железа, кобальта, кальция и магния) в волосах детей с ДЦП находятся в рамках референтного диапазона, достоверных различий с контрольной группой не установлено ($p > 0,05$). Средняя концентрация цинка в волосах всех обследованных детей близка к нижней границе нормы (табл. 1).

Уровень хрома в волосах у 82% детей основной группы выше верхней границы референтного значения (по средней величине в 2,2 раза) и содержания в контрольной группе ($U=0,0001$, $p < 0,05$). Уровень марганца у 81% детей основной группы выше верхней границы референтного значения (по средней величине в 1,2 раза) и в 2,9 раза выше содержания в волосах детей контрольной группы ($p < 0,001$). Содержание селена в основной группе в 46 раз, а в контрольной в 2 раза меньше нижней границы нормы, различия между группами достоверны ($p < 0,001$).

По оценкам зарубежных исследователей, «уровень озабоченности» для свинца определён при концентрации в волосах детей 3 мкг/г и более [13]. В результате исследований отмечен повышенный в 1,4 раза относительно референтных значений и в 5,4 раза относительно группы

Таблица 1. Уровень эссенциальных элементов в волосах обследованных детей, мкг/г

Table 1. Levels of essential elements in the hair of the examined children, µg/g

Показатель Parameter	Cu	Zn	Fe	Mn	Co	Cr	Ca	Mg	Se
Референтные значения [18] Reference values									
Min–max	8–12	94–183	13–27	0,32–0,93	0,02–0,11	0,26–0,70	254–611	18–56	0,65–2,43
Содержание химических элементов в волосах детей основной группы Content of chemical elements in the hair of children in the main group									
$M \pm m$	9,4±0,3	99,3±5,6	20,6±1,1	1,14*±0,05	0,07±0,01	1,52*±0,21	413±27	46,7±3,4	0,014*±0,001
Медиана Median	9,5	102,2	15,0	1,04	0,07	1,00	380	42,2	0,014
Min–max	4,5–14,4	35,2–216,1	12,8–54,3	0,61–1,97	0,02–0,21	0,49–5,45	53–973	15,2–98,7	0,006–0,025
Содержание химических элементов в волосах детей контрольной группы Content of chemical elements in the hair of children in the control group									
$M \pm m$	9,9±0,5	86,0±5,9	17,0±1,3	0,40±0,03	0,07±0,01	0,67±0,04	388±34	41,4±3,2	0,277±0,017
Медиана Median	9,2	87,4	15,0	0,34	0,08	0,65	321	37,9	0,290
Min–max	4,1–19,2	36,3–191,1	3,9–45,3	0,09–0,92	0,03–0,12	0,22–1,66	63–973	12,1–99,4	0,120–0,390

Примечание. * Различия с контрольной группой достоверны (критерий $p < 0,05$).

Note. *- Statistically significant difference from the control group ($p < 0.05$).

Таблица 2. Уровень условно-эссенциальных и токсичных элементов в волосах обследованных детей, мкг/г

Table 2. Levels of conditionally essential and toxic elements in the hair of the examined children, µg/g

Показатель Parameter	Pb	Cd	Ni	As	Hg
Референтные значения [18] Reference values					
Min–max	0,76–2,73	0,03–0,18	0,15–0,55	0–0,69	ПДУ 0,5
Содержание химических элементов в волосах детей основной группы Content of chemical elements in the hair of children in the main group					
M±m	3,71*±0,31	0,06*±0,01	2,25*±0,24	0,011±0,001	0,013*±0,001
Медиана Median	3,14	0,06	1,88	0,008	0,010
Min–max	0,98–9,12	0,01–0,15	1,07–9,47	0,001–0,030	0,001–0,043
Содержание химических элементов в волосах детей контрольной группы Content of chemical elements in the hair of children in the control group					
M±m	0,68 ± 0,75	0,10±0,01	0,27±0,07	0,013±0,003	0,183±0,011
Медиана Median	0,36	0,06	0,25	0,011	0,180
Min–max	0,01–2,92	0,00–0,39	0,05–0,56	0,002–0,035	0,024–0,350

Примечание. * Различия с контрольной группой достоверны ($p < 0,05$).
Note. * Statistically significant differences from the control group ($p < 0.05$).

контроля средний уровень свинца ($p < 0,001$). У 65% обследованных детей значение показателя превышает верхнюю границу нормы и выше «уровня озабоченности» (табл. 2).

Несмотря на то что ртуть относится к нейротоксическим ядам, её содержание в волосах детей с ДЦП достоверно ниже (в 14 раз), чем в группе сравнения ($p < 0,001$). Средняя концентрация никеля в 4,1 раза выше верхней границы референтного уровня и в 8,3 раза выше значений контрольной группы, причём превышение определено в 100% проб волос ($U=0,0001$, $p < 0,05$).

Содержание свинца и хрома в волосах мальчиков значимо выше, чем у девочек, при этом снижен уровень кадмия, кальция и магния ($p < 0,05$). Достоверных различий между содержанием остальных изученных элементов в волосах детей с ДЦП в зависимости от пола ребенка не выявлено.

На рис. 1 представлены результаты исследований элементного состава волос детей относительно верхней границы диапазона референтных концентраций.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведённые исследования показали, что элементный гомеостаз детей с ДЦП нарушен как в отношении эссенциальных и условно-эссенциальных элементов (Mn, Cr, Se, Ni), так и в отношении токсичного Pb. Установлено статистически значимое повышение уровня марганца, хрома, никеля, свинца и значительный дефицит селена.

Схематично это может быть представлено в виде соотношения: ДЦП=Mn, Cr, Ni, Pb/Se, где в числителе избыток, в знаменателе недостаток элементов.

По данным А.А. Тинькова и соавт. [20], у детей с ДЦП отмечается выраженный дефицит марганца. Нашими исследованиями это не подтвердилось: уровень элемента выше и референтных значений, и показателей контрольной группы. Несмотря на то что марганец — эссенциальный микроэлемент, необходимый в том числе для синтеза нейромедиаторов, его избыток в организме человека может проявляться невротическими синдромами.

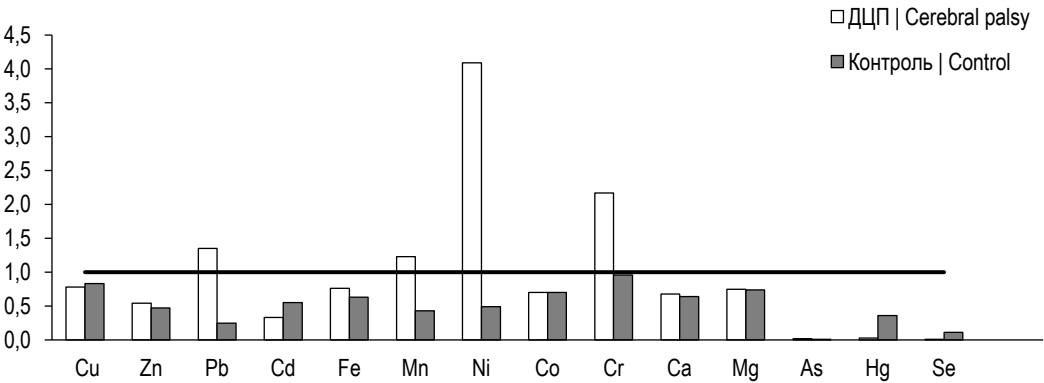


Рис. 1. Концентрация элементов в волосах детей основной и контрольной групп (верхняя граница референтного диапазона принята за 1).
Fig. 1. Element concentrations in the hair of children in the main and control groups (the upper reference limit is set as 1).

Хром, концентрации которого в волосах детей с ДЦП значительно повышены, что согласуется с литературными данными [20], способен проникать через плацентарный барьер и накапливаться в тканях плода, в том числе в мозге, вызывая отклонения в его развитии.

Никель является условно-эссенциальным элементом, однако выявленные нами высокие концентрации металла могут негативно влиять на состояние организма в целом.

Свинец, уровни которого также превышали значения в группе контроля, относится к токсичным элементам, вызывающим патологические изменения нервной системы, крови и сосудов. Считается, что токсическое действие свинца во многом обусловлено его антагонистическим взаимодействием с эссенциальными элементами — Са, Mg [13].

Таким образом, все элементы, содержащиеся в повышенном количестве в волосах детей с ДЦП, связаны с деятельностью нервной системы.

В волосах детей с ДЦП понижено содержание селена — важнейшего биологически активного микроэлемента. Недостаток селена отрицательно влияет на репродуктивную функцию, замедляет развитие плаценты, приводит к заболеваниям опорно-двигательного аппарата, скелетной мускулатуры [20]. У матерей с дефицитом селена новорождённые имеют сниженную мышечную массу и отстают в развитии [13]. Роль селена в организме определяется его антиоксидантным действием, он является антагонистом ртути, свинца, кадмия, мышьяка. Исследованиями А.А. Тинькова и соавт. [21], изучавших обмен селена у детей с ДЦП, подтверждён сниженный уровень элемента в волосах при его повышенном содержании в крови. Авторы работы считают, что для информативной оценки нарушения обмена селена необходимо определение нескольких маркеров обеспеченности организма этим элементом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты оценки элементного гомеостаза у детей с ДЦП (спастической диплегией) выявили отклонения относительно физиологической нормы и показателей контрольной группы по шести элементам. В структуре избыточных состояний преобладают никель, хром, свинец, марганец, дефицитное состояние характерно для селена.

Выявленный элементный дисбаланс свидетельствует о нарушении адаптационных механизмов, поскольку обмен микроэлементов является важным звеном в патогенезе заболеваний как центральной нервной системы, так и организма человека в целом.

Изучение элементного состава волос может быть использовано в качестве одного из тестов при диагностике заболеваний нервной системы у детей. Ранняя диагностика дисэлементозов у детей с ДЦП может служить одним из эффективных методов поддержания здоровья ребёнка путём проведения превентивных

оздоровительных мероприятий, повышения эффективности лечебно-профилактических мер за счёт включения дополнительных лекарственных препаратов и организации индивидуального питания для коррекции минерального обмена.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Т.К. Ларионова, Э.Р. Шайхлисламова — общая концепция статьи, обзор литературных данных, написание статьи, редактирование; Р.А. Даукаев, А.Н. Ларионова, Г.Ф. Адиева, Г.Р. Аллаярова, Е.Е. Зеленковская, Э.А. Аухадиева — обоснование проведения исследования, описание материалов и методов, сбор биологического материала, выполнение исследований, обработка результатов, статистический 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 биоэтической комиссией ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» (выписка из протокола заседания биоэтической комиссии от 25.12.2019 № 01-12).

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 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.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: T.K. Larionova, E.R. Shaikhislamova: conceptualization, sources review, writing—original draft, writing—review & editing; R.A. Daukaev, A.N. Larionova, G.F. Adieva, G.R. Allayarova, E.E. Zelenkovskaya, E.A. Aukhadieva: rationale for the study, description of materials and methods, biological sample collection, investigation, data processing, statistical analysis. All authors confirm that their authorship meets the 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 Bioethics Committee of the Federal Budgetary Institution of Science Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology (Extract from the meeting minutes of the Bioethics Committee dated December 25, 2019, No. 01-12).

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

1. Castiglioni S, Cazzaniga A, Albisetti W, Maier JA. Magnesium and osteoporosis: Current state of knowledge and future research directions. *Nutrients*. 2013;(5):3022–3023. doi: 10.3390/nu5083022
2. Tvorogova TM, Vorobyeva AS. Undifferentiated connective tissue dysplasia from the perspective of dyselementosis in children and adolescents. *Russian Medical Journal*. 2012;20(24):1215–1221. (In Russ.) EDN: PNBUEB
3. Evtushenko EI. The biological role of macro- and microelements in the activity of the nervous system (analytical review). *Archives of Clinical and Experimental Medicine*. 2021;30(2):188–193. EDN: ZRXPQO
4. McCann JC, Ames BN. An overview of evidence for a causal relation between iron deficiency during development and deficits in cognitive or behavioral function. *Am J Clin Nutr*. 2007;85(4):931–945. doi: 10.1093/ajcn/85.4.931
5. Zaitseva NV, Zemlianova MA, Koldibekova YuV, Peskova EV. Development of neurotoxic effects of neurotrophic chemicals. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2020;27(3):47–53. doi: 10.33396/1728-0869-2020-3-47-53 EDN: KVDECG
6. Voronkova IP, Mikhaylova IV, Boev VM, et al. Characteristics of the content of toxic trace elements in the hair and blood of children from various districts of Orenburg oblast. *International Research Journal*. 2021;(5–2):12–16. doi: 10.23670/IRJ.2021.107.5.036 EDN: BUGCOT
7. Vilchuk KU, Kurets NI, Devyaltovskaya MG, et al. Health status, indicators of elemental and immune status in children of the first two years of life who have suffered perinatal damage to the central nervous system. *Reproductive health. Eastern Europe*, 2011;(3):62–86. (In Russ.) EDN: NUKREF
8. Cho JM, Yang HR. Hair mineral and trace element contents as reliable markers of nutritional status compared to serum levels of these elements in children newly diagnosed with inflammatory bowel disease. *Biol Trace Elem Res*. 2018;185(1):20–29. doi: 10.1007/s12011-017-1225-6
9. Notova SV, Kireeva GN, Zhukovskaya EV, et al. The influence of anthropogenous and geochemical environmental factors on the elementary status of children of Chelyabinsk region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2017;24(11):23–28. doi: 10.33396/1728-0869-2017-11-23-28 EDN: ZSKCIB
10. Jahan I, Muhiit M, Al Imam MH, et al. Nutritional status of children with cerebral palsy in gorkha, nepal: findings from the nepal cerebral palsy register. *Nutrients*. 2021;13(8):2537. doi: 10.3390/nu13082537
11. Sofronov VV, Voloshin AV, Skvortsova GSh. Elemental composition of blood plasma and erythrocytes as a marker of perinatal pathology. *Trace Elements in Medicine*, 2022;23(4):53–61. doi: 10.19112/2413-6174-2022-23-4-53-61 EDN: DRUCRM
12. Belyanovskaya AI, Baranovskaya NV, Stankevich SS, et al. The influence of technogenesis on the accumulation of chemical elements in the placental barrier of Tomsk region women. *Samara Journal of Science*. 2019;8(3):25–30. doi: 10.24411/2309-4370-2019-13103 EDN: EMNOZT
13. Agajanyan NA, Skalny AV. *Chemical elements in the habitat and ecological portrait of a person*. Moscow: KMK; 2001, 83 p. (In Russ.) EDN: XSIZTN
14. Larionova TK, Akhmadeeva EN, Magjanova SA, et al. The influence of pollution of the habitat by heavy metals on the health of the mother and newborn. *Zdravookhranenie Bashkortostana*, 1999;(S3):133–138. EDN: WYTDHT
15. Distribution of children under the age of 18 recognized as disabled for the first time by forms of diseases (data from the Ministry of Labor of the Russian Federation). [cited 2024 Jun 13]. Available from: https://mintrud.gov.ru/opendata/7710914971-structure_of_primary_disability_by_class_of_illness_among_children (In Russ.)
16. Lisovskyy EV, Kusainova KK, Shakenov MZh, Lisovska NYu. Immunological mechanisms in the pathogenesis of cerebral palsy. *J Clin Med Kaz*. 2016;(1):6–11. EDN: WYDFXR
17. Popova KE, Senkevich OA, Skretnev AS, et al. Neurospecific elements in children 6–7 years, moved in critical conditions at birth. *Trace Elements in Medicine*. 2019;20(2):18–27. doi: 10.19112/2413-6174-2019-20-2-18-27 EDN: YPVNBX
18. Skalny AV. Reference values of the concentration of chemical elements in hair obtained by the ISP-NPP method (ANO Center for Biotic Medicine). *Trace Elements in Medicine*. 2003;4(1):55–56. EDN: NRASCJ
19. Ruiz R, Estevan C, Estévez J, et al. Reference values on children's hair for 28 elements (heavy metals and essential elements) based on a pilot study in a representative non-contaminated local area. *Int J Mol Sci*. 2023;24: 8127. doi: 10.3390/ijms24098127
20. Tinkov AA, Kuzmicheva AP. Comparative analysis of hair essential element content in children with spastic and ataxic cerebral palsy. *Trace Elements in Medicine*. 2020;21(4):60–65. doi: 10.19112/2413-6174-2020-21-4-60-65 EDN: CKPTFN
21. Tinkov AA, Ajsuvakova OP, Kuzmicheva AP, Skalny AV. Characteristics of selenium exchange in children with cerebral palsy. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2019;22(11):43–48. EDN: LNPOOQ

ОБ АВТОРАХ

***Ларионова Татьяна Кенсариновна**, канд. биол. наук, доцент;
адрес: Россия, 450106, Уфа, ул. Степана Кувыкина, д. 94;
ORCID: 0000-0001-9754-4685;
eLibrary SPIN: 5305-0589;
e-mail: laronovatk@yandex.ru

Даукаев Рустем Аскарлович, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0002-0421-4802;
eLibrary SPIN: 4086-7132;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

AUTHORS' INFO

***Tatiana K. Larionova**, Cand. Sci (Biology), Associate Professor;
address: 94 Stepan Kuvykin st, Ufa, Russia, 450106;
ORCID: 0000-0001-9754-4685;
eLibrary SPIN: 5305-0589;
e-mail: laronovatk@yandex.ru

Rustem A. Daukaev, Cand. Sci (Biology);
ORCID: 0000-0002-0421-4802;
eLibrary SPIN: 4086-7132;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Шайхлисламова Эльмира Радиковна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-6127-7703;
eLibrary SPIN: 1041-3862;
e-mail: shajkh.ehlmira@yandex.ru

Ларионова Анна Николаевна;
ORCID: 0000-0001-9652-4236;
eLibrary SPIN: 8038-6346;
e-mail: annalario21@yandex.ru

Аухадиева Эльвира Ахатовна;
ORCID: 0000-0002-6793-6992;
eLibrary SPIN: 9475-1793;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Аллаярова Гузель Римовна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0003-0838-3598;
eLibrary SPIN: 3704-1010;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Адиева Гюзелия Фаритовна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0003-2377-3471;
eLibrary SPIN: 3805-1755;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Зеленковская Евгения Евгеньевна;
ORCID: 0000-0001-7682-2703;
eLibrary SPIN: 4662-3255;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Elmira R. Shaikhislamova, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-6127-7703;
eLibrary SPIN: 1041-3862;
e-mail: shajkh.ehmira@yandex.ru

Anna N. Larionova;
ORCID: 0000-0001-9652-4236;
eLibrary SPIN: 8038-6346;
e-mail: annalario21@yandex.ru

Elvira A. Aukhadieva;
ORCID: 0000-0002-6793-6992;
eLibrary SPIN: 9475-1793;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Guzel R. Allayarova, Cand. Sci (Biology);
ORCID: 0000-0003-0838-3598;
eLibrary SPIN: 3704-1010;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Gyuzeliya F. Adieva, Cand. Sci (Biology);
ORCID: 0000-0003-2377-3471;
eLibrary SPIN: 3805-1755;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

Evgenya E. Zelenkovskaya;
ORCID: 0000-0001-7682-2703;
eLibrary SPIN: 4662-3255;
e-mail: ufa.lab@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643165>

EDN: FFRKFV

Детерминанты пищевого поведения у студентов медицинского вуза: протокол исследования

К.В. Шелыгин¹, Л.И. Ложкина¹, А.В. Стрелкова^{1,2}, И.А. Крылова¹, С.И. Малявская¹¹ Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия;² Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. Представление исследования «Детерминанты пищевого поведения у студентов медицинского вуза», направленного на оценку детерминированности пищевого поведения обучающихся в медицинском вузе.

Материалы и методы. В когортное исследование будут включены студенты, обучающиеся в Северном государственном медицинском университете (Архангельск). Возрастная группа 18–25 лет. Ожидаемый объём выборки — 2500 человек. Объект исследования: пищевое поведение молодёжи. Предмет исследования: аффективно-невротические и социально-демографические детерминанты пищевого поведения. Материалами исследования послужат данные, которые планируем получить в ходе антропометрического и социально-психологического исследования, которое будет проводиться на базе Северного государственного медицинского университета. Контрольная группа не предусмотрена.

Ожидаемые результаты. В ходе исследования будет определена распространённость вариантов повышенного и пониженного веса тела в изучаемой группе населения, дана оценка частоте встречаемости нарушения пищевого поведения, определены аффективно-невротические и социально-демографические детерминанты пищевого поведения, оценён их вес при нарушении пищевого поведения, а также установлены взаимосвязи аффективно-невротических особенностей личности (тревожных, депрессивных, обсессивных, гипоманиакальных состояний) и антропометрических показателей (веса, роста, окружности бёдер и талии, толщины кожных складок). На основе полученных данных представляется возможным определить аффективно-невротический профиль личности при различных формах нарушения пищевого поведения.

Ключевые слова: пищевое поведение; психологическое обследование; детерминированность пищевого поведения.

Как цитировать:

Шелыгин К.В., Ложкина Л.И., Стрелкова А.В., Крылова И.А., Малявская С.И. Детерминанты пищевого поведения у студентов медицинского вуза: протокол исследования // Экология человека. 2024. Т. 31, № 11. С. 838–844. DOI: 10.17816/humeco643165 EDN: FFRKFV

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643165>

EDN: FFRKFV

Determinants of Eating Behavior Among Medical University Students: Study Protocol

Kirill V. Shelygin¹, Lada I. Lozhkina¹, Alexandra V. Strelkova^{1,2},
Irina A. Krylova¹, Svetlana I. Malyavskaya¹

¹ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;

² Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

AIM: To present the design of the study “Determinants of Eating Behavior Among Medical University Students”, aimed at assessing the determinants underlying eating behavior in medical students.

MATERIALS AND METHODS: This cohort study will include students enrolled at the Northern State Medical University (Arkhangelsk, Russia), aged 18 to 25 years. The expected sample size is 2500 participants. The study object is eating behavior in young adults. The subject is affective-neurotic and sociodemographic determinants of eating behavior. The study materials will consist of data planned to be obtained through an anthropometric and sociopsychological assessment to be conducted at the Northern State Medical University. A control group is not planned to be formed.

EXPECTED RESULTS: The study will assess the prevalence of both underweight and overweight conditions in the target population, determine the frequency of disordered eating behavior, identify affective-neurotic and sociodemographic determinants of eating behavior, and evaluate their contribution to disordered eating. It will also examine the associations between affective-neurotic personality traits (including anxiety, depression, obsessive tendencies, and hypomanic states) and anthropometric parameters (such as weight, height, hip and waist circumference, and skinfold thickness). Based on the data obtained, it will be possible to identify affective-neurotic personality profiles associated with various forms of disordered eating behavior.

Keywords: eating behavior; psychological assessment; determinants of eating behavior.

To cite this article:

Shelygin KV, Lozhkina IL, Strelkova AV, Krylova IA, Malyavskaya SI. Determinants of Eating Behavior Among Medical University Students: Study Protocol. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(11):838–844. DOI: 10.17816/humeco643165 EDN: FFRKFV

Received: 18.12.2024

Accepted: 02.04.2025

Published online: 05.05.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643165>

EDN: FFRKFV

医科大学学生饮食行为的决定因素：研究方案

Kirill V. Shelygin¹, Lada I. Lozhkina¹, Alexandra V. Strelkova^{1,2},
Irina A. Krylova¹, Svetlana I. Malyavskaya¹

¹ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;

² Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

摘要

目的。旨在介绍题为《医科大学学生饮食行为的决定因素》的研究，该研究致力于评估医学生饮食行为的决定因素。

材料与方法。本项队列研究拟纳入就读于Northern State Medical University (Arkhangelsk, 俄罗斯) 18 - 25岁的学生。计划样本量为2500人。研究对象为青年群体的饮食行为。研究内容为饮食行为的情感-神经症性和社会人口学决定因素。研究材料将包括在Northern State Medical University开展的人体测量与社会心理学调查中获得的数据。本研究不设对照组。本研究不设对照组。

预期结果：本研究将确定所研究人群中体重过高与体重过低的患病率，评估饮食行为障碍的发生频率，明确饮食行为的情感-神经症性和社会人口学决定因素，评估其在饮食行为障碍形成中的权重。同时，将探讨个体情感-神经症性特征（焦虑、抑郁、强迫、轻躁狂状态）与人体测量指标（体重、身高、臀围、腰围、皮褶厚度）之间的关系。基于所得数据，有望确定饮食行为障碍不同类型所对应的个体情感-神经症性特征概况。

关键词：饮食行为；心理评估；饮食行为的决定因素。

引用本文：

Shelygin KV, Lozhkina IL, Strelkova AV, Krylova IA, Malyavskaya SI. 医科大学学生饮食行为的决定因素：研究方案. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(11):838–844. DOI: 10.17816/humeco643165 EDN: FFRKFV

收到: 18.12.2024

接受: 02.04.2025

发布日期: 05.05.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Нарушение пищевого подведения представляет собой актуальную медико-социальную и экономическую проблему. Пищевая потребность является одной из витальных потребностей человека, которая направлена на поддержание гомеостаза.

Удовлетворение пищевой потребности происходит через пищевое поведение. Под пищевым поведением принято понимать сложный комплекс ценностно-смысловых установок, индивидуально-психологических, генетических и анатомо-морфологических особенностей, влияющих на время и количество употребления пищи [1, 2].

Нарушение (искажение) пищевого поведения — одна из основных проблем психического здоровья прежде всего в силу вторичного вреда, а скрининговые исследования нарушений пищевого поведения и расстройств, которые могут привести к его развитию или являться его следствием, считаются приоритетными профилактическими мерами [3]. Дополнительную озабоченность вызывает высокая распространенность данных расстройств в молодёжной среде [4, 5].

Искажение пищевого поведения является одним из факторов, приводящим к ожирению, которое, в свою очередь, является хроническим заболеванием, относящимся к основным факторам риска таких заболеваний, как сердечно-сосудистые и сахарный диабет второго типа [6, 7]. В связи с этим изучение уровня нарушения пищевого поведения у лиц, имеющих как повышенный вес (ожирение), так и дефицит веса, позволяет осуществлять раннюю диагностику и профилактику одних из самых распространённых групп заболеваний.

Нарушение пищевого поведения коморбидно расстройствам, связанным с тревогой и страхом, обсессивно-компульсивному и сходным с ним расстройствам, суицидальному поведению, нарушениям в аффективной сфере [8]. В связи с этим при изучении пищевого поведения следует учитывать возможность их взаимосвязи с различными психическими расстройствами и расстройствами поведения.

Планируемое исследование пищевого поведения в молодёжной среде ставит целью изучение социальной, демографической, аффективно-невротической детерминированности особенностей пищевого поведения у лиц возрастной группы 18–25 лет на примере студентов медицинского вуза.

Задачи исследования:

- 1) изучить социально-демографический статус лиц возрастной группы 18–25 лет;
- 2) исследовать антропометрические особенности обследуемого контингента (вес, рост);
- 3) исследовать особенности пищевого поведения лиц возрастной группы 18–25 лет;
- 4) определить наличие аффективно-невротических тенденций;
- 5) определить детерминанты нарушения пищевого поведения у лиц возрастной группы 18–25 лет.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалами исследования послужат данные, полученные в ходе антропометрического и социально-психологического исследования, которое будет проводиться на базе Северного государственного медицинского университета (Архангельск). Обследование анонимное и предусматривает обезличивание персональных данных. Исследование планируется провести в два этапа.

Первый этап — сбор первичных данных. Сбор данных скрининговыми методиками осуществляется при помощи онлайн-тестирования: респондентам выдаётся QR-код, по которому они могут пройти на специальную интернет-страницу и приступить к ответам на вопросы или тестированию. Антропометрические данные: лица, согласившиеся пройти антропометрическое обследование, будут проходить его в консультативно-диагностической поликлинике Северного государственного медицинского университета. Замеры осуществляются в индивидуальном порядке (по одному респонденту) лицами, имеющими медицинское образование. Замеры осуществляются с соблюдением половой принадлежности респондентов (мужчин измеряет мужчина, женщин — женщина). Замеры осуществляются штатным медицинским оборудованием (ростомер, напольные медицинские весы), прошедшим сертификацию и используемым в поликлинике для рутинных антропометрических измерений.

Второй этап — оценка аффективно-невротической и социально-демографической детерминированности пищевого поведения, а также определение аффективно-невротических профилей личности при различных формах нарушения пищевого поведения обследованных лиц.

Исследуемая популяция

В исследование предполагается включить сплошную популяцию обучающихся на очной форме в Северном государственном медицинском университете (Архангельск) согласно списочному составу (2500 человек).

Критерии формирования выборки:

- качественная характеристика выборки: студенты 1–6-го курсов (исключая студентов международного факультета врача общей практики, заочных и вечерних отделений);
- возрастная группировка: 18–25 лет;
- количественная характеристика — около 2500 человек согласно прогнозируемому списочному составу на момент проведения обследования.

Критерии включения:

- на момент обследования студент очного отделения (1–6-й курс) Северного государственного медицинского университета, нативный носитель русского языка;

Критерии невключения:

- не студент очного отделения (1–6-й курс) Северного государственного медицинского университета, очного отделения;

- возраст младше 18 и старше 25 лет;
- не носитель русского языка как родного;
- наличие установленных хронических заболеваний в стадии обострения (психических, неврологических), наличие ограничений в питании (спортивных, в связи с заболеванием, щадящие механические и/или химические диеты).

Подгруппы:

- по полу;
- по факультету;
- по курсу;
- по индексу массы тела (ИМТ).

Исследование одобрено на заседании локального этического комитета ФГБОУ ВО СГМУ (Архангельск) Минздрава России 28.06.2024 (протокол № 06/06-24).

Процедура сбора данных (выбранные инструменты и методы измерений)

1. Обезличивание данных. Каждому обследуемому присваивается уникальный идентификатор (НИК) в виде номера. Присваивание уникального номера осуществляется при первом контакте (при ознакомлении с картой информированного согласия). Обследуемого просят записать свой номер (выдают картонный жетон с номером), чтобы он мог его использовать при последующих процедурах обследования. Первая цифра идентификатора — условное обозначение факультета, вторая цифра — порядковый номер курса, последующие цифры — порядковый номер студента.

2. Социально-психологические методы, используемые в социологии и клинической психологии. Применительно к данному исследованию используются официально принятые и валидизированные на российской выборке следующие методики:

- тест пищевых установок (EAT-26) для оценки степени выраженности нарушения пищевого поведения [3];
- госпитальная шкала тревоги и депрессии (HADS) для оценки степени выраженности тревоги и депрессии [9];
- опросник гипомании (Hypomania Checklist-32, HCL-32) для скринингового выявления гипомании [10];
- шкала обсессивно-компульсивных расстройств Йела-Брауна для определения степени тяжести обсессивных и компульсивных симптомов [11];
- анкета, предусматривающая сбор социальных и демографических данных (авторский вариант).

3. Антропометрические методы: измерение роста стоя, массы тела по общепринятым методикам для определения ИМТ¹.

Статистический анализ данных

Статистическая обработка данных будет произведена с использованием пакетов прикладных статистических программ SPSS 25.0, Statistica 15.0 и параметрических и непараметрических критериев. Уровень значимости различий и достоверность результатов будет оцениваться с использованием *t*-критерия Стьюдента для независимых выборок (при нормальном распределении по критерию Колмогорова–Смирнова). Данные, не имеющие нормального распределения, будут оцениваться с использованием двустороннего непараметрического критерия Манна–Уитни. Для статистической обработки полученных количественных данных будет использован метод доверительных интервалов. Анализ качественных признаков будет проведен методом с использованием критерия χ^2 и критерия Фишера, взаимосвязей — с помощью корреляционного и регрессионного анализов. Уровень значимости $p < 0,05$. Окончательный выбор статистического инструментария будет осуществлен на основании первичного анализа полученных данных и поставленных задач.

ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Будет дана оценка частоте встречаемости нарушения пищевого поведения в обследуемой группе.

Будет определена распространённость вариантов повышенного и пониженного веса тела в изучаемой группе населения.

Будет изучен социально-демографический статус лиц возрастной группы 18–25 лет, обучающихся в медицинском вузе.

Будет дана оценка распространённости аффективных и невротических нарушений в обследуемой группе (склонности к формированию повышенной тревоги, депрессии, обсессивных расстройств, гипоманиакальных состояний).

Будет определён аффективно-невротический профиль личности при различных формах нарушения пищевого поведения.

Будут определены структура аффективно-невротических нарушений в зависимости от пола, факультета, курса и ИМТ.

Будут определены аффективно-невротические и социально-демографические детерминанты пищевого поведения.

Исследования показывают высокую распространённость расстройств пищевого поведения в различных группах населения. Среди студентов-медиков отмечается высокая распространённость расстройств пищевого поведения, при этом многие из них используют неэффективные стратегии преодоления [12]. Исследования также показывают, что у лиц с расстройствами пищевого поведения наблюдаются особенности в функционировании высших психических функций и высокая коморбидность

¹ ГОСТ-Р52623.1-2008. Технологии выполнения простых медицинских услуг функционального обследования. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200068115>

с иными психическими расстройствами [13, 14]. У детей в возрасте 6–16 лет с ожирением различные типы пищевого поведения были связаны с конкретными фенотипами ожирения, что с учётом хронического характера данного заболевания и его связи с нарушениями пищевого поведения и иными коморбидными расстройствами указывает на необходимость персонализированных диетических вмешательств [15, 16].

Эти данные подчёркивают важность продолжения исследований и целенаправленных вмешательств для решения проблемы широкой распространённости расстройств пищевого поведения.

В нашем исследовании мы планируем изучение социально-демографических и аффективно-невротических характеристик, выступающих детерминантами особенностей пищевого поведения у лиц возрастной группы 18–25 лет на примере студентов медицинского вуза. Мы полагаем, что полученные в ходе исследования данные о структурно-содержательных особенностях адекватного и нарушенного пищевого поведения позволят разработать персонализированные лечебно-профилактические программы, основанные на комплексном подходе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленное исследование направлено на изучение распространённости и детерминированности нарушений пищевого поведения, частоты встречаемости степени дефицита и избыточности веса тела в среде студентов медицинского вуза. Изучение этих особенностей позволит персонализировать лечебно-профилактические программы, направленные на коррекцию деструктивных форм пищевого поведения и формирования конструктивных моделей

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. К.В. Шелыгин — концепция и дизайн исследования, написание текста; Л.И. Ложкина — дизайн исследования, написание текста; А.В. Стрелкова — дизайн исследования; И.А. Крылова — редактирование текста, С.И. Малявская — редактирование текста. 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 ФГБОУ ВО СГМУ (Архангельск) Минздрава России 28.06.2024, протокол № 06/06-24.

Согласие на публикацию. Все участники исследования добровольно будут подписывать 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 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.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: K.V. Shelygin: conceptualization, study design, writing—original draft; L.I. Lozhkina: study design, writing—original draft; A.V. Strelkova: study design; I.A. Krylova, S.I. Malyavskaya: writing—review & editing. All authors confirm that their authorship meets the 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 Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Northern State Medical University (Arkhangelsk), Ministry of Health of the Russian Federation, on June 28, 2024 (Protocol No. 06/06-24).

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

1. Mendelevich V.D. *Clinical and medical psychology: textbook*. Moscow: MEDpress-Inform; 2005. 432 p. (In Russ.) EDN: SZRIPB
2. Petrova EA, Kozyreva VV. Features of eating behavior of students athletes with different levels of will development. *Teoriya i Praxtika Fizicheskoy Kultury*. 2022;(4):77–78. EDN: YIXGAC
3. Meshkova TA, Mitina OV, Shelygin KV, et al. The eating attitudes test (EAT-26): psychometric characteristics and factor structure in nonclinical sample of 876 female university students. *Clinical Psychology and Special Education*. 2023;12(1):66–103. doi: 10.17759/cpse.2023120104 EDN: EKLOQL
4. Zakharova LI. Anorexia nervosa: prevalence, diagnostic criteria and psychosomatic relations (review). *Research Results in Biomedicine*. 2019;5(1):108–121. doi: 10.18413/2313-8955-2019-5-1-0-8 EDN: EFGAYQ
5. Ostanina SA. Prevalence of eating disorders among students. In: *Youth and medical science in the XXI century: proceedings of the XX All-Russian scientific conference of students and young scientists with international participation*. Kirov: Kirov State Medical University; 2019. P. 127–128. (In Russ.) EDN: ZBQDYD
6. Obesity: preventing and managing the global epidemic: report of a WHO consultation. Geneva: WHO; 1997. 253 p.
7. Biddle S, García Bengoechea E, Pedisic Z, et al. Screen time, other sedentary behaviours, and obesity risk in adults: a review of reviews. *Curr Obes Rep*. 2017;6(2):134–147. doi: 10.1007/s13679-017-0256-9

8. Sagalakova OA, Podolkina EA, Truevtsev DV. The role of intolerance to uncertainty in the structure of the relationship between eating disorders and obsessive-compulsive disorder. *Medical Psychology in Russia*. 2020;12(3):5. doi: 10.24412/2219-8245-2020-3-5 EDN: CUBCQN
9. Andryushchenko AV, Drobizhev MYu, Dobrovolsky AV. Comparative evaluation of CES-D, BDI and HADS(D) scales in the diagnosis of depression in general medical practice. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2003;103(5):11–17. (In Russ.)
10. Mosolov SN, Ushkalova AV, Kostyukova EG, et al. Validation of the HCL-32 Russian version for detection of bipolar ii disorder patients among those with diagnosis of recurrent depressive disorder. *Social and Clinical Psychiatry*. 2015;25(1):21–30. EDN: UIPELB
11. Gerasimova OYu, Semchenko LN. Anxiety disorders among medical students. *Psychology. Psychophysiology*. 2020;13(4):30–38. doi: 10.14529/jpps200404 EDN: FQWQYM
12. Pripitnevich DN, Pripitnevich ED, Trubitsina AI, et al. Prevalence of eating disorders of the medical student population. In: *Actual issues of self-development of personality: psychological and pedagogical aspect*. Cheboksary: Sreda; 2022. P. 198–202. (In Russ.) doi: 10.31483/r-102650 EDN: YYHMF0
13. Romatsky VV, Semin IR. Phenomenology and classification of food behavior disturbances (literature review, part I). *Bulletin of Siberian Medicine*. 2006;5(3):61–68. EDN: HUBDTT
14. Iureva TV, Rishko NI, Teslenko PO. Neuropsychological characteristics of individuals suffering from eating disorders. *Interactive Science*. 2021;(8):28–29. doi: 10.21661/r-554804 EDN: XUJCGP
15. Bobrovskii AV, Mazo GE, Kolotilshchikova EA, Chehlaty EI. Is binge eating a separate disorder? *Social and Clinical Psychiatry*. 2015;25(3):84–92. EDN: UIWUXB
16. Abaturov AE, Nikulina AA. Phenotypes of obesity in children, clinical manifestations and genetic associations. *Child Health*. 2020;15(4):238–251. doi: 10.22141/2224-0551.15.4.2020.208476 EDN: ELHHWY

ОБ АВТОРАХ

* **Шелыгин Кирилл Валерьевич**, д-р мед. наук, доцент;
адрес: 163000, Россия, Архангельск, Троицкий пр-кт, д. 51;
ORCID: 0000-0002-4827-2369;
eLibrary SPIN: 7787-6746;
e-mail: shellugin@yandex.ru

Ложкина Лада Ивановна, канд. психол. наук;
ORCID: 0000-0002-3687-6122;
eLibrary SPIN: 5094-9436;
e-mail: lada1@yandex.ru

Стрелкова Александра Витальевна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-9077-889X;
eLibrary SPIN: 1890-4879;
e-mail: al.strelkova@yandex.ru

Крылова Ирина Анатольевна, канд. мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0003-2722-5675;
eLibrary SPIN: 5559-6663;
e-mail: i-prosperity@yandex.ru

Малявская Светлана Ивановна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-2521-0824;
eLibrary SPIN: 6257-4400;
e-mail: malyavskaya@yandex.ru

AUTHORS' INFO

* **Kirill V. Shelygin**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Associate Professor;
address: 51 Troickij ave, Arhangelsk, Russia, 163000;
ORCID: 0000-0002-4827-2369;
eLibrary SPIN: 7787-6746;
e-mail: shellugin@yandex.ru

Lada I. Lozhkina, Cand. Sci. (Psychology);
ORCID: 0000-0002-3687-6122;
eLibrary SPIN: 5094-9436;
e-mail: lada1@yandex.ru

Alexandra V. Strelkova, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-9077-889X;
eLibrary SPIN: 1890-4879;
e-mail: al.strelkova@yandex.ru

Irina A. Krylova, MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor;
ORCID: 0000-0003-2722-5675;
eLibrary SPIN: 5559-6663;
e-mail: i-prosperity@yandex.ru

Svetlana I. Malyavskaya, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0003-2521-0824;
eLibrary SPIN: 6257-4400;
e-mail: malyavskaya@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author