

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

ЭКОЛОГИЯ



ЧЕЛОВЕКА

EKOLOGIYA CHELOVEKA
(HUMAN ECOLOGY)

Volume 31, Issue 11, 2024

11
Том 31
2024



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 ВИНТИ
- 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

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. Chereshnev, 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

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

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

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“газотрансмиттеры”（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 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.

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

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

Н.Н. Хромов-Борисов¹, Э.А. Бондарева²

¹ 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-I-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

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

Nikita N. Khromov-Borisov¹, Elvira A. Bondareva²

¹ 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

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

ОБОСНОВАНИЕ

В последние десятилетия предпринимались многочисленные попытки отыскать гены, детерминирующие различные морфофункциональные и психофизиологические характеристики, ассоциированные с высокими спортивными достижениями [1, 2]. Первыми научными публикациями, посвящёнными генетическим детерминантам спортивной успешности, были работы Н.Е. Montgomery и соавт. [3] и М.А. Rivera и соавт. [4]. Первая монография по генетическим основам физической деятельности «Genetics of Fitness and Physical Performance» была опубликована в 1997 г. С. Bouchard и соавт. [5]. Ассоциативные исследования по схеме «случай–контроль» основаны на сравнении частот встречаемости аллелей/генотипов в конкретных генах или обширных регионах генома в группах спортсменов и неспортсменов. Результаты этих исследований служили для обнаружения конкретных вариантов генов, ассоциированных с квалификацией спортсмена либо с его физиологическими характеристиками. Было опубликовано несколько редакций генетических карт, наглядно демонстрирующих ассоциацию или сцепление с фенотипом спортсменов [6]. Одним из наиболее изученных в спортивной генетике является инсерционно-делеционный диморфизм (индел) в гене ангиотензин-1-превращающего фермента (*ACE* I/D) и C/T полиморфизм в гене альфа-актина 3 (*ACTN3*, rs1815739). Аналогичный анализ для C/T полиморфизма *ACTN3* был проведён нами ранее [7].

Само понятие «элитный спортсмен» не имеет чёткого и однозначного определения, поэтому различные исследования по схеме «случай–контроль», в которых группа «элитных спортсменов» противопоставляется контрольной, бывает сложно сопоставить друг с другом [8]. Отсутствие чёткой фенотипической (антропометрической, физиологической, этнической и др.) характеристики обследованных групп спортсменов — одно из узких мест спортивной генетики. Отсутствие чётко определённого фенотипа, который должен быть присущ спортсмену высочайшего уровня, стимулирует развитие нового направления на стыке спортивной физиологии, психологии, антропологии и генетики — феномики. Её цель — накопление и анализ многомерных данных о различных характеристиках спортсменов на организменном уровне [9].

Обоснованную критику вызывает также отнесение к контрольной группе неспортсменов тех людей, которые не имеют на момент исследования значимых спортивных достижений [10]. Зачастую данную группу составляют из добровольцев, которые никогда не занимались каким-либо конкретным видом спорта на профессиональном уровне (вели сидячий образ жизни). Именно поэтому не представляется возможным реально оценить их предрасположенность к высоким спортивным результатам. Вероятно, следовало бы формировать контрольную

группу из людей, которые занимались рассматриваемым видом спорта, однако не достигли в нём значительных результатов, например, присвоения звания кандидата в мастера спорта.

Логика подавляющего большинства исследований заключается в том, что существуют аллели (генотипы), которые улучшают скоростно-силовые качества человека, и противоположные им генетические варианты — усиливающие аэробные качества. Условно говоря, предполагается существование генотипа выдающегося спринтера и противоположного ему генотипа выдающегося стайера. Виды спорта, которые требуют от человека одновременного проявления высоких скоростно-силовых и аэробных качеств (многоборье, сложнокоординационные виды спорта, единоборства), не находят своего места при таком подходе. В связи со значительным многообразием видов спорта, спортивных дисциплин и спортивных амплуа необходимо оценить возможности спортивной геномики по созданию наборов генетических маркеров, повышающих шансы конкретного человека на высокие спортивные достижения в выбранном виде спорта.

Цель исследования. 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

Поиск статей проводили в соответствии с рекомендациями Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analysis (PRISMA) [11]. Публикации для анализа отбирали в базах данных PubMed, Google Scholar, eLIBRARY по следующим ключевым словам: «*ACE*», «sport genetics», «athletes», «SNP», «sport selection». Для анализа использовали полнотекстовые статьи, которые соответствовали целям исследования. В результате поиска были отобраны 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) [12–35].

Для каждого исследования, включённого в анализ, проверяли согласие частот генотипов с равновесием Харди–Вайнберга (PXB). Вычисляли значения *mid-p*, то есть точные *p*-значения с поправкой на консервативность точных критериев [36], с помощью онлайн-программы (<https://www.cog-genomics.org/software/stats>). Известно, что *p*-значения ничего не говорят ни о вероятности отсутствия эффекта (о вероятности нулевой гипотезы), ни о знаке эффекта, ни о его размере. Поэтому интервальная оценка размера эффекта более информативна и давно стала обязательной процедурой в статистическом анализе. Одной из основных мер отклонения

наблюдаемых частот генотипов от РХВ является индекс фиксации F_{IS} (коэффициент инбридинга). Именно поэтому для проверки общего согласия частот генотипов с РХВ для F_{IS} вычисляли 95% доверительные интервалы (ДИ) и проверяли, покрывают ли они равновесное значение $F_{IS}=0$ или нет. Для проверки согласия частот каждого из генотипов с ожидаемыми при РХВ для них вычисляли 95% ДИ и проверяли, покрывают ли они ожидаемые значения или нет. Для проверки равенства частот генотипов или аллелей в сравниваемых группах вычисляли 95% ДИ для разности частот D и проверяли, покрывают ли они безразличное значение $\Delta=0$ или нет. Для расчёта данных параметров использовали оригинальную программу FixIndAll, которую авторы предоставят заинтересованным исследователям по запросу. В отличие от других подобных программ, в FixIndAll анализ частот генотипов и аллелей, их сравнений и согласия с РХВ основан на вычислении для них, для их разностей и для F_{IS} бейзовских интервалов статистически допустимых значений (credible intervals).

Для метаанализа использовали онлайн-программу MetaGenyo (<https://metagenyo.genyo.es/>) [37]. Кроме обычной оценки сводного эффекта (ОШ — отношения шансов) вычисляли 95% предсказательные интервалы (ПИ) с использованием пакета Meta-Essentials (<https://www.erim.eur.nl/research-support/meta-essentials/>) [38] и/или CMA Prediction Intervals (<https://meta-analysis-workshops.com/pages/predictionintervals>).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для девяти случаев в подгруппах спортсменов и для шести в контрольной группе было обнаружено отклонение от РХВ ($mid-p < 0,05$). Из них с $mid-p < 0,01$ пять и три соответственно. В 56 подгруппах сравнения индекс фиксации F_{IS} имел значимое отличие от нуля как в сторону инбридинга, так и аутбридинга и/или слишком широкий

95% ДИ, что свидетельствует скорее всего об ошибках генотипирования. В трёх случаях [12, 17, 33] обнаружены статистически значимые разности частот аллелей (Δ) между группами спортсменов и контрольной. Однако в этих исследованиях выявлено значимое отклонение F_{IS} от нулевого значения, а в работе D. Varillas-Delgado и соавт. [33] — несоответствие РХВ в контрольной группе. Во всех остальных случаях различия между частотами генотипов были статистически незначимыми.

Программа MetaGenyo позволяет провести метаанализ для трёх моделей наследования: доминантной, кодоминантной и рецессивной. Наиболее значимые результаты получены для доминантной модели, они представлены в табл. 1 и на рис. 1. Но и в этом случае все 95% ДИ для ОШ (за исключением одного) покрывают индифферентное значение ОШ=1 либо обладают очень широким ДИ. Таким образом, не были обнаружены виды спорта/спортивные амплуа, для которых I/D-варианты гена ACE являлись бы надёжными маркерами при прогнозе индивидуальной предрасположенности к достижению высоких спортивных результатов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты подкрепляют сомнение в том, что адаптивно-эволюционно нейтральный генетический полиморфизм может служить инструментом для отбора или прогнозирования в спорте [10, 39]. На сегодняшний день большинство из выявленных ассоциаций не подтвердили своей практической ценности.

Предположение, что спортивная одарённость — это фиксированное свойство, которое можно определить на ранней стадии, убеждённости в исключительном влиянии таланта на развитие спортивных качеств, различные уровни риска при принятии решений по отбору спортсменов, предубеждения в подходах к отбору спортсменов, неадекватность современных статистических

Таблица 1. Результаты метаанализа для доминантной модели (DD+ID vs II)

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

Модель Model	ОШ OR	95% ДИ 95% CI	p -значение p -value	p -значение, скорректированное на множественность сравнений Adjusted p -value	95% ПИ 95% PI
Фиксированный эффект Fixed effect	0,82	[0,74; 0,90]	$8 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-4}$	[0,58; 1,16]
Случайный эффект Random effect	0,81	[0,72; 0,12]	0,00042	0,0029	[0,57; 1,15]
Показатели гетерогенности и публикационного смещения Heterogeneity and publication bias tests					
τ^2	H	I^2	Q	p -значение p -value	Критерий Эггера, p -значение Egger's test p -value
0,03	1,12	0,20	48,7	0,14	0,47

Примечание. OR — отношение шансов; ДИ — доверительный интервал; ПИ — предсказательный интервал.

Note. OR — odds ratio; CI — confidence interval; PI — predicted interval.

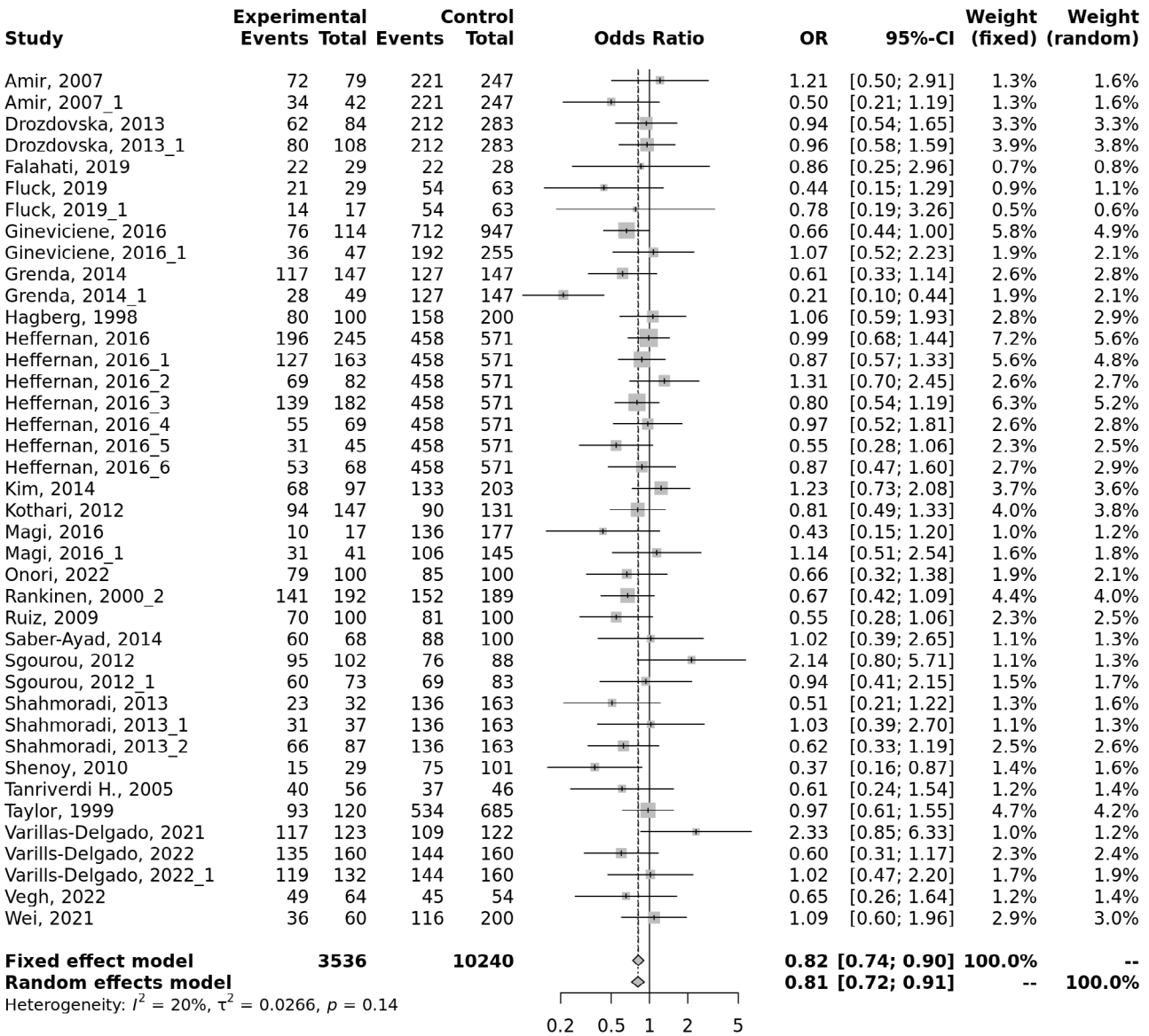


Рис. 1. Результаты метаанализа для доминантной модели ($DD+ID$ vs II): OR — отношение шансов; CI — доверительный интервал.
Fig. 1. Forest-plot for the dominant model ($DD+ID$ vs II) meta-analysis.

подходов, проблемы с использованием текущих результатов для прогнозирования будущих результатов и краткосрочные выгоды и конкуренция между различными видами спорта за перспективных спортсменов подрывают общую эффективность систем развития спорта [40]. Одним из наиболее важных вопросов в прогнозировании успеха в спорте на основе предполагаемой индивидуальной генетической предрасположенности является неопределённость, измеряемая с помощью ПИ [41]. Большинство метаанализов до сих пор ограничиваются сообщением одних только ДИ, однако этого недостаточно. ДИ является показателем точности измерения эффекта, но он ничего не говорит о степени варьирования размера эффекта. Варьирование, дисперсию эффекта отражает ПИ, вычисление которого становится обязательной процедурой в метаанализах [41, 42]. В данном метаанализе 95% ПИ равен от 0,58 до 1,16.

Он охватывает индифферентное значение $OШ=1$, то есть статистически незначим. Это означает, что в 95% последующих исследований, сопоставимых с теми, что представлены в данном анализе, истинный размер эффекта будет попадать в этот интервал и в целом будет практически бесполезным.

В основе практической несостоятельности использования отдельных генов для прогноза спортивной одарённости на индивидуальном уровне лежат следующие ограничения: генотипированные варианты не являются функционально значимыми и демонстрируют неполное сцепление с другими значимыми вариантами генов; низкая статистическая мощность исследований, отсутствие популяционной стратификации, гетерогенность исследуемых фенотипов и локусов. Ранее было показано, что эффективность использования генетического маркера для тестирования бинарного признака

(здоров–болен, спортсмен–неспортсмен) зависит от частоты встречаемости данного генотипа (аллели, гаплотипа) и частоты проявления исследуемого фенотипа [43]. Если $ОШ < 2,2$, то при любой частоте встречаемости данного маркера он не имеет какой-либо диагностической и/или прогностической ценности. Лишь при $ОШ > 5,4$ и популяционной частоте выше 0,3 маркер может быть признан в качестве пригодного для массовых скринингов и проведения профессионального отбора [43]. Но в спортивной генетике такие маркеры не обнаружены и вряд ли когда-либо будут обнаружены. Они наблюдаются для некоторых маркеров онкозаболеваний.

Противоречивые результаты исследований, а также отсутствие данных об их реальной практической ценности для поиска, отбора и профилизации юных спортсменов и выбора тренировочной программы привели в 2016 г. ведущих учёных в области спортивной генетики к совместному заявлению, суть которого заключается в следующем: на сегодняшний день нет никаких научно обоснованных оснований считать, что исследованные молекулярно-генетические маркеры обладают прогностической ценностью для отбора талантливых спортсменов, а также для индивидуализации тренировочного процесса; тест-системы, основанные на результатах данных исследований, вводят в заблуждение и не должны использоваться в указанных целях [44]. Без сомнения, комплекс морфо-функциональных и психофизиологических черт, присущих спортсменам высокого уровня, базируется на множестве генов. Однако механизмы, которые обуславливают эти связи, на сегодняшний день остаются практически неизученными [45].

Число коммерческих компаний, которые предоставляют услуги (DTC — direct-to-consumer) по прогнозу индивидуальной предрасположенности к определённому виду спорта/группе видов спорта и риску травм, значительно увеличилось за последние годы [39]. В ряде стран DTC-тесты широко используются при отборе одарённых спортсменов на начальных этапах [44]. Данный подход и масштаб, которые приобрели DTC-тесты в генетике спорта, вызывают обоснованную обеспокоенность в профессиональном научном сообществе как на территории Российской Федерации [10], так и за рубежом [46]. Подобного рода услуги предоставляются на основе исследований ограниченного числа локусов (от 1 до 37 в зависимости от компании). Ряд компаний не предоставляет результаты определения генотипов заявленных в тестировании генов, а критерии, на которых основываются заключения, не являются общепринятыми в мировом сообществе. Нет единой диагностической процедуры, которая была бы одобрена официальными регулирующими и контролирующими органами и имела подтверждённую эффективность для оценки заявленных качеств у детей, подростков и/или взрослых [45–47]. Большинство тест-систем не проходили рандомизированных слепых проверок. Фактически ни одна из подобных

компаний не предоставляет сведения о количественных (статистических) характеристиках прогностической способности своих тест-систем (о конкретных значениях PPV, NPV и отношений правдоподобий и о границах их интервальных оценок) [45].

Предположим, что удалось установить некоторое количество независимых (нечепленных) генетических маркеров, которые действительно оказывают значимое влияние на развитие и проявление свойств, важных для достижения высоких спортивных результатов. Тогда возникает вопрос: какова вероятность обнаружить в популяции носителя всех этих вариантов (G^+) и какова предсказательная способность диагностического теста, основанного на анализе этих вариантов/варианта? В табл. 2 представлены количественные оценки данных параметров, которые свидетельствуют о том, что теоретически при наличии у одного индивидуума 9–10 предрасполагающих вариантов можно достигнуть высокой предсказательной вероятности (0,91–0,95). Однако вероятность существования такого индивидуума в популяции ничтожна (10^{-9} – 10^{-10}) — меньше одного человека на всё население Земли. И это при том, что в этих вычислениях не приняты во внимание неизбежные эпистаз и плейотропия, при которых разные генотипы могут подавлять действие друг друга.

Таблица 2. Зависимость предсказательностей от числа независимых предрасполагающих генетических маркеров, объединённых в генотипе одного индивидуума

Table 2. Dependence of predictive values on the number of independent genetic markers combined in the genotype of one individual

Число предрасполагающих генетических вариантов в генотипе одного индивидуума The number of independent predisposing genetic markers combined in the genotype of one individual	PPV	Доля носителей предрасполагающего генотипа G^+ в популяции 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}

Примечание. PPV — вероятность наличия исследуемого фенотипа у носителя данного генотипа (предсказательность «позитивов»). Упрощённо предположено, что распространённость каждого генотипа одинакова (0,1).

Note. PPV — the probability of the presence of the studied phenotype in the carrier of a given genotype (predictability of "positives"). Assumption: the prevalence of each genotype is the same (0.1).

Как уже было сказано выше, фенотип элитного спортсмена является комплексным, каждая его отдельная составляющая имеет полигенный характер, то есть находится под контролем нескольких генов. Очевидно, возникает необходимость одновременного учёта сразу нескольких генов (полигенного профиля) для количественной оценки их кумулятивного влияния на фенотип и шансы конкретного человека достичь выдающихся спортивных результатов. Следующим этапом развития спортивной генетики стала разработка метода подсчёта общего генетического балла (TGS — total genotype score) для оценки полигенного профиля спортсменов [48]. Первой моделью для оценки полигенного профиля и его связей с спортивными достижениями была аддитивная модель, которую предложили A.G. Williams и J.P. Folland в 2008 г. [48]. Она предполагает присвоение баллов альтернативным генотипам каждой полиморфной системы в зависимости от результатов ассоциативных исследований, затем результаты по всем исследуемым системам суммируются и делятся на общее число аллелей. Этот подход известен также как полигенный балл (polygenic score) и балл генетической предрасположенности (genetic predisposition score) [49].

Оценка полигенного профиля, включающего 7 генов, в группе элитных стайеров позволила заключить, что средний генетический балл у спортсменов выше, чем в контрольной группе [25]. Данный результат был подтверждён в группе высококвалифицированных спортсменов силовых видов спорта (использовано 6 генов), средний балл оказался выше, чем в контрольной группе и у стайеров [50]. Наличие всех шести генотипов, ассоциированных с силовыми видами, было обнаружено у 9% спортсменов, ни один стайер не обладал «идеальным» полигенным профилем. Также спектры распределения TGS контрольной группы и групп спортсменов силовых и аэробных видов значительно перекрываются. Это значит, что многие представители контрольной группы имели TGS, равный или превышающий значение у высококвалифицированных спортсменов [50]. Анализ TGS большого числа генов (22 и 23) показал значительное сходство между группами спортсменов и неспортсменов, что также не позволяет использовать данный подход для выделения индивидов, обладающих большей или меньшей предрасположенностью к определённому спорту/группе видов спорта [51].

В качестве иллюстрации несостоятельности подсчёта TGS для оценки полигенного профиля с целью выявления одарённых людей на индивидуальном уровне можно привести одно из последних исследований [52]. В контрольную группу вошли 503 неспортсмена, экспериментальная группа состояла из пяти легкоатлетов международного уровня, в том числе одного олимпийского чемпиона. Были рассчитаны два значения TGS по разным полигенным профилям: по 68 локусам для стайеров и по 48 локусам для спринтеров. Оказалось, что оба значения TGS

у спортсменов-спринтеров оказались выше, чем у элитных стайеров. Более того, у 70 представителей контрольной группы значения «спринтерского» TGS были выше, чем у элитных спринтеров. Аналогичный результат был получен в Японии в рамках исследования полигенного профиля для марафонцев ($n=211$), которое включало 21 ген. TGS контрольной группы ($n=649$) составил $49,0 \pm 7,6\%$ и оказался выше, чем у профессиональных стайеров международного ($48,2 \pm 7,0\%$), национального ($49,1 \pm 5,7\%$) и регионального ($47,3 \pm 7,6\%$) уровней [1].

Использование большого числа маркеров приводит к тому, что вероятность обнаружить носителя идеального или близкого к идеальному полигенного профиля становится ничтожно малой.

Коммерческие структуры, предоставляющие широким слоям населения услуги в области генетики предрасположенностей, в подавляющем большинстве случаев не считают себя обязанными следовать международным стандартам использования и защиты получаемых ими данных. Часто такие структуры передают полученные данные третьим лицам (научным группам или иным организациям), а также используют накопленные данные для целей, не указанных в информированном согласии [44, 46].

В отношении лиц, не достигших совершеннолетия, должны быть решены следующие вопросы: могут ли спортивные клубы, секции и государственные учреждения требовать от воспитанников предоставления данных об индивидуальных генетических особенностях; допустимо ли на основании данных о генетических параметрах отказать юному спортсмену в праве заниматься конкретным видом спорта; кто может иметь доступ к данным о генетических параметрах несовершеннолетнего; каков механизм защиты ребенка от дискриминации по генетическим причинам; какие последствия могут наступить для спортсмена при отказе от прохождения генетического тестирования [47]. Следует осознавать также, что при практическом использовании такого генетического тестирования неизбежен высокий риск получения как ложноположительных, так и ложноотрицательных результатов и выводов на их основе [10, 43]. Подобный подход, возможно, приемлем на популяционном уровне, однако не может быть использован для индивидуальной оценки. «В настоящее время предсказательная способность спортивной генетики нулевая. Нет никаких прямых доказательств существования генетических показателей успешности спортсменов. Эффективность спортсмена зависит прежде всего от социоэкономических, культурных и средовых факторов. Так что секундомер намного лучше предсказывает спортивные достижения бегуна, чем вся эта генетика»¹.

¹ The reasons why Kenyans always win marathons lie in one region. Пе-жим доступна: <https://edition.cnn.com/2019/11/06/africa/kenya-runners-winner-marathons-trnd/index.html>

Несмотря на многочисленные попытки обнаружить генетические варианты, ассоциированные с успешностью в спорте высших достижений, прогресс в этом направлении остаётся незначительным и малоутешительным. Открытым остаётся также вопрос о преимуществе генетического тестирования перед процедурами стандартного педагогического и антропометрического тестирования. Необходимо иметь в виду, что конкретный фенотип может быть продуктом совершенно разных генотипов и даже геномов. Об этом убедительно свидетельствует феномен двойников, когда неродственные друг другу люди, порой проживающие на разных континентах, обладают поразительным сходством. Этот пример иллюстрирует сложность задачи угадывания или предсказания фенотипического проявления данного конкретного генотипа. Алгоритм прогноза фенотипа должен учитывать частоту фенотипического проявления конкретного генотипа (пенетрантность), даже если речь идёт о редких аллелях, оказывающих выраженный эффект на фенотип. Например, носительство редких высокопенетрантных патогенных аллелей, вызывающих развитие детских моногенных заболеваний, не всегда приводит к развитию заболевания. Изучение более полумиллиона геномов позволило выявить 13 взрослых, которые являлись носителями восьми редких патогенных вариантов, однако болезнь у них не проявилась [53].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие современных технологий в сфере геномики (высокопроизводительное секвенирование, анализ больших данных, использование искусственного интеллекта, редактирование генома) должно способствовать возникновению инструментов персонализированной медицины и генной терапии как части повседневной практики. Однако открывающиеся возможности ставят перед обществом ряд этических, моральных, социальных и персональных вопросов. Сфера геномики двигательной деятельности также находится под влиянием развивающихся геномных технологий, что ставит перед научным сообществом острую необходимость по выработке общих принципов и подходов к процедурам генетического тестирования спортсменов. Современные технические возможности по получению генетических данных и скорость их накопления значительно

опережают наши текущие возможности по их интерпретации и корректному применению.

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.

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. 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
2. 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
3. Montgomery HE, Marshall R, Hemingway H, et al. Human gene for physical performance. *Nature*. 1998;393(6682):221–222. doi: 10.1038/30374
4. 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

5. Bouchard C, Malina RM, Pérusse L. *Genetics of fitness and physical performance*. Human Kinetics: Champaign, IL, USA; 1997. 400 p.
6. 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
7. 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
8. 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
9. 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
10. 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
11. 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
12. 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
13. Drozdovska 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
14. 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
15. 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
16. Gineviciene V, Jakaitiene A, Aksenov MO, et al. Association analysis of ACE, ACTN3 and PPARG1A gene polymorphisms in two cohorts of European strength and power athletes. *Biol Sport*. 2016;33(3):199–206. doi: 10.5604/20831862.1201051
17. Grenda A, Leońska-Duniec A, Kaczmarczyk M, et al. Interaction between ACE I/D and ACTN3 R557X polymorphisms in Polish competitive swimmers. *J Hum Kinet*. 2014;42:127–136. doi: 10.2478/hukin-2014-0067
18. Hagberg JM, Ferrell RE, McCole SD, et al. VO2 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
19. Heffernan SM, Kilduff LP, Erskine RM, et al. Association of ACTN3 R577X 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
20. 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
21. 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
22. 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.
23. 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
24. 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
25. 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
26. 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
27. 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
28. 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
29. 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/asjms.34855
30. 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
31. 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
32. 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
33. 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
34. 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
35. 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):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

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

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

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	

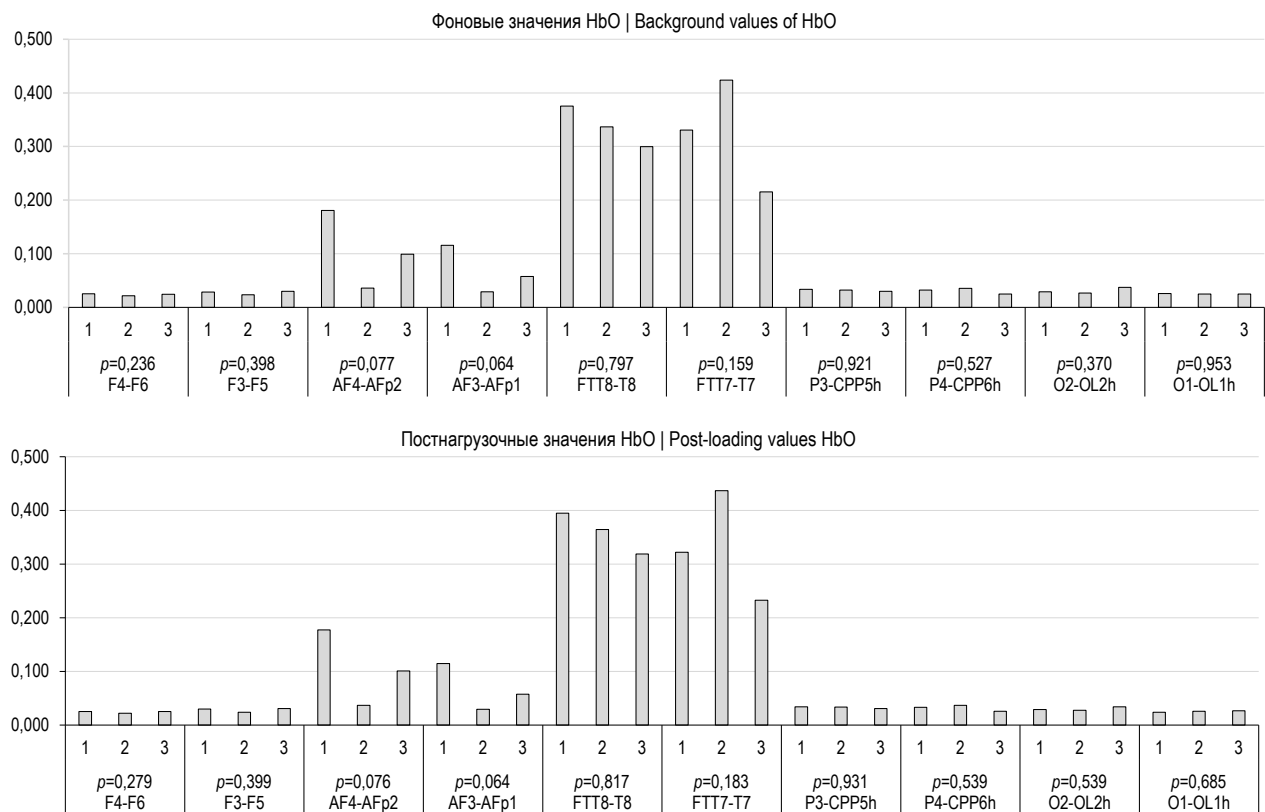


Рис. 1. Фоновые и постнагрузочные значения концентрации HbO (ммоль/л) в группах мужчин, проживающих в Архангельской области (регион 1), Волгоградской области (регион 2), Республике Крым (регион 3).
Fig. 1. Baseline and post-load HbO concentrations (mmol/L) in male groups residing in Arkhangelsk Oblast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

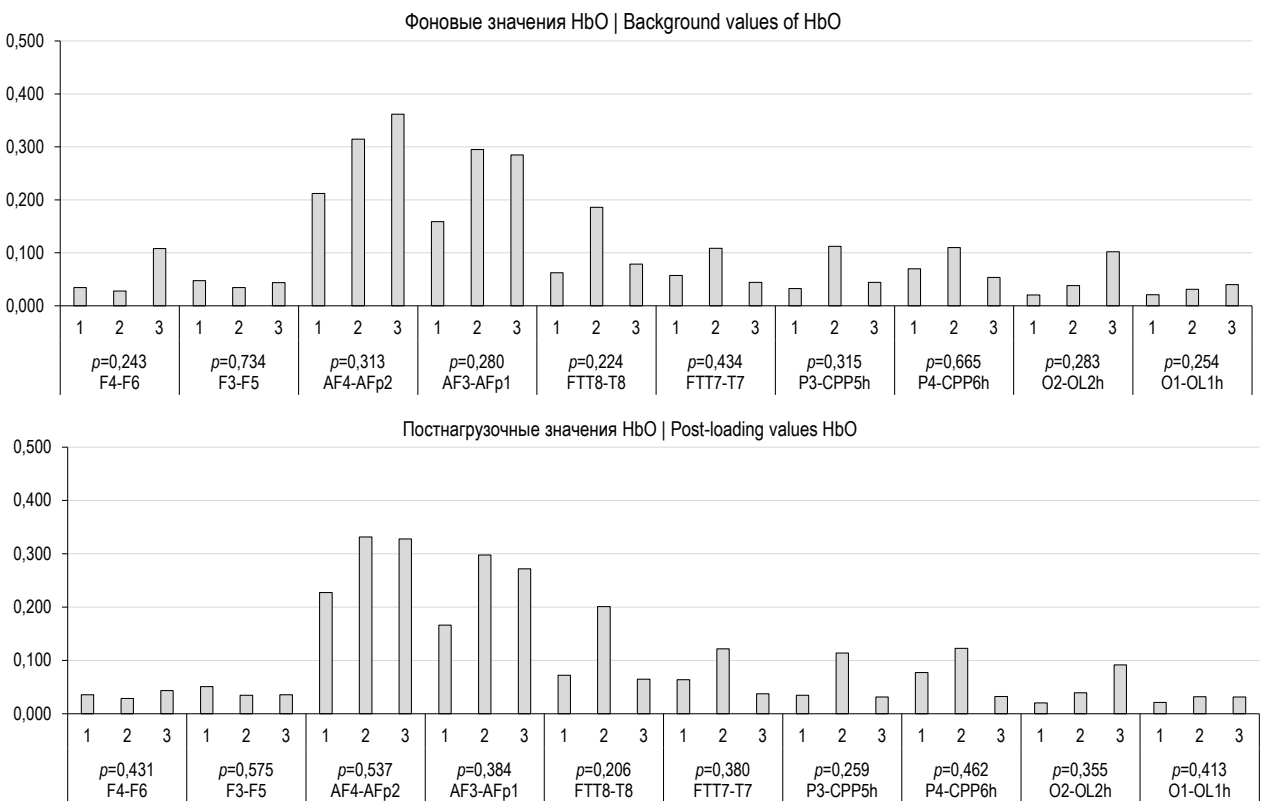


Рис. 2. Фоновые и постнагрузочные значения концентрации HbO (ммоль/л) в группах женщин, проживающих в Архангельской области (регион 1), Волгоградской области (регион 2), Республике Крым (регион 3).
Fig. 2. Baseline and post-load HbO concentrations (mmol/L) in female groups residing in Arkhangelsk Oblast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

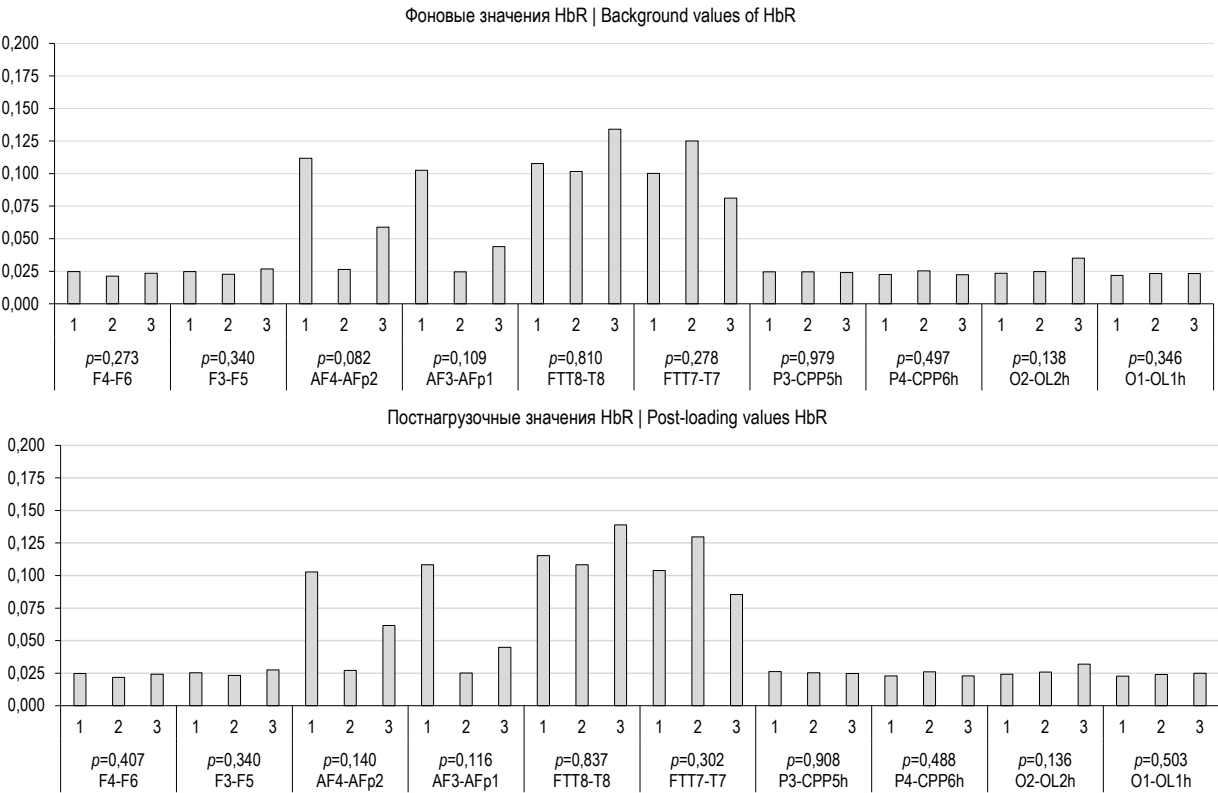


Рис. 3. Фоновые и постнагрузочные значения концентрации HbR (ммоль/л) в группах мужчин, проживающих в Архангельской области (регион 1), Волгоградской области (регион 2), Республике Крым (регион 3).
Fig. 3. Baseline and post-load HbR concentrations (mmol/L) in male groups residing in Arkhangelsk Oblast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

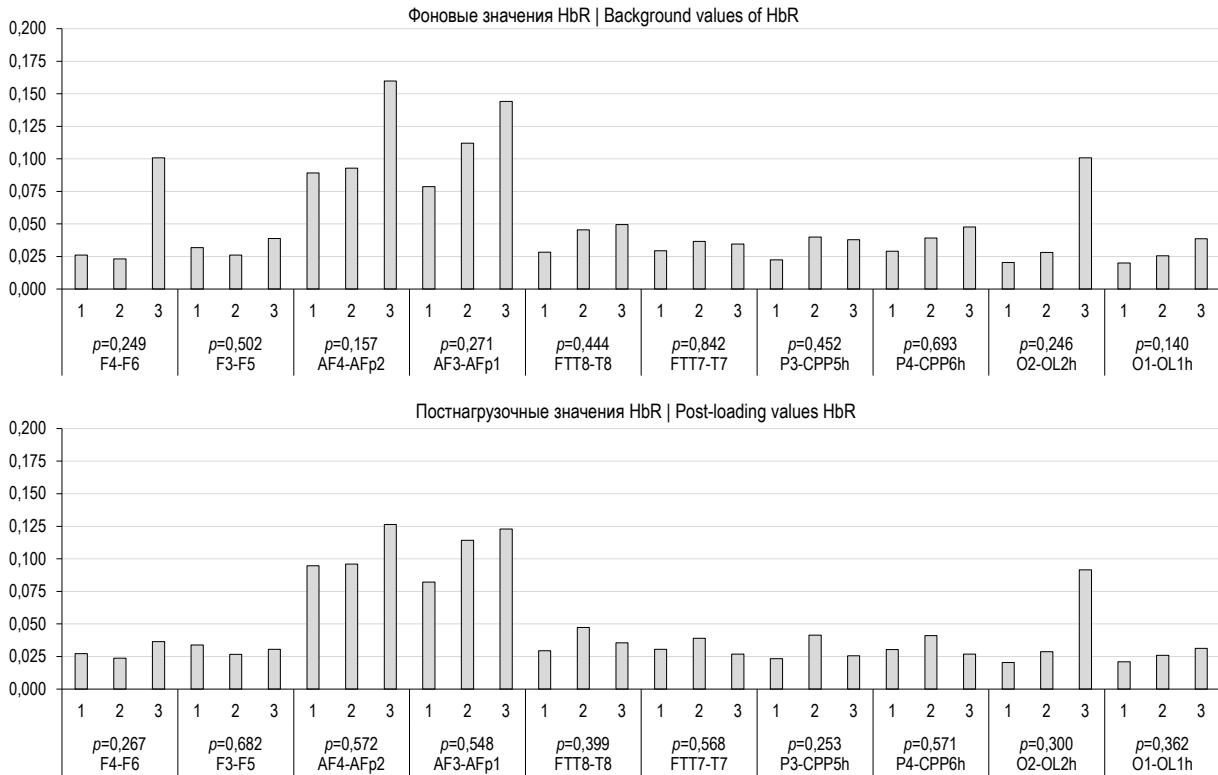


Рис. 4. Фоновые и постнагрузочные значения концентрации HbR (ммоль/л) в группах женщин, проживающих в Архангельской области (регион 1), Волгоградской области (регион 2), Республике Крым (регион 3).
Fig. 4. Baseline and post-load HbR concentrations (mmol/L) in female groups residing in Arkhangelsk Oblast (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 Кхан 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 «точек 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: ZOEFYS
 10. Mulik AB, Shatyr YuA, Ulesikova IV, et al. Sexual characteristics of genetic determination of human propensity to aggressive, suicidal and addictive 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/japplphysiol.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, Grijbovski 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

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

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

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

ОБОСНОВАНИЕ

В ранних физиолого-биохимических исследованиях представлены данные об особенностях метаболических процессов у жителей Арктического региона, определяющих биологически сформированным адаптивным типом и связанных с приверженностью к традиционному образу жизни и питанию с преобладанием жиров и белков в рационе [1]. У коренных жителей на фоне северного варианта метаболизма выявлены более благоприятные профили липидного обмена в отношении протекции факторам риска развития патологии сердечно-сосудистой системы. Низкое содержание в сыворотке крови общего холестерина (ОХ), триглицеридов (ТГ), липопротеинов низкой (ЛПНП) и очень низкой (ЛПОНП) плотности на фоне высокого содержания липопротеинов высокой плотности (ЛПВП) по сравнению с пришлым населением [2]. Современный алгоритм исследования состояния сердечно-сосудистой системы включает выявление факторов риска и клинических симптомов атеросклероза, определение липидного спектра крови и оценку сердечно-сосудистого риска по шкале SCORE. Показателями липидного профиля для оценки сердечно-сосудистого риска являются ОХ, ЛПВП, ЛПНП, ТГ. Вместе с тем изучение этих параметров не всегда даёт возможность провести целенаправленный анализ имеющихся нарушений, тем более в настоящее время всё больше делается акцент на раннем выявлении биохимических отклонений обменных процессов, а не на констатации имеющихся клинических проявлений [3].

Состояния, связанные с нарушением обмена веществ, в последнее время всё чаще стали встречаться среди жителей Арктических территорий. Основными их причинами обозначены гиподинамия и нарушение пищевого поведения [4] с постепенным уменьшением потребления традиционных продуктов питания (мяса оленя, рыбы северных морей) и увеличением потребления углеводов и транс-жиров [5].

Появляется всё больше исследований, направленных на изучение расширенного спектра параметров липидного обмена, включающего аполипопротеины и свободные жирные кислоты (СЖК). В настоящее время аполипопротеины В и А1 (Апо-В и Апо-А1) считаются лучшими маркерами нарушений липидного профиля крови. Апо-В (имеется в виду Апо-В-100) является структурным компонентом ЛПОНП, липопротеинов промежуточной плотности и ЛПНП, причём каждая частица липопротеинов содержит только одну молекулу апобелка. Именно поэтому уровень Апо-В отражает общее количество атерогенных частиц в крови. Напротив, Апо-А1 является структурным компонентом антиатерогенных ЛПВП. Таким образом, соотношение Апо-В и Апо-А1 характеризует баланс между атерогенными и антиатерогенными липопротеинами в крови и служит ранним потенциальным маркером риска развития заболеваний сердечно-сосудистой системы [6].

Аполипопротеины содержат лиганды, которые связываются с мембранными рецепторами, что обеспечивает проникновение липопротеинов в клетки и их дальнейший катаболизм, и являются кофакторами ферментов, активность которых необходима для реализации функций липопротеинов. При формировании липопротеинов в гепатоцитах аполипопротеины связывают разные ТГ в зависимости от того, какие из жирных кислот этерифицированы со спиртовыми группами глицерина, что влияет на плотность ТГ и содержащих их липопротеинов [7]. Большая часть жирных кислот находится в связанной форме в составе фосфолипидов, ТГ и эфиров ОХ; тип жирных кислот влияет на многие их свойства.

Немаловажную роль в определении состава ТГ играет соотношение употребляемых жирных кислот, а именно увеличение доли насыщенных жирных кислот (НЖК) и уменьшение полиненасыщенных (ПНЖК). Жирные кислоты могут действовать на белки липопротеинов, дестабилизируя их и тем самым влияя на функциональные возможности, то есть делают их дисфункциональными. Изменение состава протеома и/или липидома ЛПВП приводит к дисфункции ЛПВП и проявляется нарушением антиоксидантной и противовоспалительной функций [8]. Дисбаланс содержания жирных кислот, ТГ и липопротеинов может способствовать развитию воспаления, запуская синтез медиаторов воспаления. Для уточнения его механизмов наиболее значимым является оценка расширенного липидного профиля, включающего аполипопротеины и определение содержания жирных кислот.

В литературных источниках встречаются редкие клинические примеры изучения традиционных параметров липидного спектра в совокупности с содержанием аполипопротеинов, НЖК, ПНЖК и СЖК [9]. В то же время не рассматривались совместные их изменения у практически здоровых жителей в высоких широтах. Возникает необходимость углублённого изучения липидного обмена у лиц без клинических признаков его нарушений в Арктической зоне, в первую очередь для ранней диагностики, коррекции и профилактики патологии сердечно-сосудистой системы.

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

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В поперечное исследование включены 112 практически здоровых мужчин 22–55 лет (средний возраст $43,57 \pm 1,43$ года), являющихся коренными жителями Архангельска. Все обследуемые заполнили анкеты с вопросами о возрасте, антропометрических параметрах, национальности их и родителей, сроках проживания на Севере, перенесённых заболеваниях, особенностях питания и др. Из обследования были исключены лица

с анамнестическими и клиническими проявлениями алкогольной и табачной зависимости, наличием профессиональных вредностей, в том числе вахтовых смен, ночных дежурств.

Проведена оценка основных показателей липидного спектра крови. Забор крови проводили натощак (с 8 до 10 ч) из локтевой вены в вакутайнеры «BecktonDickinsonBP».

Содержание ОХ, ЛПВП, ЛПОНП, ЛПНП, ТГ определяли турбидиметрическим методом на биохимическом анализаторе «ФУРУНО СА-270» (Япония) с использованием наборов ChronolabAG (Швейцария); ЛПОНП рассчитывали методом ТГ/5, коэффициент атерогенности (КА) по формуле А.Н. Климова [10]: $КА = ОХ - ЛПВП / ЛПВП$; концентрации аполипопротеинов (Апо-А и Апо-В) — имунотурбидиметрическим методом на биохимическом анализаторе «ФУРУНО СА-270» (Япония) с использованием наборов ChronolabAG (Швейцария); также рассчитывали значения коэффициента Апо-В/Апо-А.

Методом газожидкостной хроматографии с предварительной экстракцией липидов из сыворотки крови и последующим получением метиловых эфиров жирных кислот [11] определяли содержание НЖК, мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) и ПНЖК — ω -3 и ω -6. Анализ метиловых производных жирных кислот проводили на газовом хроматографе Agilent 7890A (пламенно-ионизационный детектор, капиллярные колонки «AgilentDB-23» 60*0,25*0,15) в режиме программирования температуры и скорости газа носителя азота. Идентификацию жирных кислот осуществляли с использованием стандартов «Supelco 37 FAMEC₄-C₂₄» (США) и GLS-569B (Nu-Chek-Prep., INC, США). Количественный расчёт жирных кислот проводили методом внутреннего стандарта (нонадекановая кислота) в программе «AgilentChemStationB.03.01» (США).

Исследование проводили в 2022–2023 гг. с письменного согласия волонтеров и в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской

ассоциации об этических принципах проведения медицинских исследований [12], исследование одобрено этическим комитетом ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (протокол № 12 от 15.02.2022).

Статистическую обработку полученных результатов, оценку распределения показателей, сравнительный анализ выборок проводили с помощью компьютерного пакета прикладных программ SPSS 15.0. Для оценки количественных переменных использовали медиану (Me), первый и третий квартили (p25 и p75). Для оценки нормальности распределения в выборках применяли критерий Шапиро–Уилка, по результатам которого выявлено, что в большинстве выборок распределение отличается от нормального. В связи с этим для статистического анализа использовали непараметрические критерии. Корреляционный анализ проводили с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Связь между показателями оценивали как сильную при значении коэффициента $r > 0,70$, имеющую среднюю силу — при r от 0,69 до 0,30, как слабую — при $r < 0,29$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Значимых отличий традиционных параметров липидного обмена у практически здоровых лиц в Арктическом регионе от референсных значений (указанных в инструкциях к используемым наборам) выявлено не было. Однако отмечено высокое содержание (выше референсных значений) ЛПОНП у 19,8% обследуемых, ТГ — у 17,2%, КА — у 52,1% (табл. 1).

В ряде исследований показано, что содержание ОХ, ранее считавшегося главным фактором риска заболеваний сердечно-сосудистой системы, не является единственным и основным фактором [13]. Это даёт основание для более глубокого изучения липидного профиля крови для выявления скрытых изменений и обосновывает изучение содержания в сыворотке крови аполипопротеинов и СЖК.

Таблица 1. Содержание традиционных параметров липидного обмена у практически здоровых жителей Арктического региона

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

Показатели Parameters	Референсные значения Reference range	Данные практически здоровых обследуемых, Me (p25; p75) Data from apparently healthy participants, Me (Q25; Q75)
Общий холестерин, ммоль/л Total cholesterol, mmol/L	2,99–6,09	4,74 (4,22; 5,62)
Липопротеины очень низкой плотности, ммоль/л Very-low-density lipoproteins, mmol/L	0,16–0,46	0,28 (0,16; 0,46)
Липопротеины низкой плотности, ммоль/л Low-density lipoproteins, mmol/L	37	4,24 (3,13; 5,95)
Липопротеины высокой плотности, ммоль/л High-density lipoproteins, mmol/L	0,85–1,94	1,19 (0,98; 1,36)
Коэффициент атерогенности Atherogenic index	до 3,0	3,10 (2,07; 4,40)
Триглицериды, ммоль/л Triglycerides, mmol/L	0,8–2,3	1,40 (0,82; 1,98)

В связи с этим провели целенаправленное изучение аполипопротеинов как потенциально важных маркеров нарушений липидного обмена. Оказалось, что среднее содержание Апо-А было ниже референсных значений, содержание Апо-В было высоким у 39,1%, соотношение Апо-В/Апо-А — высоким у 51,2% (табл. 2).

Изучение содержания наиболее значимых НЖК, МНЖК показало, что содержание пальмитиновой (C16:0) и стеариновой (C18:0) жирных кислот у северян не выходило за пределы референсных значений, как и содержание олеиновой (C18:1ω9) кислоты. Однако содержание пальмитиновой жирной кислоты в 12,5% случаев и стеариновой в 10,7% превышало референсные значения (табл. 3).

Изучили содержание ПНЖК семейств ω-3 и ω-6 (табл. 4). При этом не выявлено низкого среднего содержания ω-6 линолевой (C18:2ω6) ПНЖК; однако её концентрация ниже медианы отмечена в 21,4% случаев. Имелось низкое содержание арахидоновой кислоты (C20:4ω6) ниже на 15,2% референсных значений; значения данного параметра ниже медианы определены у 51,5% обследуемых.

Содержание линоленовой (C18:3ω3) ω-3 ПНЖК также не выходило за пределы референсных значений, однако значения ниже медианы отмечены в 51,8% случаев. Содержание эйкозопентаеновой (C20:5ω3) и докозагексаеновой (C22:6ω3) ПНЖК статистически значимо не отличалось

от референсных значений, но значения ниже медианы наблюдалось по эйкозопентаеновой (C20:5ω3) у 40,8% обследуемых, а докозагексаеновой (C22:6ω3) — у 48,3%.

Подтверждением значимости определения СЖК у практически здоровых лиц для выявления скрытых изменений липидного обмена является определение взаимосвязей СЖК с традиционными параметрами.

У обследованных в Арктическом регионе лиц установлены средней силы взаимосвязи ТГ с НЖК, МНЖК и менее сильные с ПНЖК, что указывает на включение жирных кислот в ТГ и ЛПНП. Так, имелись взаимосвязи ТГ с НЖК миристиновой (C14:0; $r=0,649$; $p<0,0001$), пентадекановой (C15:0; $r=0,469$; $p<0,001$), пальмитиновой (C16:0; $r=0,581$; $p<0,001$), маргариновой (C17:0; $r=0,560$; $p<0,001$), стеариновой (C18:0; $r=0,551$; $p<0,001$); с МНЖК миристоолеиновой (C14:1; $r=0,448$; $p<0,001$), пальмитоолеиновой (C16:1; $r=0,529$; $p<0,001$), олеиновой (C18:1ω9; $r=0,647$; $p<0,001$); с ПНЖК ω-6 линолевой (C18:2ω6; $r=0,425$; $p<0,001$), гамма-линоленовой (C18:3ω6; $r=0,495$; $p<0,001$), дигомо-гамма-линоленовой (C20:3ω6; $r=0,348$; $p=0,001$), арахидоновой (C20:4ω6; $r=0,208$; $p=0,042$), ω-3 линоленовой (C18:3ω3; $r=0,484$; $p<0,001$), эйкозотриеновой (C20:3ω3; $r=0,352$; $p=0,005$), докозагексаеновой (C22:6ω3; $r=0,245$; $p=0,005$). Установлены взаимосвязи между ω-6 ПНЖК линолевой (C18:2ω6) с гамма-линоленовой (C18:3ω6; $r=0,724$;

Таблица 2. Содержание аполипопротеинов у практически здоровых жителей Арктического региона

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

Показатели Parameters	Референсные значения Reference range	Данные практически здоровых обследуемых, Ме (p25; p75) Data from apparently healthy participants, Me (Q25; Q75)
Аполипопротеины А, мг/дл Apolipoprotein A, mg/dL	122–161	84,90 (76,08; 97,12)
Аполипопротеины В, мг/дл Apolipoprotein B, mg/dL	69–105	90,49 (72,85; 120,42)
Соотношение аполипопротеинов В и А Apolipoprotein B to A ratio	до 1,0	1,09 (0,93; 1,35)

Таблица 3. Содержание насыщенных и мононенасыщенных жирных кислот у практически здоровых жителей Арктического региона, мкг/мл

Table 3. Saturated and monounsaturated fatty acid levels in apparently healthy residents of the Arctic region, μg/ml

Жирные кислоты Fatty acids	Референсные значения Reference range	Данные практически здоровых обследуемых, Ме (p25; p75) Data from apparently healthy participants, Me (Q25; Q75)
C14:0 миристиновая C14:0 Myristic	5,70–28,00	15,92 (10,14; 27,48)
C15:0 пентадекановая C15:0 Pentadecanoic	1,88–7,92	4,36 (3,27; 5,38)
C16:0 пальмитиновая C16:0 Palmitic	217,50–570,34	352,66 (284,65; 111,53)
C17:0 маргариновая C17:0 Margaric	2,88–9,17	4,92 (3,75; 6,51)
C18:0 стеариновая C18:0 Stearic	83,44–197,16	132,61 (112,66; 175,30)
C14:1 миристоолеиновая C14:1 Myristoleic	0,11–2,16	1,06 (0,82; 1,57)
C15:1 пентадеканоловая C15:1 Pentadecenoic	0,10–1,15	0,65 (0,29; 1,05)
C16:1 пальмитоолеиновая C16:1 Palmitoleic	10,20–65,50	21,41 (14,09; 39,10)
C18:1ω9 олеиновая C18:1 ω9 Oleic	137,40–660,50	246,92 (195,56; 395,96)

Таблица 4. Содержание полиненасыщенных жирных кислот у практически здоровых жителей Арктического региона, мкг/мл
Table 4. Polyunsaturated fatty acid levels in apparently healthy residents of the Arctic region, µg/ml

Показатели Parameters	Референсные значения Reference range	Данные практически здоровых обследуемых, Me (p25; p75) Data from apparently healthy participants, Me (Q25; Q75)
C18:2ω6 линолевая C18:2 ω6 Linoleic	201,50–1500,25	581,53 (369,82; 716,41)
C18:3ω6 γ- линоленовая C18:3 ω6 γ-Linolenic	0,23–25,50	4,13 (2,67; 5,65)
C20:3ω6 дигомо-γ-линоленовая C20:3 ω6 Dihomo-γ-linolenic	3,53–33,86	13,47 (9,04; 20,26)
C20:4ω6 арахидоновая C20:4 ω6 Arachidonic	85,24–160,97	73,70 (42,22; 107,12)
C18:3ω3 линоленовая C18:3 ω3 α-Linolenic	0,25–11,02	4,09 (2,11; 5,70)
C20:3ω3 эйкозотриеновая C20:3 ω3 Eicosatrienoic	0,25–4,50	0,60 (0, 30; 1,32)
C20:5ω3 эйкозопентаеновая C20:5 ω3 Eicosapentaenoic	2,25–80,50	8,93 (3,81; 19,72)
C22:6ω3 докозагексаеновая C22:6 ω3 Docosahexaenoic	5,50–110,20	33,00 (11,94; 60,55)

$p=0,001$); гамма-линоленовой (C18:3ω6) — с дигомо-гамма-линоленовой (C20:3ω6; $r=0,470$; $p < 0,001$); дигомо-гамма-линоленовой (C20:3ω6) — с арахидоновой (C20:4ω6 ; $r=0,726$; $p=0,001$).

Источниками длинноцепочечных ω-3 эйкозопентаеновой и докозагексаеновой ПНЖК являются жиры рыб, в особенности морских [14]. Частично эйкозопентаеновая и докозагексаеновая ПНЖК образуются из линоленовой ω-3 ПНЖК; этот процесс представляется следующим образом: линоленовая кислота — эйкозотриеновая — эйкозопентаеновая — докозагексаеновая.

Установлены взаимосвязи ω-3 ПНЖК линоленовой (C18:3ω3) с эйкозатриеновой (C20:3ω3; $r=0,435$; $p=0,01$); эйкозопентаеновой (C20:5ω3; $r=0,501$; $p < 0,001$) с докозагексаеновой (C22:6ω3; $r=0,496$; $p=0,001$). В этой цепи отсутствует промежуточное звено — процесс превращения эйкозатриеновой кислоты (C20:3ω3) в эйкозопентаеновую (C20:5ω3; $r=0,501$; $p < 0,001$).

ОБСУЖДЕНИЕ

При оценке результатов традиционных параметров липидного обмена у практически здоровых жителей Арктического региона мы не обнаружили значимых отличий от референсных значений. Однако у 52,1% обследованных выявлено высокое содержание атерогенных фракций ЛПОНП, ТГ и особенно КА. Изучение содержания аполипопротеинов показало, что имеется низкое среднее содержание Апо-А, тогда как содержание Апо-В и соотношение Апо-В/Апо-А было высоким у 39–51% обследованных.

В исследованиях К.О. Пашинской и соавт. [15] установлено, что у значительной части обследованных практически здоровых жителей территории Крайнего Севера отмечено низкое содержание в сыворотке крови Апо-А. Отношение Апо-В/Апо-А1 представляет собой баланс между Апо-В-атерогенными и Апо-А1-антиатерогенными

частицами, это соотношение считается одним из маркеров сердечно-сосудистого риска [16].

Известно, что от содержания в пище СЖК зависят уровни ТГ, ЛПНП и ЛПВП. Так, обогащение пищи ПНЖК приводит к снижению ЛПНП, но не влияет на уровень антиатерогенных ЛПВП. В ряде исследований показано, что употребление в пищу ПНЖК сопровождается более низкими значениями уровней ТГ, ОХ, фибриногена, ЛПОНП и более высокой концентрацией ЛПВП [17].

В ранних исследованиях Е.Р. Бойко и соавт. [18], А.Ю. Людиной и соавт. [19] установлено, что у коренного населения Севера, особенно у лиц с традиционным белково-липидным питанием, повышено содержание в организме ω-3 ПНЖК (эйкозопентаеновой и докозагексаеновой) при снижении уровней ω-6 ПНЖК. Высокие уровни ПНЖК выявлены у жителей арктических территорий по сравнению с лицами, проживающими в южных регионах [20].

При изучении содержания НЖК, МНЖК и ПНЖК обнаружено, что наиболее значимыми НЖК, входящими в состав ТГ и ЛПНП, являются пальмитиновая (C16:0), стеариновая (C18:0) кислоты и МНЖК олеиновая (C18:1ω9). СЖК основные поставщики энергии в организм. Известно, что их содержание связано с особенностями питания населения с учётом региона проживания. Так, НЖК содержатся в животных жирах. Вероятно, высокое содержание НЖК, с одной стороны, является необходимым для запаса энергии, с другой стороны — их избыточное содержание может приводить к накоплению ТГ и ЛПНП, то есть иметь значение в развитии атеросклеротических изменений. О скрытых изменениях липидного обмена может говорить и то, что у части обследуемых северян выявлено высокое содержание НЖК. Это в определённой мере может быть связано с изменением питания — употреблением в пищу большого количества трансжиров, фастфуда и т.д.

Нами изучено содержание семейств ω-3 и ω-6 ПНЖК: в 21,4% случаев выявлено низкое содержание ω-6 ПНЖК

линолевой кислоты; при этом содержание ω -6 арахидоновой кислоты оказалось ниже медианы в 51,5% случаев. Отмечены низкие значения (ниже медианы) ω -3 ПНЖК линоленовой, эйкозопентаеновой, докозагексаеновой у 40–50% обследованных.

Ω -6 линолевая (C18:2 ω 6с) и ω -3 α -линоленовая (C18:3 ω 3) кислоты являются незаменимыми. Некоторые авторы относят к ним и арахидоновую кислоту (C20:4 ω 6). Эти кислоты содержатся в растительных маслах, в небольшом количестве арахидоновая кислота имеется в свином жире и молочных продуктах.

К ω -3 относятся линоленовая (C18:3 ω 3), эйкозопентаеновая (C20:5 ω 3) и докозагексаеновая (C22:6 ω 3) кислоты, содержащиеся в основном в жире рыб северных морей. В клетках и тканях длинноцепочечные ПНЖК находятся не в свободном виде, а составляют структуру липидов различных классов: ТГ, фосфолипидов, эфиров холестерина. Около 60% сухого вещества головного мозга составляют жирные кислоты с наивысшей концентрацией в мембранах нейроцитов. В клетках серого вещества коры головного мозга здорового человека содержится до 13% докозагексаеновой кислоты и 9% — арахидоновой; в сетчатке глаза около 60% ПНЖК представлено докозагексаеновой кислотой. Фосфолипиды клеточных мембран и их состав оказывают влияние на электрофизиологический ответ, что и определяет высокий уровень арахидоновой и докозагексаеновой кислот в органах с интенсивной электрофизиологической активностью: мозге, сетчатке глаза, синапсах [21].

Для уточнения значимости СЖК в липидном обмене у жителей Арктического региона проведён корреляционный анализ, который показал наличие взаимосвязей ТГ с НЖК, МНЖК и ПНЖК, что может свидетельствовать о включении жирных кислот в ТГ. Прослежены корреляции между ω -6 и ω -3 ПНЖК: установлены взаимосвязи линолевой кислоты с гамма-линоленовой, дигомо-гамма-линоленовой и арахидоновой. Это может свидетельствовать о том, что процесс превращения линоленовой кислоты в арахидоновую не нарушен. Человек получает арахидоновую кислоту в основном из пищи (животные жиры); вероятно, в большей степени низкое содержание арахидоновой кислоты связано с низким поступлением её с пищей, однако в небольшом количестве она может быть образована из ω -6 линолевой кислоты сначала через образование гамма-линоленовой, затем дигомо-гамма-линоленовой и арахидоновой.

Нами установлены взаимосвязи ω -3 ПНЖК линоленовой (C18:3 ω 3) с эйкозатриеновой (C20:3 ω 3), но не выявлено корреляций эйкозатриеновой (C20:3 ω 3) с эйкозопентаеновой (C20:5 ω 3). Имеют место только корреляции эйкозопентаеновой кислоты (C20:5 ω 3) с докозагексаеновой (C22:6 ω 3). Мы полагаем, что объяснением этому является нарушение процесса превращения эйкозатриеновой кислоты (C20:3 ω 3) в эйкозопентаеновую (C20:5 ω 3). Синтез ω -6 и ω -3 ПНЖК требует одних и тех же ферментов

(элонгаз и десатураз), оба эти фермента конкурентно участвуют в синтезе как ω -6, так и ω -3 ПНЖК [22]. Вероятно, данные ферменты используются в большем количестве для синтеза ω -6 ПНЖК.

Несомненно, на метаболизм липидов могут влиять и генетические факторы, которые имеют особенности у представителей различных регионов. Тем не менее по этому поводу нет единого мнения. Так, например, Ф.А. Бичкаева и соавт. [23] сравнили липидный профиль крови у населения приполярных регионов Севера и юга Кавказа (Южная Осетия). Оказалось, что у жителей Севера фиксировалось более высокое содержание не только ЛПНП, ЛПОНП, но и ЛПВП и Апо-А, при этом у них, по сравнению с жителями юга Кавказа, отмечались более высокие концентрации Апо-В и соотношение Апо-В/Апо-А, что свидетельствует о дисбалансе аполипопротеинов. З.Н. Кривошапкина и соавт. [24] не выявили значимых гендерных различий параметров липидного обмена у жителей Якутии. В работе А.Р. Шаймарданова и О.Г. Литовченко [25] при изучении биохимических показателей крови у коренных жителей Якутии отмечена высокая частота встречаемости атерогенных дислипидемий и ожирения. Целью нашей работы не предусматривалось участие в исследовании представителей малых народов арктических территорий, так как это требует целенаправленного углублённого рассмотрения. Результаты настоящего исследования необходимо интерпретировать с учётом этих ограничений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование показало, что у практически здоровых жителей Арктического региона имеются скрытые изменения липидного обмена, выражающиеся в высоком содержании у части из них ЛПОНП, ТГ, КА, Апо-В, соотношения Апо-В/Апо-А при низком содержании Апо-А. Низкое содержание ω -6 ПНЖК, особенно линолевой и арахидоновой, ω -3 ПНЖК (эйкозопентаеновой и докозагексаеновой) может быть связано с низким поступлением их с пищей, а также с конкурентным участием ферментов в этом процессе. Следовательно, для выявления скрытых изменений липидного обмена у практически здоровых лиц Арктического региона большее значение имеет исследование совокупности параметров, включающей не только традиционные показатели, но и дополнительные маркеры — содержание липопротеинов Апо-А, Апо-В, соотношение АпоВ/АпоА, а также ПНЖК ω -3 (эйкозопентаеновой и докозагексаеновой) и ω -6 (особенно линолевой и арахидоновой).

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.

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- 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.)
- 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
- 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
- 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
- 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
- Yakovlev-Malykh NN, Borisenko TD, Kamyshnikov 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
- 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
- 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
- Gutsol LO, Egorova IE, Korshunova EY. Mechanisms of formation of high density lipoprotein dysfunction (message 1). *Transbaikal Medical Bulletin*. 2019;(3):72–81. doi: 10.52485/19986173_2019_3_72 EDN: NCUKFP
- 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
- 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
- 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
- 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: PBHYHJ
- 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
- 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
- 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
- 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

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

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

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

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

EDN: ECFAPG

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 микроэлементозов. 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.

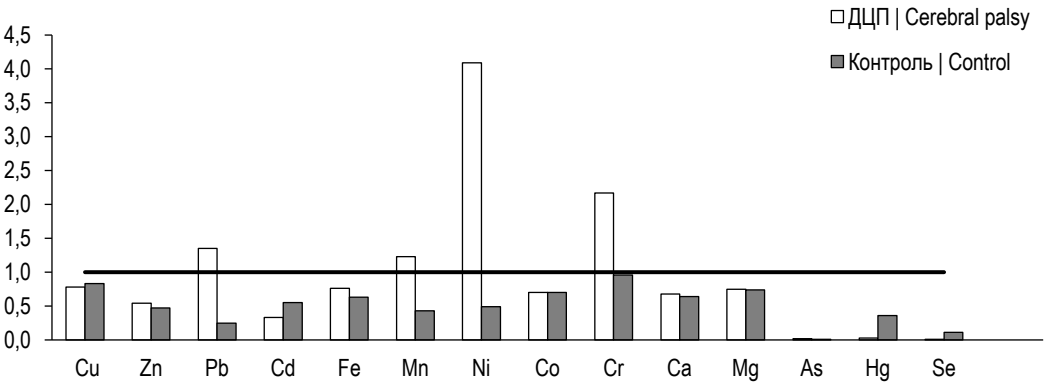


Рис. 1. Концентрация элементов в волосах детей основной и контрольной групп (верхняя граница референтного диапазона принята за 1).
Fig. 1. Element concentrations in the hair of children in the main and control groups (the upper reference limit is set as 1).

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

- 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
- 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
- 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: ZRXPGR
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- Agajanyan NA, Skalny AV. *Chemical elements in the habitat and ecological portrait of a person*. Moscow: KMK; 2001, 83 p. (In Russ.) EDN: XSIZTN
- 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
- 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.)
- Lisovskiy 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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 не включения:

- 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