

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

ЭКОЛОГИЯ



ЧЕЛОВЕКА

EKOLOGIYA CHELOVEKA
(HUMAN ECOLOGY)

Volume 32, Issue 4, 2025

4

Том 32

2025

ЭКО • БЕКТОР

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

Copyeditors: N.N. Milovidova, E.N. Grafskaya

Proofreaders: N.N. Milovidova, E.N. Grafskaya

Layout editor: O.V. Ustinkova

SUBSCRIPTION:

[https://hum-ecol.ru/1728-0869/about/
subscriptions](https://hum-ecol.ru/1728-0869/about/subscriptions)

ADVERTISEMENT DEPARTMENT:

Phone: +7 (968) 545 78 20

E-mail: adv2@eco-vector.com

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

EKOLOGIYA CHELOVEKA (HUMAN ECOLOGY)

Monthly peer-reviewed journal

Volume 32 • Issue 4 • 2025

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

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

The journal publishes original articles and reviews.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

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

Deputy Editor-in-Chief

Andrey B. Gudkov, MD, Dr. Sci. (Med), Professor (Arkhangelsk, Russia)
ORCID: 0000-0001-5923-0941
Igor B. Ushakov, MD, Dr. Sci. (Med), Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-0270-8622

Science editor

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

Executive editor

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

EDITORIAL COUNCIL

Alexander V. Baranov,

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

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

(Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-3878-4192

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

Professor associate (St. Petersburg, Russia)

ORCID: 0000-0002-8624-6452

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

Professor (Ekaterinburg, Russia)

ORCID: 0000-0003-4329-147X

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

Professor (Petrozavodsk, Russia)

ORCID: 0000-0003-1072-9164

Mika Gissler, Professor (Finland)

ORCID: 0000-0001-8254-7525

Andrej M. Grjibovski,

MD, PhD (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-5464-0498

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

Professor (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0003-0675-3647

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

Associate Professor (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-8876-669X

Rhonda Johnson, Professor (USA)

ORCID: 0000-0002-7730-7452

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

Professor (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-8150-9110

Scopus Author ID: 7005797378

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

Associate Professor (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-2346-9763

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

(Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-9485-6584

Evert Nieboer, Professor (Canada)

ORCID: 0000-0001-5165-2832

Kersti Pärna, Professor associate (Estonia)

ORCID: 0000-0001-7677-9493

Magnus Per, Professor (Norway)

ORCID: 0000-0002-6427-4735

Kalediene Ramune, Professor (Lithuania)

ORCID: 0000-0003-3434-8091

Arja Rautio, Professor (Finland)

ORCID: 0000-0002-5816-533X

Halina Röllin, Professor (South Africa)

ORCID: 0000-0001-5247-6519

Marilza Vieira Cunha Rudge,

Professor (Brazil)

ORCID: 0000-0002-9227-832X

Jonatan Ruiz, Professor (Spain)

ORCID: 0000-0002-7548-7138

Zumin Shi, Professor (Qatar)

ORCID: 0000-0002-3099-3299

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

Professor (St. Petersburg, Russia)

ORCID: 0000-0002-8587-1328

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

Professor (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-0350-1359

Pal Weihe, Professor (Faroe Islands)

ORCID: 0000-0001-8174-3671

Agneta Yngve, Professor (Sweden)

ORCID: 0000-0002-7165-279X

Canqing Yu, Professor (China)

ORCID: 0000-0002-0019-0014

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

Professor (Perm, Russia)

ORCID: 0000-0003-2356-1145

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

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

ИЗДАТЕЛЬ:

ООО «Эко-Вектор»

Адрес: Россия, 191181, г. Санкт-Петербург, Аптекарский переулок, д. 3, литера А, помещение 1Н

E-mail: info@eco-vector.com

WEB: https://eco-vector.com

РЕДАКЦИЯ:

Адрес: Россия, 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51.

Тел. +7 (818) 220 6563;

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

ИНДЕКСАЦИЯ:

– SCOPUS

– Белый список научных журналов

– Google Scholar

– Ulrich's Periodicals directory

– ядро РИНЦ

– Russian Science Citation Index

– Norwegian National Center for Research Data

– реферативный журнал и база данных ВИННИТИ

– Global Health

– CAB Abstracts

– ProQuest

– InfoBase Index

– КиберЛенинка

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

Литературные редакторы:

Н.Н. Миловидова, Е.Н. Графская

Корректоры: Н.Н. Миловидова, Е.Н. Графская

Верстка: О.В. Устинкова

Сдано в набор 11.04.2025.

Подписано в печать 02.06.2025.

Выход в свет 10.08.2025.

Формат 60 × 88%. Печать офсетная.

Заказ 5-7851-1v. Цена свободная.

Усл. печ. л. 9.

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>

16+

Экология человека. 2025. Т. 32, № 4.

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

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Ежемесячный научный рецензируемый журнал

Том 32 • № 4 • 2025

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

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

В журнале публикуются оригинальные статьи, обзоры и протоколы исследований.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Унгуряну Татьяна Николаевна, д-р мед. наук, доцент
Северный государственный медицинский университет
(Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0001-8936-7324

Заместители главного редактора

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

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

Научный редактор

Марьяндышев Андрей Олегович, д-р мед. наук, профессор (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
Scopus Author ID: 7005797378

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CONTENTS

REVIEWS

Anatoly L. Gorbachev

Trace element status and health of Northern populations: a scientific review.....	225
---	-----

ORIGINAL STUDY ARTICLES

Alexander L. Markov

Sex-related differences in heart rate variability in cross-country skiers.....	239
--	-----

Alesya N. Loskutova

Age-related characteristics of functional development of the circulatory system in schoolchildren from indigenous minorities of the Russian Northeast: a cross-sectional study.....	246
--	-----

Yulia A. Shatyr, Irina V. Ulesikova, Nikita O. Nazarov, Mikhail A. Kunavin, Sergey F. Popov, Alexander B. Mulik

Comparative characteristics of simple sensorimotor reaction parameters in residents of Northern and Southern regions of the European part of Russia.....	257
---	-----

*Ekaterina A. Krieger, Olga V. Samodova, Natalya A. Bebyakova, Alexander V. Kudryavtsev, Liudmila V. Ivanova,
Roman V. Samoilikov, Mariia B. Potapova, Viktoriia K. Solntseva, Ekaterina A. Meremianina, Oxana A. Svitich*

Single nucleotide variants in interferon system genes in indigenous and non-indigenous residents of the Arkhangelsk region.....	267
--	-----

*Maria A. Sinayskaya, Roman N. Zelentsov, Natalya A. Bebyakova, Natalia I. Pechinkina,
Anastasia A. Trofimova, Alexander V. Kudryavtsev*

Intraocular pressure in the adult population of Arkhangelsk and its associations with socio-demographic characteristics, lifestyle, and general health status.....	280
---	-----

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРЫ

А.Л. Горбачев

Микроэлементный статус и здоровье жителей северных регионов: научный обзор	225
--	-----

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

А.Л. Марков

Половые особенности variability сердечного ритма у лыжников-гонщиков	239
--	-----

А.Н. Лоскутова

Возрастные особенности функционального развития системы кровообращения у школьников — представителей коренных малочисленных народов Северо-Востока России: одномоментное исследование	246
---	-----

Ю.А. Шатыр, И.В. Улесикова, Н.О. Назаров, М.А. Кунавин, С.Ф. Попов, А.Б. Мулик

Сравнительная характеристика показателей простой сенсомоторной реакции у жителей северных и южных территорий европейской части России	257
--	-----

*Е.А. Кригер, О.В. Самодова, Н.А. Бебякова, А.В. Кудрявцев, Л.В. Иванова,
Р.В. Самойликов, М.Б. Потапова, В.К. Солнцева, Е.А. Меремьянина, О.А. Свитич*

Однонуклеотидные варианты в генах системы интерферонов у коренных и некоренных жителей Архангельской области	267
---	-----

М.А. Синайская, Р.Н. Зеленцов, Н.А. Бебякова, Н.И. Печинкина, А.А. Трофимова, А.В. Кудрявцев

Внутриглазное давление у взрослого населения г. Архангельска и его связи с социально-демографическими характеристиками, образом жизни и общим состоянием здоровья	280
--	-----

Микроэлементный статус и здоровье жителей северных регионов: научный обзор

А.Л. Горбачев

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаврова, Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Литературные данные определяют задачи биогеохимии и вводят её ключевые понятия «живое вещество» и «биогенная миграция химических элементов». Согласно исследованиям, биохимические параметры живых организмов зависят от геохимического окружения и содержания в нём эссенциальных элементов. Учёные предполагают, что физиологическая система микроэлементов у живых организмов служит структурно-функциональной основой метаболических процессов.

Биогеохимические провинции представляют собой территории с нарушенным содержанием химических элементов. Микроэлементозы — геохимические заболевания человека и животных и механизмы их формирования. Данные демонстрируют, что дефицит или избыток биоэлементов в организме человека вызывает психосоматические нарушения: болезни цивилизации, снижение фертильности, увеличение числа бесплодных браков, различные формы девиантного поведения.

Региональные биогеохимические исследования необходимы для изучения распределения химических элементов в окружающей среде, растениях, животных, организме человека. Природно-климатические условия и биогеохимическая характеристика районов Севера малоизучены, особенно в отношении элементного статуса жителей арктических регионов. Низкое содержание эссенциальных элементов в биосфере Севера создаёт биологические нагрузки для жителей и предопределяет риск развития микроэлементозов. Исследования определяют общие черты элементного статуса жителей Азиатского и Европейского Севера: распространение дефицита кобальта, селена, кальция, йода. У мигрантов Севера понижено содержание железа, селена, фтора, что приводит к акклиматизационному дефициту этих элементов.

Литературные данные указывают на загрязнение биосферы Севера. Загрязнение Арктики затрагивает почвенно-растительные комплексы, питьевую воду, а также приводит к кумуляции в живых организмах токсичных элементов: ртути, свинца, кадмия, мышьяка.

Особенности питания в условиях Севера связаны с пониженной долей традиционных продуктов питания в рационе жителей. Природный дефицит эссенциальных элементов, усиленный потерей биологически ценного питания, приводит к увеличению дефицита железа, цинка, кобальта, меди, марганца, йода, селена и снижает адаптационный потенциал организма человека в условиях Севера.

Анализ эколого-медицинских проблем йода позволяет определить его физиологическую роль, оценить уровень обеспеченности йодом населения России, выявить проблему йодного дефицита и предложить пути её коррекции.

В заключении отмечено, что поддержание здоровья жителей Севера требует биогеохимического мониторинга арктических регионов, выявления территорий с повышенной предрасположенностью к биогеохимическим эндемиям и профилактики заболеваний геохимической природы.

Ключевые слова: биогеохимия; химические элементы; Север; биогеохимические провинции; население; микроэлементозы; коррекция дефицита.

Как цитировать:

Горбачев А.Л. Микроэлементный статус и здоровье жителей северных регионов: научный обзор // Экология человека. 2025. Т. 32, № 4. С. 225–238. DOI: 10.17816/humeco646046 EDN: ILROFE

Trace Element Status and Health of Northern Populations: a Scientific Review

Anatoly L. Gorbachev

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

ABSTRACT

Available publications define the objectives of biogeochemistry and introduce its key concepts: *living matter* and *biogenic migration of chemical elements*. According to studies, the biochemical parameters of living organisms depend on the geochemical environment and the content of essential elements within it. Researchers suggest that the physiological system of trace elements in living organisms serves as a structural and functional basis for metabolic processes.

Biogeochemical provinces are areas with imbalanced concentrations of chemical elements. Trace element imbalance is geochemical diseases in humans and animals, with defined mechanisms of formation. Evidence shows that both deficiencies and excess of bioelements in the human body contribute to psychosomatic disorders, such as lifestyle diseases, reduced fertility, an increase in infertile marriages, and various forms of deviant behavior.

Regional biogeochemical research is needed to study the distribution of chemical elements in the environment, plants, animals, and the human body. The natural and climatic conditions and the biogeochemical profile of northern regions are still poorly studied, particularly with regard to the elemental status of residents in the Arctic areas. Low levels of essential elements in the biosphere of the North create a biological burden for the population and contribute to an increased risk of trace element imbalance. Studies have identified common features of elemental status among residents of both the Asian and European North, including widespread deficiencies of cobalt, selenium, calcium, and iodine. Among migrants to the North, lower levels of iron, selenium, and fluoride lead to an acclimatization-related deficiency of these elements.

The published data also indicates that the biosphere of the North is polluted. Arctic contamination affects soil and vegetation, drinking water, and leads to bioaccumulation of toxic elements such as mercury, lead, cadmium, and arsenic in living organisms. Nutritional patterns in the North are characterized by a reduced share of traditional food products in the local diet. The natural deficiency of essential elements, enhanced by the loss of biologically valuable nutrition, contributes to further deficiency of iron, zinc, cobalt, copper, manganese, iodine, and selenium, reducing the human body's adaptive potential in northern conditions.

An analysis of ecological and medical issues related to iodine allows clarifying its physiological role, assessing iodine sufficiency among the Russian population, identifying iodine deficiency as a public health concern, and proposing corrective measures.

In conclusion, maintaining the health of northern populations requires biogeochemical monitoring of Arctic regions, identification of territories predisposed to biogeochemical endemics, and prevention of diseases of geochemical origin.

Keywords: biogeochemistry; chemical elements; North; biogeochemical provinces; population; trace element imbalance; deficiency correction.

To cite this article:

Gorbachev AL. Trace element status and health of northern populations: a scientific review. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(4):225–238. DOI: 10.17816/humeco646046 EDN: ILROFE

北方地区居民的微量元素状态与健康：科学综述

Anatoly L. Gorbachev

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

摘要

文献资料界定了生物地球化学的研究任务，并引入其核心概念：“生命物质”与“化学元素的生源性迁移”。研究表明，生物体的生化参数取决于地球化学环境及其所含的必需元素。科学界认为，生物体中的微量元素生理系统是代谢过程的结构和功能基础。

生物地球化学省是指化学元素含量异常的地区。微量元素病是人类和动物的地球化学性疾病，以及其形成机制。数据显示，人体内生物元素的缺乏或过量可导致多种身心障碍，如文明病、生育能力下降、不孕婚姻比例增加及各种形式的越轨行为。

区域性生物地球化学研究对于分析环境、植物、动物及人体中化学元素的分布具有重要意义。北方地区的自然气候条件及生物地球化学特征尚研究不足，尤其缺乏关于北极地区居民元素状态的数据。北方生物圈中必需元素含量较低，给当地居民造成生物学负荷，并增加微量元素病的发生风险。研究指出，亚欧北方居民的元素状态具有共性，主要表现为钴、硒、钙和碘的缺乏。在迁居北方者中，铁、硒和氟的含量普遍偏低，形成了与适应过程相关的元素缺乏状态。

文献资料亦指出北方生物圈的污染问题。北极污染影响土壤植被系统与饮用水，并造成生物体内汞、铅、镉、砷等有毒元素的蓄积。

北方地区的饮食特点包括传统食物在膳食中所占比例降低。自然环境中必需元素的缺乏，再加上生物学价值食物摄入量的减少，导致铁、锌、钴、铜、锰、碘、硒等元素的缺乏进一步加重，并削弱人体在北方环境中的适应潜能。

对碘相关的生态医学问题的分析可帮助明确其生理功能，评估俄罗斯居民的碘营养水平，识别碘缺乏问题，并提出相应的矫正路径。

结论指出，保障北方居民健康，需要在北极地区开展生物地球化学监测，识别生物地球化学地方病高发区域，并实施地球化学性疾病的预防策略。

关键词：生物地球化学；化学元素；北方；生物地球化学省；人群；微量元素病；缺乏矫正。

引用本文：

Gorbachev AL. 北方地区居民的微量元素状态与健康：科学综述. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(4):225–238.

DOI: 10.17816/humeco646046 EDN: ILROFE

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития общества показывает, что жизненные показатели человека — здоровье, качество и продолжительность жизни — становятся всё более зависимыми от состояния окружающей среды. Химические элементы служат связующим звеном между косной (неорганической) природой и биосферой (живым веществом). Таким образом, биохимические и физиологические параметры живых организмов определяются геохимическим окружением.

Биогеохимия — раздел геохимии, изучающий взаимосвязь окружающей среды и живых организмов посредством миграции атомов и трансформации энергии. Согласно В.И. Вернадскому, ключевые понятия биогеохимии: «живое вещество» — совокупность живых организмов и «биогенная миграция химических элементов» — перемещение атомов в биосфере в результате жизнедеятельности организмов [1].

У высших организмов система микроэлементов (биоэлементов) представляет собой древнюю физиологическую систему, объединяющую нейроиммунорегуляторные комплексы [2]. Биологическая роль макро- и микроэлементов разнообразна: они участвуют в построении биологических молекул и тканей, процессах дыхания, нервной проводимости, мышечном сокращении, обезвреживании ксенобиотиков и свободных радикалов. Эти элементы также обеспечивают метаболические процессы, регулируя активность ферментов, гормонов, витаминов, цитокинов.

В представленной работе рассмотрены биогеохимические особенности Севера России, проанализирован элементный статус жителей в условиях экстремальных факторов среды, описаны североспецифические микроэлементозы и предложены пути их коррекции.

Систематический обзор литературы проведен по ScR-методологии (scoring review). Для описания стратегии поиска применили рекомендации для систематических обзоров и метаанализов (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses, PRISMA). Поиск осуществляли в базах данных eLibrary, PubMed и Scopus по ключевым словам: «биогеохимия» («biogeochemistry»), «химические элементы» («chemical elements»), биогеохимические провинции («biogeochemical provinces»), жители («residents»), микроэлементозы («microelementoses»), Север («North»).

В обзор включили экспериментальные и фундаментальные исследования, проведенные *in vivo* или *in vitro*; нарративные и систематические обзоры, а также подробные аннотации статей с результатами исследований. В обзор не вошли публикации, не индексируемые в профильных реферативных базах данных. Отсутствие описанных результатов в свободном доступе служило критерием исключения публикации на этапе анализа, поскольку это затрудняло корректную интерпретацию данных, что можно

считать ограничением обзора. Во всех отобранных исследованиях провели библиографический поиск глубиной 80 лет (последний запрос — май 2025 г.). Из около 2000 статей, после скрининга по критериям включения и исключения, для анализа отобрали 75 публикаций.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОВИНЦИИ

А.П. Виноградов ещё в 1930-х годах, изучая элементный состав организмов, сформулировал концепцию биогеохимических провинций [3]. Сопоставляя гетерогенность химического состава земной коры и экстремальные геохимические территории с развитием краевой патологии человека и животных, он ввёл понятие «биогеохимические провинции». Согласно определению, биогеохимические провинции, представляют собой области Земли, отличные от соседних территорий по содержанию химических элементов и, как следствие, вызывающие ответную реакцию местной флоры и фауны. В настоящее время изучено более 150 различных биогеохимических провинций с неблагоприятными миграционными потоками 20 химических элементов, включая Sr, Se, Sb, Hg, I, Co, Cu, B и U. Наиболее распространёнными являются провинции с недостатком йода, селена, а также с избытком фтора [4]. В условиях экстремальной геохимической среды (резкого дефицита или избытка элементов) в пределах провинций возникают биогеохимические эндемии — заболевания растений и животных. Эндемии природного происхождения затрагивают только человека и интродуцированные виды животных и растений [5].

Со второй половины XX века элементный состав биосферы активно эволюционирует из-за антропогенного воздействия на природную среду и миграции химических веществ. В результате техногенеза трансформируются биогеохимические циклы и возникают искусственные геохимические провинции с аномальным содержанием химических элементов в окружающей среде и в организме, обитающих на этой территории растений, животных и человека.

МИКРОЭЛЕМЕНТОЗЫ

Высокая динамика социально-экологических процессов, техногенный перенос неорганических веществ, ускорение биосферного обмена химических элементов, социально обусловленная миграция продуктов питания изменяют элементный профиль человеческих популяций, неспособных адаптироваться к стремительным изменениям социума и геохимической среды.

Микроэлементный гомеостаз живых организмов обеспечивает устойчивость индивидуума к воздействию внешней среды. Однако чрезмерные экологические нагрузки, сопровождающиеся изменением химического состава среды обитания, приводят к дисбалансу биоэлементов (дефициту или избытку). Эндогенный дисбаланс

элементов вызывает деструктивные изменения клеточно-тканевых компонентов, нарушает металло-лигандные комплексы, ведёт к дисфункции регуляторных систем и развитию микроэлементозов — заболеваний геохимической природы человека и животных [6].

В природных условиях ведущая роль в возникновении эндемических заболеваний обычно принадлежит одному химическому элементу, присутствующему в среде в крайне низкой или избыточной концентрации [4]. Однако микроэлементозы, как правило, возникают из-за полиэлементных нарушений, где один элемент выступает основным патогенным фактором, другие же дополняют или усиливают его действие. В таких случаях эффект микроэлементоза может отражать одновременные нарушения нескольких обменных процессов, в каждом из которых триггерную роль выполняет определённый элемент. Хорошо известны экологически обусловленные заболевания:

- железодефицитная анемия (Fe, Co, Mg, Cu и др.);
- йододефицитные заболевания (I, Se, Zn и др.);
- иммунодефицитные состояния (Se, Zn, I, Fe и др.);
- сердечно-сосудистые заболевания (Se, Fe, K, Mg);
- заболевания опорно-двигательного аппарата (Ca, Mg, Sr, Ba, Si) и другие структурно-функциональные нарушения, связанные с дисбалансом биоэлементов.

Длительный дефицит или недостаточное поступление в организм макро- и микроэлементов приводит к хроническому комплексному гипоелементозу. У человека и животных это состояние приводит к нарушению обменных процессов, преимущественно за счёт снижения биосинтеза и функциональной активности нуклеиновых кислот, что вызывает нарушение синтеза белков, включая гормоны, ферменты, иммуноглобулины [4].

В связи с риском комплексных микроэлементозов следует отметить особую роль микроэлементов в патогенезе вирусных и инфекционных заболеваний, включая их влияние на развитие вирусных пандемий [5, 7]. Следует отметить, что не все эндемические заболевания достаточно изучены: причины некоторых элементозов не выявлены, а механизмы их развития не до конца исследованы. Клинические проявления определённых эндемий не всегда коррелируют со степенью нарушения концентрации химических элементов во внешней среде (болезнь Кашина-Бека, эндемическая подагра и др.). Явные нарушения функционального состояния и симптомы заболевания часто наблюдают только у 5–20% обследуемых (как в случае эндемии зоба) [5].

Дефицит или избыток в организме биоэлементов лежит в основе различных форм патологии. Дисбаланс биоэлементов и нарушение минерального обмена провоцируют различные формы психосоматических нарушений. Исследователи сформулировали и обосновали гипотезу, что нарушение элементного профиля служит экологическо-патологической основой болезней цивилизации (сердечно-сосудистые заболевания, онкологические патологии,

сахарный диабет, нейродегенеративные заболевания и др.) [7].

Среди жителей экологически неблагоприятных регионов с дефицитом жизненно важных элементов (Zn, Se, Fe) отмечают нарушения фертильности [8, 9], увеличение частоты бесплодных браков. Дисбаланс указанных элементов усугубляет демографический кризис [10], а также способствует депопуляции малых народов Севера [11, 12].

Индивидуальные особенности элементного статуса жителей некоторых биогеохимических территорий могут определять психофизиологические черты человека. Показана потенциальная роль биологически значимых элементов в развитии различных форм девиантного поведения (агрессивность, депрессивные состояния, склонность к алкоголизму и употреблению наркотических веществ) [13].

БИОЭЛЕМЕНТОЛОГИЯ И ЕЁ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Описанные выше проблемы лежат в сфере относительно нового научного направления — «биоэлементологии» — междисциплинарной науки, изучающей единство неорганического и органического мира на базе химического состава биосферы, включая организм человека [14]. Одним из направлений биоэлементологии является медицинская элементология, задача которой исследовать элементный профиль человека при нарушениях минерального обмена, разрабатывать методы его коррекции, а также научно-практические мероприятия по профилактике элементозов [15]. По мнению исследователей, устранение дефицита биоэлементов и коррекция металло-лигандных комплексов по физиологической значимости сопоставимы с редактированием генома [9].

Учитывая медико-социальную значимость неорганического компонента биосферы, ключевую роль играют знания региональной биогеохимии: распределении химических элементов в окружающей среде, а также в организмах. В этой связи во многих развитых странах исследуют природные и антропогенные факторы, определяющие содержание и распределение химических элементов в почвах, их доступность растениям, способность переходить в гидросферу и атмосферу. В последние десятилетия проводят региональные обследования населения, направленные на контроль обеспеченности популяций эссенциальными элементами и уровня загрязнения токсичными элементами. На основании полученных данных оценивают элементный статус популяций, а государства и международные организации (Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), Детский фонд Организации Объединённых Наций (ЮНИСЕФ), Организация Объединённых Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО) и др.) формируют политику в области питания, продовольственной и экологической безопасности [16, 17]. Хорошо известны масштабные проекты

по изучению обеспеченности населения железом, йодом, селеном, а также техногенного загрязнения тяжёлыми металлами, и прежде всего ртутью, свинцом, кадмием, мышьяком.

В рамках федеральной программы «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009–2014 годы)» проведено масштабное исследование элементного статуса населения России. Получены данные о содержании химических элементов у жителей федеральных округов, на основе которых издано 5-томное руководство «Элементный статус населения России» [18]. Результаты показали, что наиболее распространённые дефициты в среднем по регионам касались кобальта (60–90%), селена и цинка (до 45%), тогда как избыточные концентрации отмечены для свинца (21%), ртути и кадмия (6%).

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В результате элементного скрининга населения России наименее изученными оказались северные регионы. Это вызвано финансовыми, кадровыми и методическими трудностями при исследовании малонаселённых северных территорий. Однако Север России представляет собой огромную биогеохимическую провинцию со сниженными адаптивными возможностями человека, где нарушения минерального обмена проявляются на популяционном уровне и требуют медико-экологического контроля [19–22].

Исследования указывают на некоторые закономерности элементного статуса жителей Азиатского и Европейского Севера. В частности, у жителей арктических территорий обнаружили пониженное содержание кобальта, селена, кальция, йода. Общие черты элементного профиля северян коррелируют с геохимическими данными и свидетельствуют о единых механизмах биохимической адаптации человека [23].

Геохимическая среда северных регионов характеризуется крайне низким содержанием биогенных элементов из-за минерально-обеднённых подзолистых почв и слабоминерализованной питьевой воды. Почвенные и гидрологические условия Севера создают биологическую нагрузку для населения и повышают риск развития манифестных и скрытых форм микроэлементозов. Кроме того, слабоминерализованная вода способствует развитию вторичных авитаминозов, поскольку минеральные вещества играют ключевую роль в усвоении витаминов.

СТАТУС КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ

Одной из эколого-медицинских проблем жителей Севера выступает дефицит солей кальция и магния,

что связано с преимущественным употреблением слабоминерализованных поверхностных вод с пониженной жёсткостью [24, 25]. При этом химический состав поверхностных вод влияет на содержание минеральных веществ и в подземных источниках, которые также используют в питьевых целях [26].

Исследования установили различия в заболеваемости органов кровообращения в зависимости от жёсткости питьевой воды: низкая концентрация ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} коррелирует с повышением заболеваемости и смертности [10]. Дефицит этих элементов способствует развитию заболеваний сердечно-сосудистой системы, в том числе гипертонической болезни. В регионах с мягкой водой уровень заболеваемости гипертонией на 25–30% выше, чем в других регионах. Основную роль в развитии артериальной гипертензии играет магний, дефицит которого рассматривают как ключевой фактор патогенеза [27, 28]. При этом достаточный уровень кальция, магния и основных микроэлементов обеспечивает защитный эффект жёсткой воды, снижая уровень смертности [29].

У жителей Севера отмечено сниженное содержание кальция, обусловленное не только использованием мягкой питьевой воды, но и другими североспецифическими факторами: гипоинсоляцией (дефицит витамина D), акклиматизационным понижением содержания кальция, хроническим воздействием низких температур (участие в терморегуляции). Согласно классическим представлениям, холод-индуцированное понижение кальция в крови связано с ролью ионов кальция в поддержании температурного гомеостаза. Показано, что холодовая адаптация приводит к достоверному снижению концентрации ионов кальция в крови [30].

Слабоминерализованная (ультрапресная) вода не только провоцирует сердечно-сосудистые заболевания, но и способствует развитию вторичных гиповитаминозов. Возможный дефицит витаминов связан с физиологической (конкурентной) ролью минеральных веществ (соли меди, железа) в усвоении организмом водорастворимых витаминов B_1 , B_{12} [31].

У мигрантов Севера с увеличением продолжительности проживания в экстремальных условиях отмечают снижение содержания не только кальция, но и других эссенциальных элементов: железа, селена, фтора. Это свидетельствует о функциональном истощении резервов указанных элементов и формировании их акклиматизационного дефицита [32].

Высокая распространённость железодефицитных состояний у жителей Севера обусловлена повышенным расходом железа из-за усиления адаптивных анаболических и катаболических процессов под воздействием экстремальных факторов среды, прежде всего холода [6, 32]. Понятие акклиматизационного дефицита микроэлементов в экстремальных условиях относят только к физиологическим уровням поступления элементов. В случае их избыточности во внешней среде некоторые авторы предлагают

термин «акклиматизационная блокада процессов накопления микроэлементов в организме» [33].

ЗАГРЯЗНЕНИЕ АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Проблема природных (эндемических) элементозов усугубляется антропогенным фактором и накоплением в биосфере тяжёлых металлов Cu, Zn, Pb и Cd. Некоторые исследователи полагают, что загрязнение металлами носит локальный характер, и биогеохимические исследования больших условно фоновых территорий не всегда подтверждают глобальный характер загрязнения. Напротив, выявляют недостаток эссенциальных элементов (Cu, Zn, Co, Mo) [5]. Однако загрязнение арктических территорий носит глобальный характер. Кроме локального техногенного воздействия, экологическое неблагополучие арктического бассейна России определяют ветровой и гидрологический режимы. Воздушные массы, проходя над промышленными центрами Европы, Азии и Америки, захватывают химические выбросы и переносят стойкие органические поллютанты в Арктику. Зимой ветры приносят вредные вещества к арктическим побережьям преимущественно из Европы и Азии, летом — из Америки. По сравнению с другими высокоширотными территориями, именно арктические регионы России демонстрируют наиболее высокий уровень загрязнения стойкими органическими загрязнителями и тяжёлыми металлами [34, 35].

Комплекс промышленных предприятий формирует вокруг себя техногенные биогеохимические провинции с повышенным содержанием в биосфере свинца, мышьяка, фтора, ртути, кадмия, марганца, никеля и других элементов. В условиях Севера микроэлементные загрязнения распространяются не только вблизи промышленных зон, но и на значительные расстояния из-за переноса загрязнителей воздушными потоками [33]. По мнению исследователей, при географических различиях в загрязнении арктических территорий следует учитывать движение воздушных масс и океанических течений, переносящих загрязняющие вещества на огромные расстояния, а также протяжённость и географию миграционных путей птиц, рыбы и морских млекопитающих.

Загрязнение Арктики затрагивает почвенно-растительные комплексы и питьевую воду [36, 37], а также приводит к накоплению в живых организмах токсичных элементов (свинец, кадмий, мышьяк), преимущественно за счёт переноса поллютантов из средних широт [35, 37].

Антропогенное загрязнение Арктики усиливают природно-климатические факторы. Исследования показывают, что содержание Fe, Zn, V, Cu, Ni, Mo, Co в арктических льдах существенно выше, чем в поверхностных водах. В этой связи таяние ледников служит дополнительным источником тяжёлых металлов, поступающих в гидросферу

Арктики. Учёные показали кумуляцию токсичных элементов в биосфере северных регионов — в растениях (ягель), мясе (оленина, морские млекопитающие), птице, рыбе и морепродуктах [38].

Неблагоприятная экологическая обстановка в Арктике повышает риск развития заболеваний у человека [39, 40, 29]. Комплексы тяжёлых металлов, поступая через пищевые цепи, провоцируют развитие хронической сердечной недостаточности, нейродегенеративных патологий, воспалительных заболеваний кишечника, хронических болезней почек, иммуноаллергических расстройств. Они также развивают репродуктивную токсичность и проявляют свойства дисрегуляторов эндокринной системы [41].

ЗАГРЯЗНЕНИЕ РТУТЬЮ

Сравнение уровней экспозиции токсичными веществами населения циркумполярной Арктики с данными биомониторинга в других регионах показало, что арктические популяции испытывают более тяжёлые нагрузки некоторыми поллютантами. Например, концентрации ртути в крови жителей Арктики значительно превышают аналогичные показатели у населения США и Канады, не проживающего в арктических регионах [35].

Ртуть — опасный загрязнитель, оказывающий прямое негативное воздействие на арктические экосистемы и здоровье человека. Этот металл входит в число наиболее токсичных веществ и действует как кумулятивный яд. По данным ВОЗ, ртуть относят к десяти основным химическим веществам, создающим серьёзную угрозу для общественного здравоохранения [42].

Метаанализ данных о содержании ртути в индикаторных организмах Севера продемонстрировал чёткую тенденцию к росту концентрации этого металла с запада на восток. Помимо техногенных источников загрязнения, существенную роль в содержании ртути в биосфере Арктики играют лесные пожары, которые «выбрасывают» в атмосферу почвенную ртуть [43].

Миграция ртути по трофическим цепям наземных экосистем имеет естественные ограничения, обусловленные её связыванием почвенными соединениями гумусовых кислот [44]. Наибольшему риску загрязнения подвержены водные экосистемы, о чём свидетельствует увеличение концентрации ртути в арктических озёрах. Растущее загрязнение среды создаёт условия для кумуляции ртути в водных пищевых цепях, вследствие чего морские и пресноводные рыбы, а также продукты их переработки становятся основными источниками поступления ртути в организм человека [45]. В регионах Севера, кроме рыбы, значительное количество ртути содержит мясо морских млекопитающих. В тканях рыб и животных происходит накопление ртути в форме метилртути (MeHg) — высокотоксичного органического соединения, сильнодействующего нейротоксина.

Содержание ртути в рыбе и рыбопродуктах может многократно превышать предельно допустимые концентрации (0,5–1,0 мг/кг). Критерии загрязнения продуктов различны: европейское экономическое сообщество устанавливает предельное значение в 0,3 мг ртути на 1 г рыбы (сырой вес). ВОЗ и Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (Food and Drug Administration, FDA) рекомендуют максимально допустимые концентрации 0,5 и 1,0 мг ртути на 1 г рыбы и рыбопродуктов соответственно.

Помимо рыбы, исследования фиксируют повышенное содержание ртути и свинца в мясе северных оленей, а также существенное повышение ртути и селена в печени полярных медведей Канады, Аляски и Гренландии (избыток селена также оказывает токсический эффект) [46]. У беременных женщин, проживающих в Гренландии, обнаружили корреляцию между потреблением морепродуктов и концентрацией ртути в крови. При этом показано, что ртуть нарушает репродуктивную функцию и представляет опасность для фертильности и исхода беременности [47].

Несмотря на то, что традиционный рацион аборигенов Севера служит важнейшим источником макро- и микронутриентов, он также содержит повышенный уровень хлорорганических соединений, радионуклидов, а также тяжёлых металлов. В российской Арктике, Сибири и на Дальнем Востоке зафиксировано загрязнение пищи ртутью, свинцом, мышьяком и кадмием [34]. У 96% коренного населения Ханты-Мансийского автономного округа (континентальный регион) зарегистрировали повышенное содержание ртути, которое в 4 раза превышало норму и коррелировало с высокой концентрацией этого элемента в пресноводной рыбе [48]. Показано превышение допустимого содержания ртути в горбуше, выловленной в реках континентальной Чукотки — источниках питьевой воды для местных жителей [49].

Исследования элементного статуса жителей Магаданской области и Чукотки выявили ртуть и свинец в волосах коренных жителей приморских посёлков, включая детей, основу рациона которых составляет рыба и морепродукты [50]. Содержание ртути не превышало биологически допустимого значения — 5,0 мкг, но было выше фоновых показателей по России (0,5–1,0 мкг/г).

МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ОТНОШЕНИЯ В СИСТЕМЕ «РТУТЬ–СЕЛЕН»

При анализе токсичных элементов в организме человека следует учитывать сложные конкурентно-антагонистические взаимодействия между элементами. Эти взаимосвязи могут приводить к вытеснению эссенциальных элементов токсичными, что способствует развитию вторичных гипозлементозов. Физиологическими антагонистами ртути выступают селен и сера. Селен,

как антиоксидант и иммуномодулирующий агент, служит функциональным антидотом ртути. В свою очередь, избыточные концентрации ртути вытесняют селен из биологических сред [51, 52].

Ртуть вызывает дефицит селена и непосредственно ингибирует его роль в регуляции внутриклеточной окислительно-восстановительной среды. Селен снижает токсичность ртути, благодаря нескольким механизмам: уменьшает всасывание ртути в желудочно-кишечном тракте, способствует деметилированию органических соединений ртути с образованием неорганической формы и восстанавливает активность селенопротеинов [52].

Известно о сильной положительной корреляции между содержанием ртути и селена в тканях рыбоядных животных, особенно хищных морских млекопитающих. Метаболические отношения ртути и селена отражают взаимодействие системы «токсикант–нутриент», что необходимо учитывать при оценке их баланса в окружающей среде. Млекопитающие и птицы с высоким трофическим уровнем могут частично компенсировать токсическое действие метилртути путём хелатирования неорганической ртути селеном. Исследователи изучили распределение ртути и селена в мышцах, печени и почках у множества видов морских животных. Результаты показали, что у большинства особей молярные концентрации селена превышали показатели ртути [53].

Дальнейшая техногенная аккумуляция ртути в Мировом океане может превысить компенсаторные возможности элементов-антагонистов, создавая потенциальную угрозу для арктических экосистем и здоровья населения. Ещё в 1970-х годах исследователи обнаружили повышенное содержание ртути в волосах аборигенов Чукотки — чукчей и эскимосов [54]. При этом избыток ртути уже тогда соответствовал районам с геохимическими аномалиями. Однако высокие концентрации ртути были сбалансированы повышенным содержанием селена. Высокие концентрации обоих элементов объяснимы особенностями рациона аборигенов, которые потребляют мясо морских животных (китов, моржей, тюленей), богатое как селеном, так и метилртутью.

Ртуть и её соединения оказывают не только общетоксическое действие, но и проявляют гонадотоксические, эмбриотоксические, тератогенные и мутагенные свойства. Существует предположение о канцерогенности и неорганической ртути [44]. Широкое распространение дефицита селена у современной популяции жителей Севера на фоне накопления ртути в организме может приводить к хроническому меркуриализму.

Симптомы ртутной интоксикации затрагивают преимущественно нервную систему. По данным ВОЗ, ежедневное поступление метилртути в дозе 3,0–7,0 мкг/кг повышает риск неврологических заболеваний на 5% [42]. Помимо неврологических расстройств, избыток ртути провоцирует развитие сахарного диабета и гипертонии. Также

обсуждают роль ртути в формировании аутистического поведения [55].

СЕВЕРСПЕЦИФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И ЗДОРОВЬЕ ЖИТЕЛЕЙ СЕВЕРА

Арктические территории — это среда, где человек испытывает сильное воздействие комплекса природно-климатических факторов. К ним относят экстремальные температурный и ветровой режимы, повышенные энергозатраты, контрастный ритм фотопериодичности, резкие перепады атмосферного давления, гипоксию, аномалии геомагнитных полей, пустынность и однообразие ландшафта и др. [56, 40].

Комплекс природно-климатических факторов Севера формирует глобальный медико-биологический феномен — «синдром полярного напряжения» или «экологически обусловленный северный стресс» [57]. Это состояние приводит к нарушению обменных процессов и развитию краевых форм патологии. В то же время Север служит уникальной природной лабораторией для исследования адаптивных реакций человека. Длительное проживание коренного населения в экстремальных условиях и миграция людей из более благоприятных климатических зон, сопровождающиеся адаптивными и дизадаптивными реакциями, создают естественную базу для исследований в области экологической физиологии, включая изучение резервных возможностей человека в условиях Арктики. Особый интерес представляют изолированные аборигенные сообщества, проживающие в отдалённых районах Севера и сохранившие этнические традиции, обычаи и быт. Такие изолированные сообщества аборигенов служат уникальной моделью для изучения возможностей выживания человека в экстремальных условиях (климат, геохимия, питание, здоровье, продолжительность жизни).

Действие специфических факторов Севера, таких как фотопериодизм, аномалии магнитных полей и колебания атмосферного давления, практически невозможно блокировать социальными или защитными мерами. Однако современные достижения цивилизации — сбалансированное питание, соответствующее метаболическим потребностям, и функциональная одежда — позволяют частично компенсировать экстремальное воздействие Севера. Тем не менее, некоторые факторы невозможно ослабить, нейтрализовать или компенсировать. Помимо сезонной светопериодичности, геомагнитных аномалий и перепадов атмосферного давления, к постоянным экологическим факторам Севера относят геохимические особенности арктических регионов — подзолистые почвы и слабоминерализованную питьевую воду. Указанные факторы определяют потенциальный дефицит эссенциальных микроэлементов. Кроме того, у мигрантов бедная минеральными веществами окружающая

среда усугубляет акклиматизационный дефицит железа, фтора, селена, кальция, который и без того характерен для несбалансированного рациона как мигрантов, так и коренного населения. При этом основную роль в нарушении обменно-адаптивных процессов и формирования северной патологии играет именно питание [58–61].

ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ ЖИТЕЛЕЙ СЕВЕРА

Сохранение здоровья в условиях сурового климата возможно лишь при полноценном питании, которое напрямую влияет как на состояние организма в целом, так и на активность его отдельных функциональных систем. Питание, как постоянно действующий социально-экологический фактор, должно быть не только полноценным, сбалансированным и соответствовать физической активности и полу, но и учитывать климатогеографические условия проживания, национальные особенности и пищевые привычки [62].

Аборигенное население Арктики адаптировано к природно-климатической среде, включая и биогеохимическое окружение. Исследователи считают, что эволюционно выработанные механизмы обмена веществ закреплены генетически [63]. Однако изменения природно-социальной среды (климата, экологии, образа жизни и питания) могут на эпигенетическом уровне нарушить наследственные механизмы обмена.

Разрушение традиционного уклада жизни аборигенного населения Арктики изменило и их рацион [58]. Структура питания современного коренного жителя Севера приобрела выраженный углеводно-липидный характер с пониженным содержанием витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон и других важнейших нутриентов. Некоторые авторы связывают это с повышением факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний и алиментарно-зависимой патологии [62].

Традиционное питание жителей Арктической зоны, удовлетворяющее нутриентным потребностям и покрывающее энергозатраты, включает регулярное (не реже 3 раз в неделю) потребление местной рыбы и оленины [64, 65]. Однако такой режим питания для коренного населения не является общедоступным.

В связи с изменением природно-климатических условий арктических территорий (сдвиг сезонов, аномалии ледовой обстановки) уменьшилась добыча морских млекопитающих [34]. За последние десятилетия на Севере, в частности в Архангельской области, снизилась численность предприятий рыболовства и рыбоводства. Объёмы вылова рыбы также существенно снизились (почти втрое) по сравнению с пиковым периодом 1980-х гг. [66].

Приведённые данные, хотя и не исчерпывающие, свидетельствуют о сокращении доли традиционных

продуктов в рационе жителей северных регионов. Переход на западный тип питания, вследствие изменения соотношения макронутриентов (белков, жиров, углеводов), привёл к снижению потребления витаминов и минеральных веществ. Это снижает адаптационный потенциал организма и биологическую устойчивость человека в условиях Севера [29, 58]. При этом у аборигенов отмечают гиповитаминозы и появление ранее нехарактерных для них болезней, в частности рахита [34].

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СТАТУС КОРЕННЫХ И ПРИШЛЫХ ЖИТЕЛЕЙ СЕВЕРА

Природный дефицит биогенных элементов, усиленный потерей биологически ценного питания, на фоне метаболических нарушений, приводит к возрастанию у коренных жителей Севера дефицита эссенциальных микроэлементов. У современной популяции коренных народов, в частности у аборигенов Северо-Востока России (эвены, коряки, чукчи), исследователи отмечают пониженное содержание эссенциальных элементов (кобальта, магния, хрома, йода, селена) [67]. В некоторых аборигенных группах зафиксировали повышенное содержание ртути и свинца, что может быть связано с преобладанием в рационе рыбы и морепродуктов [68].

Биогеохимические условия северных территорий, относительно благоприятные для коренных жителей, могут вызывать дискомфорт у приезжего населения. Адаптивные перестройки организма мигрантов в условиях Севера протекают с выраженным напряжением функциональных систем и тенденцией к декомпенсации, что приводит к формированию акклиматизационного дефицита элементов и усугубляет природную недостаточность биогенных элементов.

Исследования показывают, что у мигрантов с увеличением времени проживания на арктических территориях развивается функциональное истощение резерва некоторых эссенциальных элементов: кальция, селена, железа, фтора. В этой связи трудовая миграция населения и незавершённая адаптация приезжих к среде обитания [69], в том числе и к геохимическому окружению, способствуют развитию многофакторных заболеваний [70], включая комплексные элементозы.

При планировании биогеохимических исследований в арктических регионах уже априори можно прогнозировать недостаток в биосфере кобальта, селена, железа, йода, кальция, магния и повышенное содержание ртути, свинца, кадмия. Крайние отклонения в концентрации этих элементов вызывают нарушения минерального обмена у растений, животных и человека. Возможные эндемии природного или техногенного генеза могут быть связаны как с дисбалансом отдельных элементов, так и с негативным воздействием на биоту их непредсказуемых комбинаций.

ЙОД, ЕГО БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ. ЙОДНЫЙ СТАТУС НАСЕЛЕНИЯ РОССИИ

При исследовании биогеохимии арктических территорий следует уделить особое внимание йоду. Йод является незаменимым структурным элементом тиреоидных гормонов, синтезируемых щитовидной железой [71]. Это основополагающий элемент жизни: регуляторное действие йодированных гормонов охватывает практически все виды жизненных функций человека — от контроля основного обмена до развития мозга и формирования интеллекта. Недостаток йода приводит к функциональному напряжению щитовидной железы и вызывает комплекс патологических изменений, известных как йододефицитные заболевания: эндемический зоб, гипотиреоз, нарушение физического и умственного развития, снижение иммунитета, репродуктивные дисфункции, преждевременное старение и др. Среди эндокринных нарушений йододефицитные заболевания занимают второе место после сахарного диабета, при этом до 80% случаев связаны с хроническим недостатком йода в рационе.

Нормальный обмен йода требует его поступления в суточной дозе примерно 3 мкг/кг, что составляет не менее 150–250 мкг для взрослого человека. Однако в России фактическое суточное потребление йода составляет 40–80 мкг, что в 2–3 раза меньше рекомендованной нормы. Практически на всей территории страны наблюдают йодный дефицит различной степени тяжести, включая случаи врождённой недостаточности. В некоторых регионах Севера, Сибири и Дальнего Востока (Республика Саха (Якутия), Тыва, Хакасия, некоторые районы Архангельской области) обнаружены очаги тяжёлого йодного дефицита [72, 73].

Мировой опыт показывает, что наиболее эффективным, дешёвым и безопасным методом ликвидации и профилактики йододефицита служит использование йодированной пищевой соли. Благодаря программам йодирования соли многие страны значительно сократили распространённость йодного дефицита [73]. Успешную массовую йодную профилактику проводят в большинстве стран мира, в том числе в США, Канаде, европейских странах. За период 1990–2022 гг. в 126 из 130 стран мира, где существовал дефицит йода, приняли законодательство по йодированию соли. Всемирное сообщество признало эту стратегию «глобальной историей успеха» [72].

Несмотря на успешный международный опыт в России отсутствуют системные мероприятия по борьбе с йододефицитными заболеваниями. Обязательное использование йодированной соли ввели только в 2020 г., и только для учащихся общеобразовательных учреждений (СанПиН 2.4.5.2409–08). Отсутствие законодательной базы о всеобщем йодировании соли объясняет сохранение популяционного йододефицита и рост патологий щитовидной железы среди населения России.

Таким образом, основные причины дефицита йода у жителей арктических регионов России включают природно-социальные факторы: дефицит йода в биосфере, сокращение потребления традиционных продуктов питания (рыбы и морепродуктов, мяса морских млекопитающих). Указанные факторы, усиленные отсутствием должной йодной профилактики, формируют эколого-социальную основу для развития тяжёлых форм йодного дефицита.

При анализе йодных провинций следует учитывать, что не все регионы России испытывают дефицит. Некоторые регионы, напротив, отличаются повышенным содержанием йода в биосфере из-за его высокой концентрации в природных водах. Аккумуляция йода в воде, происходит в районах, где нефте- и газоносные пласты залегают близко к водоносным слоям. Подземные воды таких зон, используемые для водоснабжения и орошения сельскохозяйственных культур, содержат высокие концентрации йода, позволяющие проводить его промышленную добычу.

Согласно данным биогеохимической лаборатории АН СССР [74], граница естественной распространённости йододефицитного зоба в России проходит по реке Вычегда (Республика Коми, Архангельская обл.). Территории к северу от р. Вычегды считают йодообеспеченными. Например, подземные воды Северодвинской впадины на Европейском Севере содержат йод в концентрации 5–30,5 мг/л [75], что позволило разработать на этой территории технологию получения кристаллического йода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Природно-климатические факторы, включая влияние среды обитания с дефицитом минеральных веществ, негативно воздействуют на население арктических регионов. Это приводит к развитию специфических элементов, снижающих адаптивные возможности северных популяций. Для решения проблемы необходимо внедрить медико-экологический контроль за здоровьем жителей арктических регионов и профилактику заболеваний геохимической природы.

Активное освоение северных территорий, разработка арктического шельфа, разведка и добыча полезных ископаемых, а также защита государственных границ усиливает приток людей из других регионов России (военнослужащие, вахтовые рабочие, долгосрочные мигранты). В связи с высокой социально-миграционной активностью необходимо проводить биогеохимические исследования, включая геохимическое районирование арктических регионов (анализ воды, почвы, продуктов питания,

элементного статуса населения). Это позволит выявить регионы с повышенной предрасположенностью к биогеохимическим эндемиям и разработать методы коррекции и профилактики северных элементозов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.Л. Горбачев — сбор и анализ литературы, написание текста. Автор подтверждает 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. Не применимо.

Согласие на публикацию. Не применимо.

Источник финансирования. Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

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

Заявление об оригинальности. При создании настоящей работы автор не использовал 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.L. Gorbachev: collection and analysis of sources, writing—original draft. The author confirms that his authorship meets the ICMJE criteria (the author made a substantial contribution to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: Not applicable.

Consent for publication: Not applicable.

Funding sources: The author declares no external funding was received for the study.

Disclosure of interests: The author has 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. Vernadsky VI. *Biogeochemical essays*. Moscow-Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1940. (In Russ.)
2. Akmayev IG. Neuroimmunoendocrinology, its developmental consideration. *Uspekhi Fiziologicheskikh Nauk*. 2003;34(4):4–15. (In Russ.) EDN: OPKGWR
3. Vinogradov AP. Biogeochemical provinces and endemics. *DAN SSSR*. 1938;18(4/5):283–286. (In Russ.)
4. Ermakov VV. A.P. Vinogradov's concept of biogeochemical provinces and its development. *Geochemistry International*. 2017;55(10):872–886. DOI: 10.7868/S0016752517100041 EDN: ZHNBZX
5. Korobova EM, Baranchukova VS, Kolmykova LI. Theoretical and methodological approaches to the analysis of spatial patterns of distribution of endemic diseases of geochemical nature. *Geohimiā*. 2023;68(10):1073–1086. DOI: 10.31857/S0016752523100060 EDN: NLACVQ
6. Avtsyn AP, Zhavoronkov AA. Microelementoses diseases caused by deficiency, excess and imbalance of microelements in the body of humans and animals. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 1994;(2):53–57. (In Russ.)
7. Shatova OP, Zuikov SA, Zabolotneva AA, et al. Bioelements: role in the development of diseases of civilization. *East European Scientific Journal. Medical Sciences*. 2021;4(11(75)):45–58. DOI: 10.31618/ESSA.2782-1994.2021.4.75.175 EDN: NQTDAN
8. Borisov VV. Role of trace mineral deficiencies in decreased fertility and infertility (Clinical Lecture). *Clinical review for general practice*. 2021;4:64–70. DOI: 10.47407/kr2021.2.4.00062 EDN: ICJWRE
9. Oberlis D, Harland B, Skalny A. *Biological role of macro- and microelements in humans and animals*. St. Petersburg: Nauka, 2008. (In Russ.) ISBN: 978-5-02-025305-6 EDN: QKRRQX
10. Agadzhanian NA, Skalny AV, Detkov VYu. Human elemental portrait: Morbidity, demography and problem of nation health management. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2013;20(11):3–12. DOI: 10.17816/humeco17282 EDN: RKRTQZ
11. Nadtochiy LA, Smirnova SV, Bronnikova EP. The depopulation of indigenous and small-numbered peoples and problem of preserving of ethnic groups of the North-East of Russia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2015;23(3):3–11. DOI: 10.17816/humeco17087 EDN: TMITDX
12. Talykova LV, Megorsky VV, Bykov VR. Mortality trends in indigenous working-age population of the Koryak Okrug and the population of the arctic monotown in 1968–1991. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(9):617–629. DOI: 10.17816/humeco108281 EDN: OVCJYY
13. Mulik AB, Nazarov NO, Ulesikova V, et al. Elemental status and psychological predisposition of the Russian population to deviant behavior *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(6):457–467. DOI: 10.17816/humeco409629 EDN: JBIHHI
14. Bykov VA, Skalny AV. Bioelementology as an integrative direction in life science. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2011;(6):4–8. EDN: PVBUGV
15. Shafran LM. Medical elementology: new direction, new paradigm. *Trace elements in medicine*. 2019;20(4):63–68. EDN: YWOVKH
16. Chereshev VA, Poznyakovskiy VM. The food supply security problem: national and international aspects. *Food industry*. 2016;(1(1)):6–14. EDN: YHWOQL
17. Skalny AV. Evaluation and correction of elemental status of the population as a perspective direction of national healthcare and environmental monitoring. *Trace elements in medicine*. 2018;19(1):5–13. DOI: 10.19112/2413-6174-2018-19-1-5-13 EDN: XODDRR
18. Aftanas LI, Bonitenko EYu, Varenik VI, et al. *Elemental status of the population of Russia*. Skalny AV, Kiselev MF, editors. St. Petersburg: Medkniga "ELBI-SPb", 2010–2014. ISBN: 978-5-91322-017-2 EDN: QKTYJB
19. Gorbachev AL, Efimova AV, Lugovaya EA, Bulban AP. Features of element's status of inhabitants of different natural-geographic territories of the Magadan region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2003;(6):12–16. EDN: HRTKUV
20. Gorbachev AL, Dobrodeeva LK, Tedder YuR, Shatsova EN. Biogeochemical description of northern regions. microelement status of Arkhangelsk region population and prediction of endemic diseases development. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2007;(1):4–11. EDN: HVISFZ
21. Egorova GA. Element status of grown-up population living in different medical-geographic zones of republic Sakha (Yakutia). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2007;(1):55–59. EDN: HVISJL
22. Vinogradova IA, Varganova DV, Lugovaya EA. Hair macro- and microelement assessment in residents of european north depending on gender and age. *Advances in Gerontology*. 2021;34(4):572–580. DOI: 10.34922/AE.2021.34.4.010 EDN: AGOIZC
23. Gorbachev AL, Skalny AV, Lugovaya EA. Some patterns of elemental status of residents of the northern regions of Russia against the background of biogeochemical characteristics of the North. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2008;5A(28):22–25. (In Russ.)
24. Gorbachev AL. The role of the chemical composition of drinking water in the formation of human elemental status. *Trace elements in medicine*. 2006;7(2):11–24. (In Russ.) EDN: NPFTBL
25. Vinogradova IA, Varganova DV, Matveeva YuP, et al. Prevalence of calcium deficiency in the hair in people at different age and sex living in the European North. *Advances in Gerontology*. 2023;36(1):109–114. DOI: 10.34922/AE.2023.36.1.014 EDN: HLEKVV
26. Nikanov AN, Gudkov AB, Popova ON, et al. Blood mineral composition in residents of the arctic region with low water mineralization rates in centralized tap water supply systems. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021;(3):42–47. DOI: 10.33396/1728-0869-2021-3-42-47 EDN: CRGVJU
27. Kirillova AV, Dorshakova NV, Dudanov IP. On the pathogenesis of hypertension and ischemic heart disease with a deficiency of calcium and magnesium intake in the North. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2006;(1):3–8. EDN: HRTCMR
28. Yahyaev MA, Salikhov ShK, Abdulkadyrova SO, et al. Contents of magnesium in the environment and population morbidity rate of arterial hypertension. *Hygiene and Sanitation*. 2019;98(5):494–497. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-5-494-497 EDN: DNTINT
29. Chashchin VP, Gudkov AB, Popova ON, et al. Description of main health risk factors for population living in the territories of active economic exploitation of natural resources in the Arctic. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2014;21(1):3–12. DOI: 10.17816/humeco17269 EDN: RYIEQP
30. Kozyreva TV, Tkachenko EYa. Afferent and efferent links of the thermoregulation system during the organism's adaptation to cold. In: *Essays on ecological physiology*. Trufakin VA, Shoshenko KA, editors. Novosibirsk: SB RAMS; 1999. P.61–72. (In Russ.) EDN: UKXBTL
31. Kodentsova VM, Pogozheva AV, Gromova OA, Shikh EV. Vitamin-mineral supplements in nutrition of adults. *Voprosy Pitania*. 2015;84(6):41–150. EDN: VEAHX
32. Marachev AG, Zhavoronkov AA. Acclimatization iron deficiency. *Fiziologiya cheloveka*. 1987;13(4):640–646. (In Russ.)
33. Nikanov AN, Dorofeev VM, Megorsky VV, Zhirov VK, editors. *Ecological aspects of accumulation of mineral elements in the body of the population living in areas of intensive industrial activity in the European part of the Arctic zone of Russia: monograph*. Apatity: Publishing House of KSC RAS; 2020. (In Russ.) ISBN: 978-5-91137-440-2 DOI: 10.37614/978.5.91137.440.2 EDN: USESQL
34. Bogoslovskaya LS, Slugin IV, Zagrebina IA, Krupnik II. Fundamentals of marine mammal hunting: scientific and methodological manual. Moscow-Anadyr: Institute of Heritage; 2007. (In Russ.) ISBN: 978-5-86443-142-9 EDN: QKZECR
35. Dudarev A, Odland JO. Human health in connection with arctic pollution-results and perspectives of international studies under the

- aegis of AMAP. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2017;(9):3-14. DOI: 10.33396/1728-0869-2017-9-3-14 EDN: ZFVNJL
36. Kovshov AA, Novikova YuA, Fedorov VN, Tikhonova NA. Diseases risk assessment associated with the quality of drinking water in the urban districts of Russian arctic. *Journal of Ural Medical Academic Science*. 2019;16(2):215-222. DOI: 10.22138/2500-0918-2019-16-2-215-222 EDN: QBLRBZ
 37. Zimovec AA. Some features of heavy metals distribution in soils of the north European territory of Russia (on example Arkhangelsk area's soils). *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2010;(1):303-309. EDN: WKXDQZ
 38. Rigét F, Bignert A, Braune B, et al. Temporal trends of persistent organic pollutants in Arctic marine and freshwater biota. *Sci. Total Environ*. 2019;649:99-110. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.268.
 39. Avtsyn AP, Zhavoronkov AA, Marachev AG, Milovanov AP. Human pathology in the North. M, 1985. (In Russ.)
 40. Korchin VI, Korchina TYa, Ternikova EM, et al. Influence of climatic and geographical factors of the Yamalo-Nenets autonomous okrug on the health of its population (Review). *Journal of Medical and Biological Research*. 2021;9(1):77-88. DOI: 10.37482/2687-1491-Z046 EDN: JFHWCN
 41. Khan F, Momtaz S, Abdollahi M. The relationship between mercury exposure and epigenetic alterations regarding human health, risk assessment and diagnostic strategies. *J.Trace Elem. Med. Biol*. 2019;(52):37-47. DOI: 10.1016/j.jtemb.2018.11.006
 42. World Health Organization [Internet]. Mercury and health (Fact sheet No. 361). Geneva: WHO; 2013. Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/en/>
 43. Filimonenko E, Vatutin G, Zhrebtyatyeva N, et al. Wildfire effects on mercury fate in soils of North-Western Siberia. *Sci. Total Environ*. 2024;951:175572. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.175572 EDN: PTGBOD
 44. Nemova NN, Lysenko LA, Meshcheryakova OV, Komov VT. Mercury in fish: biochemical indication. «*Biosphera*». 2014;6(2):176-186. (In Russ.) DOI: 10.24855/biosfera.v6i2.215 EDN: SHJZCX
 45. Sheehan MC, Burke TA, Navas-Acien A, et al. Global methylmercury exposure from seafood consumption and risk of developmental neurotoxicity: a systematic review. *Bull. W.H.O.* 2014;92(4):254-269F. DOI: 10.2471/BLT.12.116152 EDN: WOPURB
 46. Bechshoft T, Derocher AE, Richardson E, et al. Mercury and cortisol in Western Hudson Bay polar bear hair. *Ecotoxicology*. 2015;24(6):1315-1321. DOI: 10.1007/s10646-015-1506-9 EDN: BZXFZN
 47. Björklund G, Chirimbolo S, Dadar M, et al. Mercury exposure and its effects on fertility and pregnancy outcome. *Basic Clin. Pharmacol. Toxicol*. 2019;125(4):317-327. DOI: 10.1111/bcpt.13264 EDN: JEXIJQ
 48. Korchina TYa. Correlation between concentration Hg, Pb and Cd in adult native inhabitant' hair of Khanty-Mansiisk autonomous region and concentration the same chemical elements in native products. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2008;(4):62-69. EDN: JUCKAN
 49. Koutsenogii KP, Savchenko TI, Chankina OV, et al. Elemental composition of blood and hair of the native inhabitants of the North of Russia with different biogeochemical environments. *Chemistry for Sustainable Development*. 2010;18(1):51-61. EDN: KZSKWT
 50. Gorbachev AL. Mercury as a most important environmental pollutant: the body levels of mercury and other toxic chemical elements in indigenous residents of North-East Russia. *Trace elements in medicine*. 2016;17(2):3-9. DOI: 10.19112/2413-6174-2016-17-2-3-9 EDN: WBERVT
 51. Rusetskaya NYu, Borodulin VB. Biological activity of organoselenium compounds in heavy metal intoxication. *Biochem. Moscow Suppl. Ser. B*. 2015;(1):45-57. DOI: 10.1134/S1990750815010072 EDN: SEWZQR
 52. Spiller H.A. Rethinking mercury: the role of selenium in the pathophysiology of mercury toxicity. *Clin. Toxicol*. 2017;56(5):313-326. DOI: 10.1080/15563650.2017.1400555
 53. Dietz R, Mosbech A, Flora J, Eulaers I. Interactions of climate, socio-economics, and global mercury pollution in the North Water. *Ambio*. 2018;47(2):281-295. DOI: 10.1007/s13280-018-1033-z EDN: DTQVZX
 54. Zorina DYU, Batsevich VA. The trace element status of indigenous population of arctic regions (the Chukchi and Eskimos) based on analysis of hair. *Lomonosov Journal of Anthropology*. 2011;(4):105-111. EDN: OKKHKK
 55. Gorbachev AL, Lygovaya EA. Features of the elemental status of children with autism spectrum disorder. *Trace elements in medicine*. 2019;20(3):20-30. DOI: 10.19112/2413-6174-2019-20-3-20-30 EDN: GYOMVI
 56. Gudkov AB, Popova ON, Lukmanova NB. Ecological-physiological characteristic of northern climatic factors. Literature review. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2012;(1):12-17. DOI: 10.17816/humeco17513 EDN: OSKLJR
 57. Khasnulin VI. *Introduction to polar medicine*. Novosibirsk: SB RAMS, 1998. (In Russ.) ISBN: 5-900107-10-8 EDN: RWXGVZ
 58. Kozlov AI, Kozlova MA, Vershubskaya GG, Shilov AB. *Health of the indigenous population of the Russian North: on the edge of centuries and cultures: monograph*. Belavin AM, editor. Perm: OT i DO, 2013. (In Russ.) ISBN: 978-5-4357-0052-6 EDN: RZYUZX
 59. Tchantchaeva EA. To the issue of the adequacy of nutrition of Siberian aboriginal population. Literature review. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2010;(3):31-34. EDN: KZVBCF
 60. Istomin AV, Fedina IN, Shkurikhina SV, Kutakova NS. Nutrition and the north: hygienic problems of the Arctic zone of Russia (Literature review). *Hygiene and Sanitation*. 2018;97(6):557-563. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-6-557-563 EDN: XLSPZ
 61. Nikiforova NA, Karapetyan TA, Dorshakova NV. Feeding habits of the Northerners (Literature Review). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2018;25(11):20-25. DOI: 10.33396/1728-0869-2018-11-20-25 EDN: YNWBUL
 62. Nikitin YP, Khasnulin VI, Gudkov AB. Performance academy polar medicine and extreme human ecology for 1995-2015: modern problems of northern medicine and efforts of scientists to address them. *Medsina Kyrgyzstana*. 2015;1(2):8-14. (In Russ.) EDN: XIFABR
 63. Kucher AN. Gene-environment interactions as the basis of health formation. *Ecological genetics*. 2017;15(4):19-32. DOI: 10.17816/ecogen15419-32 EDN: VHGUND
 64. Andronov SV, Lobanov AA, Bichkaeva FA, et al. Traditional nutrition and demography in the arctic zone of Western Siberia. *Voprosy Pitaniia*. 2020;89(5):69-79. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10067 EDN: ULIZLT
 65. Sobolev N, Aksenov A, Sorokina T, et al. Iodine and bromine in fish consumed by indigenous peoples of the Russian Arctic. *Sci. Rep*. 2020; 25;10(1):5451. DOI: 10.1038/s41598-020-62242-1 EDN: MHPDDB
 66. Chizhova LA, Khadyko AI. Development of aquaculture in the Northern and arctic territories: problems and solutions (on the example of the Arkhangelsk oblast). *Arktika i Sever [Arctic and North]* 2023;(53):135-154. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2023.53.135 EDN: HJQPUV
 67. Gorbachev AL, Lugovaya EA. Trace element profile typical for aboriginal residents of Russia's Northeast. *The Bulletin of the North-East Scientific Center*. 2015;(1):86-94. EDN: TQQNRD
 68. Pokhilyuk NV, Gorbachev AL. Ethnic aspects of toxic elements in the Russian Northeast. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(1):58-66. DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-1-58-66 EDN: QJPESJ
 69. Krivoshechekov SG, Okhotnikov SV. *Industrial migrations and human health in the North*. Novosibirsk: SB RAMS, 2000. (In Russ.) EDN: RFCYXN
 70. Sevostyanova YeV. Some features of human lipid and carbohydrate metabolism in the North (Literature Review). *Bulletin of Siberian Medicine*. 2013;12(1):93-100. DOI: 10.20538/1682-0363-2013-1- EDN: QABARP
 71. Stroeve Yul, Churilov LP. The heaviest element of life (On the 200th anniversary of the discovery of iodine). «*Biosphera*». 2012;4(3):313-342. (In Russ.) EDN: PCXGNZ
 72. Troshina EA. Elimination of iodine deficiency is a concern for the health of the nation. An excursion into the history, scientific aspects and the

current state of the legal regulation of the problem in Russia. *Problems of Endocrinology*. 2022;68(4):4-12. DOI: 10.14341/probl13154 EDN: GAKKBM

73. Guidance on the monitoring of salt iodization programmes and determination of population iodine status: Russian language version. *Clinical and experimental thyroidology*. 2018;14(2):100-112. DOI: 10.14341/ket9734 EDN: XWQWUH

74. Kovalski VV. *Geochemical ecology of endemic goiter*. Geochemical ecology. Moscow: Nauka, 1974. 214-229. (In Russ.)

75. Malov AI, editor. *Research and utilization of groundwater in the European North*. Proceedings of the International Conference "Ecology of the Northern Territories of Russia: Problems, Forecasts, Situations, Development Paths, Solutions; 2002 June 17-22; Arkhangelsk, Russia. Arkhangelsk: Institute of Environmental Problems of the North; 2002. (In Russ.) ISBN: 5-85879-017-8 EDN: YRCKEC

ОБ АВТОРЕ

* Горбачев Анатолий Леонидович, д-р. биол. наук;
адрес: Россия, 163020, г. Архангельск, Никольский пр-т, 20;
ORCID: 0000-0002-2432-3408;
eLibrary SPIN: 7050-3412;
e-mail: gor000@mail.ru

AUTHOR'S INFO

* Anatoly L. Gorbachev, Dr. Sci. (Biology);
address: 20 Nikolsky ave, Arkhangelsk, Russia, 163020;
ORCID: 0000-0002-2432-3408;
eLibrary SPIN: 7050-3412;
e-mail: gor000@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Половые особенности вариабельности сердечного ритма у лыжников-гонщиков

А.Л. Марков

Федеральный исследовательский центр "Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук", г. Сыктывкар, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Вариабельность сердечного ритма у спортсменов имеет половые особенности.

Цель — изучение половых особенностей вариабельности сердечного ритма (ВСР) у лыжников-гонщиков.

Методы. В общеподготовительный тренировочный период обследовано 289 мужчин и 113 женщин 18–32 лет из сборных команд Республики Коми по лыжным гонкам, имеющих спортивный разряд не ниже первого. Запись электрокардиограммы (ЭКГ) в течение 5 мин в положении лёжа и анализ ВСР проведены с помощью аппаратно-программного комплекса «Экосан-2007» («Медицинские компьютерные системы», Россия). Статистическую значимость различий между группами оценивали с помощью критерия Манна–Уитни.

Результаты. У спортсменов обоего пола выявлены значимые различия по ряду показателей ВСР. У мужчин отмечены более высокие значения моды (Mo) ($p < 0,001$), среднего значения длительности кардиоинтервалов ($p < 0,001$), максимальное (Max) ($p < 0,001$) и минимальное (Min) ($p < 0,001$) значения кардиоинтервалов, относительной (%) мощности высокочастотного спектра (HF) ($p = 0,023$) по сравнению с женщинами. У женщин выше значения частоты сердечных сокращений (ЧСС) ($p = 0,001$), отношение Max/Min значений кардиоинтервалов (MxRMn) ($p = 0,02$), симпато-вагальный индекс (LF/HF) ($p = 0,038$) и индекс централизации (IC) ($p = 0,022$).

Заключение. У лыжников-гонщиков установлены половые особенности вегетативной регуляции ритма сердца. У мужчин по сравнению с женщинами наблюдается более экономный механизм вегетативной регуляции ритма сердца и большее смещение вегетативного баланса в сторону парасимпатического звена нервной системы.

Ключевые слова: лыжники; вариабельность сердечного ритма; пол; сердечно-сосудистая система.

Как цитировать:

Марков А.Л. Половые особенности вариабельности сердечного ритма у лыжников-гонщиков // Экология человека. 2025. Т. 32, № 4. С. 239–245.
DOI: 10.17816/humeco679700 EDN: OPRDXC

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco679700>

EDN: OPRDXC

Sex-Related Differences in Heart Rate Variability in Cross-Country Skiers

Alexander L. Markov

Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Heart rate variability in athletes exhibits sex-related differences.

AIM: The work aimed to study sex-related characteristics of heart rate variability in cross-country skiers.

METHODS: During the general preparatory training period, 289 male and 113 female athletes aged 18–32 years from the Republic of Komi national cross-country skiing teams with sports qualification of at least first category were assessed. A 5-minute electrocardiogram (ECG) recording was obtained in the supine position, and heart rate variability was analyzed using the Ecosan-2007 hardware-software system (Medical Computer Systems, Russia). Statistical significance of intergroup differences was evaluated using the Mann–Whitney U test.

RESULTS: Significant differences in several heart rate variability parameters were found in athletes of both sexes. Compared with women, men exhibited higher values of mode (Mo) ($p < 0.001$), mean RR interval ($p < 0.001$), maximum (Max) ($p < 0.001$) and minimum (Min) ($p < 0.001$) RR intervals, and the relative (%) power of the high-frequency spectrum ($p = 0.023$). Women showed higher heart rate ($p < 0.001$), the Max/Min RR ratio (MxRMn) ($p = 0.02$), low-frequency to high-frequency ratio ($p = 0.038$), and index of centralization ($p = 0.022$).

CONCLUSION: Cross-country skiers demonstrate sex-specific features of autonomic heart rate regulation. Compared with female athletes, male exhibit a more economical mechanism of autonomic regulation of heart rhythm and a more pronounced shift in autonomic balance toward the parasympathetic nervous system.

Keywords: cross-country skiing; heart rate variability; sex; cardiovascular system.

To cite this article:

Markov AL. Sex-related differences in heart rate variability in cross-country skiers. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(4):239–245.

DOI: 10.17816/humeco679700 EDN: OPRDXC

Received: 15.05.2025

Accepted: 18.06.2025

Published online: 08.07.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco679700>

EDN: OPRDXC

越野滑雪运动员心率变异性的性别特征

Alexander L. Markov

Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

摘要

论证。运动员的心率变异性具有性别特征。

目的：研究越野滑雪运动员心率变异性 (heart rate variability, HRV) 的性别特征。

方法。在一般准备期对 Republic of Komi 越野滑雪代表队的289名男性与113名女性运动员进行检查，年龄18 - 32岁，运动等级均为一级及以上。在仰卧静息状态下记录5分钟心电图 (ECG)，并利用 “Ecosan-2007” 硬件-软件系统 (Medical Computer Systems, 俄罗斯) 分析HRV指标。采用 Mann-Whitney U检验评估组间差异的统计学显著性。

结果。男女运动员在多项HRV指标上存在显著差异。男性的模值 (Mo) ($p < 0.001$)、心动周期平均时程 ($p < 0.001$)、最大 (Max) ($p < 0.001$) 与最小 (Min) ($p < 0.001$) 心动周期、高频功率百分比 (HF, %) ($p = 0.023$) 均高于女性。女性的心率 (HR) ($p < 0.001$)、最大/最小心动周期比值 (MxRMn) ($p = 0.02$)、交感-副交感指数 (LF/HF) ($p = 0.038$) 和中心化指数 (IC) ($p = 0.022$) 数值较高。

结论。越野滑雪运动员的心率自主神经调节表现出性别特征。与女性相比，男性运动员表现出更为节能的植物神经性心律调节机制，其植物神经平衡更偏向于副交感神经系统。

关键词：越野滑雪运动员；心率变异性；性别；心血管系统。

引用本文：

Markov AL. 越野滑雪运动员心率变异性的性别特征. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(4):239–245. DOI: 10.17816/humeco679700
EDN: OPRDXC

收到: 15.05.2025

接受: 18.06.2025

发布日期: 08.07.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Сердечно-сосудистая система участвует в процессах адаптации организма к условиям жизнедеятельности и является одним из важнейших индикаторов функционального состояния организма. Известно, что данная система активно подвергается существенному влиянию вегетативной нервной системы. Анализ variability сердечного ритма (ВСР) — популярный неинвазивный метод оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека и животных, в частности общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы. Текущая активность симпатического и парасимпатического отделов является результатом реакции многоконтурной и многоуровневой системы регуляции кровообращения, изменяющей во времени свои параметры для достижения оптимального приспособительного ответа, который отражает адаптационную реакцию целостного организма [1]. ВСР зависит от ряда факторов: возраста [2], частоты дыхания [3] и др. Многие авторы также выявили различия ВСР в зависимости от пола [4, 5]. Тем не менее, вопрос влияния половой принадлежности остаётся всё ещё открытым и дискуссионным. Также актуальным является изучение половых особенностей ВСР у различных групп населения, в том числе спортсменов.

Цель

Цель исследования — изучить особенности variability сердечного ритма у лыжников-гонщиков обоего пола.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено поперечное выборочное неконтролируемое одноцентровое исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения: возраст 18–32 лет; наличие спортивного разряда не ниже первого; отсутствие острых и хронических заболеваний на момент и за две недели до обследования; стресс-индекс менее 150 усл. ед.

Методы регистрации исходов

Регистрация ЭКГ и анализ ВСР проведены с помощью аппаратно-программного комплекса «Экосан-2007» («Медицинские компьютерные системы», г. Зеленоград).

Описание медицинского вмешательства

В начале исследования спортсмены проходили период адаптации к окружающим условиям помещения в течение

5–10 мин, затем в течение 5 мин в положении лёжа им регистрировали ЭКГ в одном из стандартных отведений.

Анализ ВСР проводили в соответствии с рекомендациями группы Российских экспертов [6]. Определяли частоту сердечных сокращений (ЧСС) и ряд временных и геометрических показателей ВСР: среднее значение длительности кардиоинтервалов, максимальное (Max) и минимальное (Min) значения кардиоинтервалов, разность Max–Min (MxDMn), отношение Max/Min (MxRMn), моду (Mo), амплитуду моды при ширине класса 50 мс (AMo50), квадратный корень суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов (RMSSD), число пар кардиоинтервалов с разностью более 50 мс, в % к общему числу кардиоинтервалов в массиве (pNN50), стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов (SDNN), стресс-индекс (SI). Спектральный анализ ВСР включал такие параметры, как суммарная мощность спектра (TP), абсолютная (мс²) и относительная (%) мощность спектра высокочастотного (0,150–0,4 Гц) (HF), низкочастотного (0,040–0,15 Гц) (LF), очень низкочастотного (0,003–0,04 Гц) (VLF) компонентов ВСР, симпато-вагальный индекс (LF/HF), характеризующий отношение низкочастотной к высокочастотной составляющей спектра, и индекс централизации (IC).

Этическая экспертиза. Протокол исследования одобрен локальным комитетом по биоэтике при Институте физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (без номера, от 09.02.2012). Все спортсмены добровольно подписали форму информированного согласия на участие в исследовании до включения в исследование.

Статистический анализ

Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью программы Statistica 8.0 (Stat Soft, Inc, США). Размер выборки предварительно не рассчитывали. Проверку выборки на нормальность распределения проводили с помощью критерия Шапиро–Уилка. Вследствие асимметричного распределения ряда параметров ВСР результаты анализа ВСР представлены в виде медианы (Me) и 25-го и 75-го перцентилей. Статистическую значимость различий между группами оценивали с помощью критерия Манна–Уитни. Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Участники исследования

В общеподготовительный тренировочный период (май–июль 2012–2022 гг.) обследовано 289 мужчин и 113 женщин из сборных команд Республики Коми по лыжным гонкам.

Основные результаты исследования

В табл. 1 представлены данные параметров ВСР у лыжников обоего пола. Выявлены существенные различия между группами по ряду показателей. У мужчин

Таблица 1. Параметры вариабельности сердечного ритма у спортсменов обоего пола, Ме (25%–75%)**Table 1.** Heart rate variability parameters in athletes of both sexes, Me (25%–75%)

Параметры	Мужчины n=289	Женщины n=113	Z	p
Возраст, лет	20,00 (19,00–25,00)	21,00 (19,00–26,00)	1,122	0,262
Частота сердечных сокращений, в минуту	56,00 (50,00–60,25)	59,00 (53,00–68,00)	4,370	0,001
Среднее значение длительности интервалов, мс	1073,00 (991,50–1189,50)	1010,00 (882,00–1132,00)	–4,425	0,001
Максимальное значение кардиоинтервалов, мс	1306,50 (1190,75–1397,50)	1246,00 (1123,00–1313,00)	–3,363	0,001
Минимальное значение кардиоинтервалов, мс	865,50 (797,50–951,50)	798,00 (736,75–856,00)	–4,843	<0,001
Разность Max–Min (MxDMn), мс	411,50 (356,75–475,50)	409,00 (363,00–476,00)	–0,110	0,913
Отношение Max/Min (MxRMn)	1,48 (1,37–1,55)	1,51 (1,46–1,58)	2,319	0,020
RMSSD ¹ , мс	71,50 (54,75–84,00)	62,00 (51,00–104,00)	–1,054	0,292
pNN50 ² , %	48,00 (31,68–58,20)	38,30 (32,40–62,28)	–1,058	0,290
SDNN ³ , мс	66,53 (59,66–84,37)	66,63 (55,13–89,11)	–0,126	0,899
Мода (Mo), мс	1076,00 (976,75–1224,25)	1025,00 (874,00–1176,00)	–3,731	0,001
Амплитуда моды (AMo50), %	29,40 (25,98–34,28)	31,70 (23,00–39,50)	0,813	0,416
Стресс-индекс (SI), усл.ед.	32,00 (24,00–46,75)	36,00 (23,00–56,00)	0,860	0,390
Суммарная мощность спектра (TP), мс ²	3789,77 (2926,34–5462,30)	3379,13 (2372,85–7217,44)	–0,582	0,561
HF ⁴ , мс ²	1515,47 (982,50–2297,41)	1402,66 (823,64–2414,92)	–1,121	0,262
LF ⁵ , мс ²	1109,96 (759,23–1798,59)	1167,37 (532,57–1902,17)	0,405	0,686
VLF ⁶ , мс ²	458,42 (316,95–701,07)	485,33 (242,62–930,94)	0,455	0,649
HF ⁷ , %	48,15 (36,73–57,45)	41,70 (30,60–56,93)	–2,280	0,023
LF ⁸ , %	35,40 (26,15–44,60)	37,80 (29,95–49,10)	1,606	0,108
VLF ⁹ , %	15,05 (9,95–20,98)	14,60 (10,48–21,80)	1,045	0,296
LF/HF ¹⁰ , усл. ед.	0,72 (0,47–1,26)	0,95 (0,55–1,66)	2,078	0,038
IC ¹¹ , усл.ед.	1,08 (0,74–1,72)	1,40 (0,75–2,27)	2,293	0,022

Примечание: ¹ квадратный корень суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов; ² число пар кардиоинтервалов с разностью более 50 мс, в % к общему числу кардиоинтервалов в массиве; ³ стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов; ⁴ абсолютная мощность в диапазоне высоких частот; ⁵ абсолютная мощность в диапазоне низких частот; ⁶ абсолютная мощность в диапазоне очень низких частот; ⁷ относительная мощность в диапазоне высоких частот; ⁸ относительная мощность в диапазоне низких частот; ⁹ относительная мощность в диапазоне очень низких частот; ¹⁰ симпато-вагальный индекс; ¹¹ индекс централизации.

по сравнению с женщинами статистически значимо ниже ЧСС, среднее значение длительности кардиоинтервалов, MxRMn, а значения кардиоинтервалов Max и Min, а также мода выше. Спектральный анализ BCP показал значимые различия по относительной мощности спектра HF и индексам LF/HF и IC.

ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на большое количество исследований, посвящённых изучению половых особенностей BCP, до настоящего времени нет чёткой общепризнанной позиции, отражающей факт наличия или отсутствия половых различий. В большей части работ, посвящённых изучению данной проблематики, выявлены половые особенности BCP как при использовании холтеровского мониторирования

ЭКГ [7–9], так и классических 5-минутных записей ЭКГ [10–11]. Так, Fürholz M, et al. [7] показали, что при холтеровском мониторировании ЭКГ у мужчин показатели LFms² и LFnu выше, чем у женщин, но при этом параметры SDNN, RMSSD, TP, HFms² не различались между группами. При обследовании 1287 жителей Бразилии выявлено, что временные показатели BCP (SDNN, SDANN и pNN50) имели более высокие значения у мужчин по сравнению с женщинами практически во всех возрастных группах [8]. Sammito S, Böckelmann I [9] установили, что у мужчин выше SDNN, RMSSD, pNN50, SDANN, LFn.u, LF/HF и ниже HFu.u, чем у женщин. При анализе 5-минутных записей ЭКГ Hnatkova K, et al. [10] выявили, что в положении лёжа у женщин средняя ЧСС была примерно на 5 ударов в минуту быстрее и HF на 7% выше, чем у мужчин. Схожие данные показаны Zhang J [11]: среднее

значение длительности интервалов RR, LF norm, LF/HF у мужчин значимо выше, чем у женщин, тогда как ЧСС, абсолютное значение HF и HF norm были ниже. Не выявлено значимых различий по TP, абсолютным значениям LF и VLF. Kiss O, et al. [12] в ходе холтеровского мониторинга ЭКГ не выявили корреляций с половыми различиями ни по одному параметру BCP. Схожие данные показаны у лыжников [13]. Таким образом, исходя из данных литературы, следует, что у мужчин выше временные параметры BCP и мощность LF, LF/HF и ниже мощность HF.

У обследованных лыжников отмечено смещение вегетативного баланса в сторону парасимпатического звена вегетативной нервной системы. Известно, что тренировки на выносливость повышают активность блуждающего нерва у спортсменов [14]. ЧСС как конечный продукт многофакторного влияния на ритм сердца был значимо ниже у мужчин, чем у женщин. Аналогичные различия были установлены как у обычных лиц, так и у спортсменов. В ходе обследования 92 457 человек показано, что у 95% мужчин ЧСС в покое варьировала от 50 до 80 уд/мин, у женщин — от 53 до 82 уд/мин [15]. Во всех возрастных группах ЧСС было значимо выше у женщин.

Выявленные нами различия по ряду параметров BCP, связанные с половой принадлежностью, согласуются с данными литературы. Однако у обследованных мужчин лыжников-гонщиков значимо выше относительная мощность HF-волны, при этом абсолютные значения существенно не различались. Известно, что у мужчин имеется связь двигательной активности с BCP: с увеличением уровня активности повышаются показатели SDNN, HF, LF и снижается ЧСС, при этом у женщин такой зависимости не выявлено [16]. Кроме того, у лыжниц и биатлонисток в период предсезонных тренировок отмечен более высокий уровень стресса, чем у мужчин [17]. Таким образом, у лыжников по сравнению с лыжницами в общеподготовительный тренировочный период наблюдается большее смещение вегетативного баланса в сторону парасимпатического звена нервной системы.

В мировой литературе достаточно часто можно видеть, что обследуемая группа лиц состоит из представителей разного пола, однако, как показывает данное и другие исследования, это ошибочная практика и необходимо дифференцировать группы по полу.

Ограничения исследования. Ограничением работы можно считать отсутствие учёта фазы менструального цикла у женщин, а также отсутствие предварительного расчёта размера выборки, что не позволяет безоговорочно экстраполировать результаты исследования на генеральную совокупность соответствующих пациентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У лыжников-гонщиков обоего пола выявлен ряд особенностей в вегетативной регуляции ритма сердца. У мужчин отмечены более высокие значения моды

($p < 0,001$), среднего значения длительности кардиоинтервалов ($p < 0,001$), Max ($p < 0,001$) и Min ($p < 0,001$) значения кардиоинтервалов, относительной мощности спектра HF ($p = 0,023$) по сравнению с женщинами. У женщин выше значения ЧСС ($p < 0,001$), MxRMn ($p = 0,02$), LF/HF ($p = 0,038$) и IC ($p = 0,022$) индексов. Таким образом, у мужчин по сравнению с женщинами наблюдается более экономный механизм вегетативной регуляции ритма сердца и большее смещение вегетативного баланса в сторону парасимпатического звена нервной системы.

При анализе вариабельности сердечного ритма необходимо обязательно учитывать фактор «пол» для интерпретации полученных результатов.

Полученные данные позволяют расширить представления об особенностях вариабельности сердечного ритма у спортсменов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.Л. Марков — проведение исследования, работа с данными, написание черновика, пересмотр и редактирование рукописи. Автор одобрил рукопись (версию для публикации), а также согласился нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой ее части.

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным комитетом по биоэтике при Институте физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (протокол без номера от 09.02.2012). Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источник финансирования. Исследование проведено в рамках темы НИР ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН FUUU-2022-0063 (регистрационный номер 1021051201877-3).

Раскрытие интересов. Автор заявляет 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 автор не использовал ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Все данные, полученные в настоящем исследовании, доступны в статье и в приложении к ней.

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.L. Markov: investigation, data curation, writing—original draft, writing—review & editing. The author approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: The study was approved by the Local Bioethics Committee of the Institute of Physiology, Komi Science Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (unnumbered protocol dated February 9, 2012). Written informed consent was obtained from all participants prior to inclusion in the study.

Funding sources: The study was conducted as part of the research project of the Institute of Physiology, Federal Research Center Komi Science Center,

Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, topic FUUU-2022-0063 (Registration No. 1021051201877-3).

Disclosure of interests: The author has 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: All data generated during this study are available in the article and its supplementary material.

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. Baevsky RM, Berseneva AP. *Introduction to Prenosological Diagnostics*. Moscow: Slovo; 2008. 220 p. (in Russ.)
2. Dadashova GM. Gender- and age-related characteristics of heart rate variability in apparently healthy individuals. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2015;18 (2-1):54-58. DOI: 10.17116/profmed201518254-58 EDN: UGZGUH
3. Kushkova NE, Spitsin AP, Negodyaeva NL. Effect of intended frequency respiration on heart rate variability in subjects with different initial vegetative status. *Perm medical journal*. 2007;24(4):80-85. EDN: MSUWBL
4. Koenig J, Thayer JF. Sex differences in healthy human heart rate variability: A meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev*. 2016;64:288-310. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2016.03.007 EDN: WPDPGD
5. Williams DP, Joseph N, Gerardo GM, et al. Gender differences in cardiac chronotropic control: implications for heart rate variability research. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2022;47(1):65-75. DOI: 10.1007/s10484-021-09528-w EDN: LXLSFM
6. Baevsky RM, Ivanov GG, Gavrilushkin AP, et al. Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems (part 1). *Journal of Arrhythmology*. 2002;(24):65-86. (in Russ.) EDN: HSPLXF
7. Fürholz M, Radtke T, Roten L, et al. Training-related modulations of the autonomic nervous system in endurance athletes: is female gender cardioprotective? *Eur J Appl Physiol*. 2013;113(3):631-640. DOI: 10.1007/s00421-012-2474-x EDN: GJTXWJ
8. Geovanini GR, Vasques ER, de Oliveira Alvim R, et al. Age and Sex Differences in Heart Rate Variability and Vagal Specific Patterns — Baependi Heart Study. *Glob Heart*. 2020;15(1):P.71. DOI: 10.5334/gh.873 EDN: JIWINU
9. Sammito S, Böckelmann I. Reference Values for Time- and Frequency-Domain Heart Rate Variability Measures. *Heart Rhythm*. 2016;13(6):1309-1316. DOI: 10.1016/j.hrthm.2016.02.006 EDN: YZUWXZ
10. Hnatkova K, Šišáková M, Smetana P, et al. Sex Differences in Heart Rate Responses to Postural Provocations. *Int J Cardiol*. 2019;297:126-134. DOI: 10.1016/j.ijcard.2019.09.044
11. Zhang J. Effect of Age and Sex on Heart Rate Variability in Healthy Subjects. *J Manipulative Physiol Ther*. 2007;30(5):374-379. DOI: 10.1016/j.jmpt.2007.04.001
12. Kiss O, Sydó N, Vargha P, et al. Detailed Heart Rate Variability Analysis in Athletes. *Clin Auton Res*. 2016;26(4):245-252. DOI: 10.1007/s10286-016-0360-z EDN: WPBFXA
13. Schäfer D, Gjerdalen GF, Solberg EE, et al. Sex Differences in Heart Rate Variability: a Longitudinal Study in International Elite Cross-Country Skiers. *Eur J Appl Physiol*. 2015;115(10):2107-2114. DOI: 10.1007/s00421-015-3190-0 EDN: UZZHJN
14. Carter JB, Banister EW, Blaber AP. The Effect of Age and Gender on Heart Rate Variability after Endurance Training. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(8):1333-1340. DOI: 10.1249/01.MSS.0000079046.01763.8F
15. Quer G, Gouda P, Galarnyk M, et al. Inter- and Intraindividual Variability in Daily Resting Heart Rate and Its Associations with Age, Sex, Sleep, BMI, and Time of Year: Retrospective, Longitudinal Cohort Study of 92,457 Adults. *PLoS one*. 2020;15(2):e0227709. DOI: 10.1371/journal.pone.0227709 EDN: OFESFK
16. Rennie KL, Hemingway H, Kumari M, et al. Effects of moderate and vigorous physical activity on heart rate variability in a British study of civil servants. *Am J Epidemiol*. 2003;158(2):135-143. DOI: 10.1093/aje/kwg120 EDN: IKNJIL
17. Mishica C, Kyröläinen H, Taskinen S, et al. Associations between Objective Measures of Performance-Related Characteristics and Perceived Stress in Young Cross-Country Skiers during Pre-Season Training. *J Sports Sci*. 2025;43(2):135-144. DOI: 10.1080/02640414.2024.2304499

ОБ АВТОРЕ

***Марков Александр Леонидович**, канд. биол. наук;
адрес: Россия, 167982, Республика Коми,
Сыктывкар, ул. Первомайская, 50;
ORCID: 0000-0002-3987-5686;
eLibrary SPIN: 3705-2140;
e-mail: volkarb@mail.ru

AUTHOR'S INFO

***Alexander L. Markov**, Cand. Sci. (Biology);
address: 50 Pervomajskaja st, Syktyvkar, Respublika Komi, Russia,
167982;
ORCID: 0000-0002-3987-5686;
eLibrary SPIN: 3705-2140;
e-mail: volkarb@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Age-Related Characteristics of Functional Development of the Circulatory System in Schoolchildren From Indigenous Minorities of the Russian Northeast: a Cross-Sectional Study

Alesya N. Loskutova

"Arctic" Research Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Changes in cardiovascular functioning are among the key criteria for assessing the adaptive potential of the human body and general health status.

AIM: To examine age-related changes in functional parameters of the cardiovascular system (CVS) in schoolchildren belonging to the indigenous minorities of the Russian Northeast.

METHODS: Between 2021 and 2023, key cardiovascular parameters were analyzed in 174 girls and 196 boys belonging to the Indigenous Minorities of the North (Even, Koryak, and Itelmen), who accounted for 62.5% of the total sample (592 individuals). Participants were seated at rest, and blood pressure and heart rate were measured three times using the Nissei DS-1862 automatic blood pressure monitor (Japan). The following parameters were calculated using conventional methods: stroke volume, cardiac output, total peripheral vascular resistance, Kerdo autonomic index, cardiac index, type of circulatory self-regulation, and functional change index.

RESULTS: The most intensive functional development of the circulatory system in boys was observed between the ages of 13 and 16 years, whereas girls characterized by earlier changes beginning at 10–11 years, continuing into adolescence. Throughout the age-related changes of all examined parameters, no stable trend toward a decrease in heart rate was identified. A high prevalence of tachycardia and increased sympathetic activity of the autonomic nervous system was observed in adolescents. Boys aged 14–15 years had higher stroke volume compared with the girls, and those aged 16–17 years showed higher systolic and pulse pressure. The girls demonstrated higher mean diastolic blood pressure at the age of 14–15 years and greater total peripheral resistance at the age of 14 years. Regardless of sex, the cardiac type of circulatory self-regulation predominated. A hyperkinetic circulation type prevailed across age groups, except in 17-year-old boys, who demonstrated a eukinetic circulation type.

CONCLUSION: Age-related changes in the functional development of the circulatory system in schoolchildren belonging to the indigenous populations occur against a background of satisfactory adaptation, though with evidence of regulatory strain during transient exposure to environmental factors.

Keywords: schoolchildren; indigenous minorities of the North; functional cardiovascular parameters; Russian Northeast.

To cite this article:

Loskutova AN. Age-related characteristics of functional development of the circulatory system in schoolchildren from indigenous minorities of the Russian Northeast: a cross-sectional study. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(4):246–256. DOI: 10.17816/humeco678605 EDN: JMUCAG

Возрастные особенности функционального развития системы кровообращения у школьников — представителей коренных малочисленных народов Северо-Востока России: одномоментное исследование

А.Н. Лоскутова

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

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Изменения в работе сердечно-сосудистой системы служат одним из основных критериев оценки адаптивных возможностей организма и состояния здоровья человека.

Цель исследования. Изучить возрастные изменения функциональных показателей сердечно-сосудистой системы (ССС) у школьников из числа коренных малочисленных народов Севера-Востока России.

Методы. В 2021–2023 гг. проанализировали основные показатели сердечно-сосудистой системы 174 девочек и 196 мальчиков из числа коренных малочисленных народов Севера (эвены, коряки, ительмены) — 62,5% всех обследованных (592 человека). В состоянии покоя в положении сидя трехкратно регистрировали артериальное давление и частоту сердечных сокращений автоматическим тонометром «Nissei DS-1862» (Япония). По общепринятым методикам рассчитывали следующие показатели: минутный и ударный объем крови, общее периферическое сопротивление сосудов, вегетативный индекс Кердо, сердечный индекс, тип саморегуляции кровообращения, индекс функциональных изменений.

Результаты. Наиболее высокие темпы функционального развития системы кровообращения у мальчиков наблюдают в возрасте 13–16 лет, тогда как для девочек характерны более ранние изменения — в 10–11 лет с продолжением до юношеского возраста. В возрастной динамике на фоне изменений всех рассматриваемых показателей отсутствует устойчивая тенденция к снижению частоты сердечных сокращений. В подростковом возрасте выявлена высокая доля лиц с тахикардией и симпатической активностью вегетативной нервной системы. Мальчики в возрасте 14–15 лет опережают девочек по ударному объему крови, в 16–17 лет — по систолическому артериальному и пульсовому давлению. У девочек выше средневозрастные значения диастолического АД в 14–15 лет и общего периферического сопротивления сосудов в 14 лет. Вне зависимости от пола обследуемых преобладал сердечный тип саморегуляции кровообращения. В возрастных группах превалировал гиперкинетический тип кровообращения, за исключением 17-летних мальчиков с эукинетическим типом кровообращения.

Заключение. Возрастные изменения функционального развития системы кровообращения у школьников из числа аборигенного населения проходят на фоне удовлетворительной адаптации, однако при напряженности механизмов регуляции при кратковременном воздействии факторов внешней среды.

Ключевые слова: школьники; коренные малочисленные народы Севера; функциональные показатели сердечно-сосудистой системы, Северо-Восток России.

Как цитировать:

Лоскутова А.Н. Возрастные особенности функционального развития системы кровообращения у школьников — представителей коренных малочисленных народов Северо-Востока России: одномоментное исследование // Экология человека. 2025. Т. 32, № 4. С. 246–256.

DOI: 10.17816/humeco678605 EDN: JMUCAG

俄罗斯东北部少数原住民族学龄儿童心血管系统功能发育的年龄特征：横断面研究

Alesya N. Loskutova

"Arctic" Research Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

摘要

论证。心血管系统功能的变化是评估机体适应能力与健康状况的主要标准之一。

目的。研究俄罗斯东北部北方少数原住民族学龄儿童心血管系统功能指标的年龄变化情况。

方法。在2021—2023年期间，对来自北方少数原住民族（埃文人、科里亚克人、伊捷尔缅人）的174名女生和196名男生进行了心血管系统主要指标的分析，占有受检者（592人）的62.5%。在静息坐位状态下，使用“Nissei DS-1862”（日本）自动血压计三次测量动脉血压和心率。根据通用方法计算以下指标：每搏输出量、每分钟心输出量、全身外周血管阻力、Kerdo自主神经指数、心指数、血液循环自我调节类型和功能状态指数。

结果。男生心血管系统功能发育的最快时期出现在13–16岁，而女生则表现出较早的变化，高峰期在10–11岁，并持续至少少年晚期。在年龄动态中，尽管多数指标发生变化，但心率未呈现出持续下降趋势。青春期阶段，心动过速和交感神经系统兴奋表现的个体比例较高。14–15岁男生的每搏输出量高于女生，16–17岁时收缩压和脉压也更高。女生在14–15岁时的平均舒张压值较高，14岁时外周血管阻力亦较高。不论性别，血流自我调节类型以心源性类型为主。除17岁男生以正常动力型为主外，其余年龄段均以高动力型血液循环为主。

结论。原住民族学龄儿童心血管系统功能发育的年龄变化过程是在总体适应良好的背景下进行的，但在短期外界因素影响下，其调节机制表现出一定程度的紧张。

关键词：学龄儿童；北方少数原住民族；心血管系统功能指标；俄罗斯东北部。

引用本文：

Loskutova AN. 俄罗斯东北部少数原住民族学龄儿童心血管系统功能发育的年龄特征：横断面研究. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(4):246–256. DOI: 10.17816/humeco678605 EDN: JMUCAG

收到: 16.04.2025

接受: 23.06.2025

发布日期: 02.07.2025

BACKGROUND

At present, the population of the Magadan region primarily consists of first- to third-generation descendants of Slavic settlers (individuals of European descent). Among adolescent males in Magadan—including indigenous individuals (*ab origine*—Latin for “from the beginning”), migrants, and long-settled individuals of European descent—researchers have observed a convergence of several physiological parameters. These processes are regarded by some authors as a specific stage of convergent adaptation. However, each population forms its own distinct ecological profile [1, 2]. The issue of adaptation among indigenous small-numbered peoples of the North is of both theoretical and practical interest. The study of effects of environmental factors and urbanization on the pediatric population remains relevant in age-related and ethnic physiology research [3]. This is due to the fact that growth and development in children have distinct biological natures and underlying mechanisms: growth processes lead to proportional changes, whereas the development of functional systems results in qualitative changes in physiological regulation [4].

Under the influence of environmental factors, transformations occur in the children’s development that shape optimal morphofunctional characteristics of the body. Regulatory changes in the cardiovascular system (CVS) are among the primary criteria for assessing the body’s adaptive capacity. The influence of the latitudinal factor on the development of arterial hypertension and increased strain on regulatory systems in adolescents of European descent has been demonstrated [5–7]. There is also a hypothesis that natural and climatic conditions influence the formation of morphofunctional traits in adolescents from indigenous small-numbered peoples of the North living in different regions (Krasnoyarsk region, Republic of Sakha [Yakutia]) [8]. In the Magadan region, a significant proportion of indigenous adolescent boys exhibit signs of sympathicotonia, which is accompanied by reduced adaptive capacity [9]. Psychophysiological parameters among indigenous peoples demonstrate lower nervous system responsiveness and greater instability of the nervous system compared with mid-latitude norms [10]. The functional capacity of children’s regulatory systems during growth and development depends on natural and climatic conditions, socioeconomic status, and other regional factors.

Aim

To explore the age-related changes in functional parameters of the cardiovascular system among school-aged children from indigenous small-numbered peoples of the Northeastern Russia.

METHODS

Study Design

A single-center cross-sectional study was conducted, including analysis of cardiovascular parameters in

school-aged children—indigenous peoples of Northeastern Russia (long-settled of European descendants, indigenous populations).

Study Setting

Between 2021 and 2023, cardiovascular parameters were recorded in 592 school-aged children during the spring period (March–April). The study was conducted at the medical office of a municipal general education school in the urban-type settlement of Evensk (Magadan region, Severo-Evensky district).

Eligibility Criteria

Inclusion Criteria:

- school-aged children aged 7 to 18 years;
- indigenous peoples of Northeastern Russia;
- informed consent from the child’s legal guardians and assent from the child;
- absence of diagnosed neurological, psychiatric, or chronic somatic diseases;
- three repeated measurements of the studied parameters.

Non-Inclusion Criteria:

- chronic diseases (especially affecting the central nervous, endocrine, or cardiovascular systems);
- use of drugs affecting cognitive or motor functions (antidepressants, sedatives, stimulants, etc).

Exclusion Criteria:

- missing data for the participant in the required number of measurements.

The study was approved by the Local Ethics Committee of the Scientific Research Center Arktika, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Conclusion No. 002/021 dated November 26, 2021).

Participant Groups

According to the aim of the study, sex- and age-specific groups were formed based on ethnicity (Evens, Koryaks, Itelmens), using the social profile of school classes. After excluding 28 children (insufficient heart rate data—4.7% of the total sample), a final sample of 370 participants was formed (196 boys and 174 girls, representing 62.5% of the total). Participant were distributed by age and sex according to anthropological principles (boys/girls): 8 years (from 7 years 6 months to 8 years 5 months 29 days)—23/14; 9 years—22/11; 10 years—14/14; 11 years—12/12; 12 years—15/21; 13 years—19/29; 14 years—21/24; 15 years—23/14; 16 years—20/16; 17–18 years—27/19.

Study Outcomes

Primary Outcome

The primary outcomes of the study were age-related changes in CVS parameters among school-aged

children—indigenous peoples of Northeastern Russia. The following basic hemodynamic parameters were analyzed: systolic blood pressure (SBP, mm Hg), diastolic blood pressure (DBP, mm Hg), and heart rate (HR, bpm). Functional components of hemodynamics were also calculated.

Secondary Outcomes

A comparative analysis was performed for the type of circulatory autoregulation (TCA) and the index of functional alterations (IFA) across different age groups [11–13].

Measurement Methods of Target Outcomes

To assess the cardiovascular system in school-aged children, SBP, DBP, and HR were recorded three times in the seated position. Measurements were performed using Nissei DS-1862 Automatic Blood Pressure Monitor (Nihon Seimitsu Sokki Co., Ltd, Japan). The parameters were calculated using the following formulas:

- stroke volume (SV, mL):
for children ≥ 15 years: $SV = [(101 + 0.5 \times PP) - 0.6 \times DBP] - 0.6 \times A$;
for children < 15 years: $SV = [(40 + 0.5 \times PP) - (0.6 \times DBP)] + 3.2 \times A$,

where $PP = SBP - DBP$; PP is pulse pressure, mm Hg; A is age, years;

- Kerdo vegetative index (KVI):
 $KVI = (1 - DBP/HR) \times 100$;
- total peripheral vascular resistance (TPVR, $\text{dyn} \times \text{s} \times \text{cm}^{-5}$):
 $TPVR = (DBP + 0.42 \times PP) \times 79,980/CO$,

where $CO = SV \times HR$; CO is cardiac output, L/min;

- cardiac index (CI, $\text{L}/[\text{min} \times \text{m}^2]$):
 $CI = CO/S$,

where S is body surface area calculated using the Du Bois formula;

- type of circulatory autoregulation (TCA):
 $TCA = (DBP/HR) \times 100$.

Sensitivity Analysis

Sensitivity analysis was not performed in this study.

Statistical Procedures

Sample size was not calculated a priori. Data were analyzed using Statistica 6.0 software (StatSoft Inc., USA). The Shapiro-Wilk test was used to assess the normality of distribution. For variables with a normal distribution, parametric methods were applied: Student's t -test for comparison of independent samples and one-way analysis F -test (ANOVA), for variables with non-normal distribution, the Mann-Whitney (U) test and Kruskal-Wallis (H) test were used, respectively. The χ^2 -test with Yates continuity correction was used to compare proportions. Results are presented as $M \pm m$, where M is the sample mean, and m is the standard error; or as Me (Q1; Q3), where Me is the median, and Q1 and Q3 are the 25th and 75th percentiles,

respectively. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

RESULTS

Participants

The study included 370 children from indigenous small-numbered peoples of the North (Even, Koryak, Itelmen), comprising 196 boys and 174 girls (62.5% of the total sample).

Primary Results

Among children aged 7 to 18 years, there was a consistent increase in SBP, SV, and CO ($F=4.1-29.6$; $p < 0.001$), DBP ($F=2.5-2.8$; $p < 0.01$), and PP ($F=2.2-4.4$; $p < 0.05$), alongside a decrease in TPVR and the KVI ($F=2.9-6.4$; $p < 0.01$) (Table 1). However, the rates of age-related changes were uneven and heterochronic. The absolute increase in SBP was more significant in boys (16.8 mm Hg) compared to girls (11.7 mm Hg), whereas changes in DBP were comparable (8.3 and 7.5 mm Hg, respectively). A statistically significant increase in DBP was observed only in 14-year-old girls and 16-year-old boys compared with younger age groups. Moreover, DBP in girls aged 14 to 15 years was significantly higher than in boys of the same age. Opposite differences in SBP were noted at ages 16 and 17, which was also reflected in PP patterns in the compared groups. HR showed variability with a statistically non-significant decrease: 8.33 bpm in boys ($F=1.3$; $p=0.251$) and 3.75 bpm in girls ($F=1.7$; $p=0.091$). No sex differences were detected, despite an increase in HR among 15-year-old girls compared to the younger age group.

Cardiac parameters such as SV and CO increased by 24.4 mL and 1.3 L/min in boys and by 23.0 mL and 1.8 L/min in girls, respectively. Boys demonstrated higher mean SV and CO at ages 14 and 15 compared to younger groups, whereas girls exhibited asynchronous changes: SV increased at ages 11, 13, and 15 years, and CO increased at ages 11, 15, and 16 years. Sex differences were identified only for SV at ages 14 and 15, with higher values observed in boys. One of the key parameters of the circulatory system is total peripheral vascular resistance, reflecting the resistance of resistive vessels to blood flow and the precapillary patency. TPVR decreased with age: by 174 $\text{dyn} \times \text{s} \times \text{cm}^{-5}$ in boys and by 300 $\text{dyn} \times \text{s} \times \text{cm}^{-5}$ in girls. Age-related changes in TPVR were observed in girls at ages 11 and 15 compared to younger groups, and in boys at age 16 years. It should be noted that age-related changes in TPVR were uneven, and sex differences were recorded only at age 14, with significantly higher values in girls.

Secondary Results

In the age groups studied, mean values indicate a hyperkinetic type of blood circulation ($CI > 3.5 \text{ L}/[\text{min} \times \text{m}^2]$), with the exception of 17-year-old males, who exhibited a eukinetic type of blood circulation (CI ranging from 2.7 to

Table 1. Age-related changes of hemodynamic parameters in schoolchildren residing in the Magadan Region

Parameter	Sex	Age (years)										
		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
¹ BP (mm Hg)	B	103.8±1.49	102.3±1.63	105.6±1.71	108.1±2.39	104.1±2.63	105.4±2.76	112.5±2.23	115.4±2.85	118.1±2.25	120.6±1.95	
	G	99.3±2.73	99.1±2.25	100.7±2.00	101.4±2.61	104.6±2.00	106.4±2.58	113.3±2.54	115.6±3.70	106.8±3.28 ^β	111.0±2.76 ^β	
¹ DBP (mm Hg)	B	59.5±1.53	62.6±1.81	65.8±2.17	66.4±3.05	62.7±1.92	62.6±2.05	62.0±1.86	64.0±1.68	69.4±1.93*	67.8±2.06	
	G	60.1±1.72	62.7±1.91	66.9±2.15	61.9±2.49	67.1±2.08	64.0±1.35	68.1±1.46 ^β	70.4±2.21 ^β	68.8±1.95	67.6±1.86	
² HR (b/min)	B	90(76;96)	83(79;93)	83(75;90)	83(76;97)	81(68;88)	77(73;87)	79(74;89)	84(72;95)	85(75;94)	79(66;93)	
	G	88(80;94)	91(81;103)	79(75;93)	81(74;87)	86(79;97)	81(75;88)	78(70;87)	90(78;98)*	79(76;87)	86(76;92)	
¹ PP (mm Hg)	B	44.4±1.70	39.6±1.85	39.8±2.56	41.7±2.94	41.3±2.04	43.0±2.82	50.6±1.90*	51.4±2.91	48.7±2.60	52.8±2.64	
	G	39.2±1.85	36.4±2.92	33.9±2.04	40.2±1.49*	37.5±2.67	42.4±2.35	45.3±2.47	45.2±2.90	38.0±2.84 ^β	43.4±2.24 ^β	
¹ CO (L/min)	B	4.5±0.17	4.4±0.14	4.4±0.17	4.8±0.25	4.9±0.20	5.3±0.18	5.9±0.18*	6.9±0.30*	6.2±0.26	5.9±0.19	
	G	4.3±0.19	4.5±0.29	4.1±0.18	4.8±0.16*	5.0±0.26	5.3±0.17	5.3±0.24	6.6±0.32*	5.6±0.26*	6.1±0.23	
¹ SV, mL	B	52.0±1.54	50.8±1.77	52.6±2.37	56.4±3.06	61.9±1.67	65.8±2.12	73.2±1.67*	79.3±2.03*	74.1±2.16	76.4±2.34	
	G	48.7±1.27	49.4±2.41	48.8±1.96	58.1±1.60*	57.2±2.43	64.4±1.52*	66.6±1.64 ^β	72.3±1.94* ^β	69±2.05	71.7±1.99	
¹ TPVR (dyn×s×cm ⁻⁵)	B	1434±69	1491±66	1545±83	1451±85	1330±58	1256±59	1160±53	1045±44	1187±40*	1260±52	
	G	1442±66	1462±117	1643±113	1355±72*	1465±163	1281±52	1354±55.9 ^β	1126±51.2*	1237±65	1142±39	
¹ CI (L/(min×m ²))	B	4.68±0.22	4.23±0.16	4.01±0.21	4.16±0.19	3.95±0.18	3.87±0.16	4.05±0.15	4.26±0.18	3.85±0.17	3.48±0.14	
	G	4.80±0.26	4.67±0.26	3.89±0.21*	4.01±0.17	3.88±0.26	3.87±0.20	3.69±0.18	4.37±0.22*	3.78±1.14*	4.00±1.15 ^β	
² KVI (conventional units)	B	32(24;39)	27(24;34)	21(14;29)	23(21;29)	20(14;27)	20(16;26)	23(10;35)	24(13;33)	14(7;24)	14(6;13)	
	G	32(26;36)	30(23;38)	18(14;28)	23(20;27)	24(12;33)	21(12;30)	13(3;24) ^β	21(11;30)	11(7;10)	18(15;26) ^β	
² TSC (conventional units)	B	68(61;76)	73(66;76)	79(70;86)	77(70;80)	80(70;87)	80(72;85)	77(65;90)	76(66;89)	86(76;93)	86(80;94)	
	G	68(62;75)	70(61;80)	82(71;86)	78(72;80)	76(67;88)	79(70;88)	87(75;98) ^β	79(69;89)	89(74;93)	82(72;85) ^β	
¹ IFI (conventional units)	B	1.85±0.05	1.84±0.05	1.87±0.06	1.96±0.09	1.76±0.78	1.79±0.06	1.89±0.05	1.99±0.07	2.07±0.07	2.07±0.06	
	G	1.80±0.08	1.83±0.06	1.82±0.06	1.75±0.14	1.93±0.05	1.88±0.06	1.97±0.07	2.21±0.12	1.95±0.07	2.08±0.09	

Note: * differences between age groups of the same sex; $p < 0.05$; β , sex differences within the same age group, $p < 0.05$; ¹, parametric Student t test, $M \pm m$, where M is sample mean, m is standard error of the mean; ², non-parametric Mann–Whitney test, Me (Q1; Q3), where Me is median; Q1 and Q3 are 25th and 75th percentiles, respectively. Differences were considered significant at $p < 0.05$. Abbreviations: B, boys; G, girls; SBP, systolic blood pressure, mm Hg; DBP, diastolic blood pressure, mm Hg; HR, heart rate, beats per minute; PP, pulse pressure, mm Hg; CO, cardiac output, L/min; SV, stroke volume, mL; TPVR, total peripheral vascular resistance, dyn×cm⁻⁵;s; KVI, Kerdo vegetative index, conventional units; CI, cardiac index; TSC, type of self-regulation of blood circulation; IFI, index of functional changes.

3.5 L/[min×m²]). At all ages, the predominant type of circulatory autoregulation was cardiac (TCA <90 conventional units), however, intragroup variability was observed (Fig. 1).

Adverse Events

No adverse events were reported.

DISCUSSION

Summary of Primary Results

According to the study findings, the most significant changes in the CVS occur in boys during adolescence, whereas in girls, these changes begin earlier (10–11 years) and continue through late adolescence. The pace of pubertal transformations and the processes of morphofunctional maturation of organs and systems differ between boys and girls, exhibiting distinct patterns in the regulation of age-related changes. The cardiovascular system is particularly vulnerable

during periods of rapid growth, as the development of the arterial component of the vascular network lags behind the increase in heart size, and the heart growth does not keep pace with the overall increase in body size [4].

Interpretation

Comparison of hemodynamic parameters in boys with growth rates in height and body mass [14] revealed synchronous changes in mean SBP, SV, and CO between ages 13 and 16, coinciding with the pubertal growth spurt at 14–15 years. In girls, significant increases in mean SV and CO, along with decreases in TPVR, occurred in two distinct phases: the first at ages 10–11 corresponding to a period of rapid general somatic growth, and the second at 14–15 years. At ages 13–14, SBP increased by 7.1 mm Hg in boys and by 6.9 mm Hg in girls, influencing subsequent changes in PP. According to data, sex differences were observed for SV at ages 14–15, and for SBP and PP at ages 16–17, with higher mean values among boys.

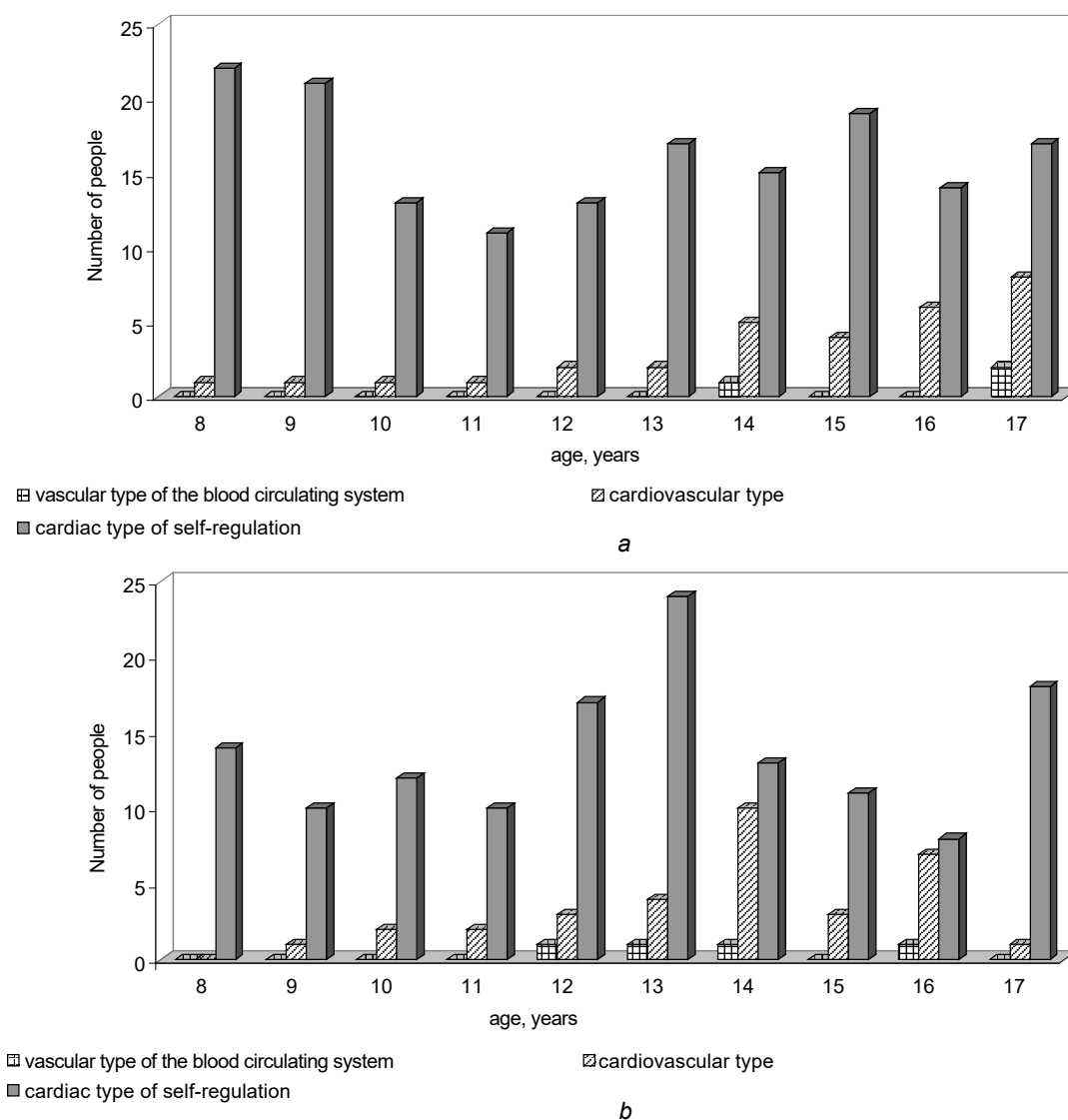


Fig. 1. Prevalence of different types of circulatory self-regulation across age groups: a, in boys; b, in girls. Age groups are denoted by numbers 8–17. CSR, circulatory self-regulation type (solid fill, cardiac type; hatching, cardiorespiratory type; cross-hatching, vascular type).

Several studies [15, 16] have reported lower BP values and a lower prevalence of abnormal BP among individuals from indigenous small-numbered peoples of the North (Khanty) compared with the reference values provided in Russian clinical guidelines and regional standards developed for migrant populations of the Khanty-Mansi Autonomous Area–Yugra. Nifontova [17] found that in middle and late school-aged children, BP levels among indigenous peoples were comparable to those of descendants of migrant settlers.

According to regional studies [18], school-aged children of European descent from the city of Magadan exhibit the most intensive functional development of the CVS at ages 11–16 in boys and 11–13 in girls. Across all age groups, boys exhibit higher values of SV and cardiac output. At ages 14–17, boys also exceeded girls in SBP and left ventricular contractility. In girls, the mean values of HR, DBP, and TPVR are higher [18]. BP values in indigenous girls were generally consistent with regional norms, except for elevated DBP in 13-year-old European-descendant girls (68.8 ± 0.7 mm Hg). Mean SBP values were lower only in 16–17-year-old indigenous boys compared to European-descendant peers— 125.0 ± 1.33 and 126.7 ± 1.30 mm Hg, respectively [18]. The observed convergence of BP values among different ethnic groups is associated with increased rates of longitudinal body growth in schoolchildren from the indigenous population, as confirmed by a previous study [14]. Adolescence is frequently associated with the onset of arterial hypertension and an increased proportion of individuals with high-normal BP (between the 90th and 95th percentiles) [19]. Regional data among 11–17-year-olds of European descent showed that 11.3% of boys and 10.3% of girls had BP near the upper normal range, and hypertension was present in 11.5% and 9.5% respectively [18]. The distribution of BP values [19] in comparable age groups of boys and girls from the indigenous population showed that values approaching the upper limit of normal were observed in 13.0% and 8.1%, respectively, whereas values exceeding the 95th percentile of the distribution were recorded in 8.7% and 8.1%, respectively.

One observed feature of CVS function in the examined boys and girls was the absence of a consistent age-related decrease in HR, as well as elevated values during adolescence (>80 bpm). Resting tachycardia was recorded in 34.8% of boys and 33.1% of girls from the indigenous population, which was significantly higher than in 11–17-year-old children of European descent—18.0% and 20.2%, respectively [18]. High frequency of HR deviations from the norm in children and adolescents from the indigenous small-numbered peoples of Northern Russia has also been reported in other studies [8, 16]. An insufficient decline in HR during puberty may be associated with the fact that, along with age-related enhancement of cholinergic influences on the CVS, the development of the sympathoadrenal system is accompanied by sustained sympathetic activity [4]. Our data confirm positive values of the Kerdo vegetative index in schoolchildren of indigenous population. During the studied ontogenetic

period, a decrease in the average values was observed—from 32 conventional units to 14 and 18 conventional units in boys and girls, respectively—indicating enhanced parasympathetic influences on the key physiological functions of the child's body. However, during the growth spurt phase, 14-year-old boys exhibited a more pronounced manifestation of the sympathetic branch of the autonomic nervous system (ANS) compared to girls, whereas by age 17, sex differences reversed in direction.

It is known that changes in SV during growth and development occur proportionally to the anatomical and physiological features of age-related cardiac evolution, including increases in cardiac mass and volume, development of contractile myocardium, and enlargement of cardiac chambers [4]. According to our data, maximum SV was reached at age 15, with boys demonstrating significantly higher SV values after the growth spurt [14]. In subsequent age groups, SV values decreased slightly, with no sex differences observed. According to previous studies [18], SV increases with age among European-descent and exhibits distinct sex differences, reaching peak values at age 17 in boys (92.6 ± 2.3 mL) and in girls (65.2 ± 1.7 mL). Mean SV values in 17-year-old indigenous boys were lower than regional age norms for European descent, whereas girls exhibited the opposite trend. Elevated CO, driven by both increased SV and HR, indicates an inefficient and energy-demanding level of cardiovascular system function [20].

Our findings show that a hyperkinetic circulatory type occurs in 70.9% of boys and 69.9% of girls. Age-related patterns reveal an increasing trend of eukinetic circulation type prevalence only among indigenous boys, whereas in girls the peak occurs at 13–14 years (11 individuals), with a subsequent decline in older age groups (1–7 individuals). A study by Govorukhina and Konkova [16] demonstrated that the hyperkinetic circulation type was more frequent among 8- to 17-year-old Khanty children compared with descendants of migrant settlers. It has been demonstrated that hemodynamic and autonomic support of CVS functioning varies among individuals with different types of circulation (hypo-, eu-, and hyperkinetic). In the hyperkinetic type, hemodynamic support of baseline functioning is achieved through increased SV and CO with elevated HR and SBP, heightened sympathetic tone of the ANS, and central regulatory circuit activity. In the hypokinetic hemodynamic type, circulatory regulation is dominated by the vascular component and parasympathetic ANS activity. In the eukinetic type of central hemodynamics, parameters of CVS function and heart rate variability fall within an intermediate range [21].

With age-related somatic and cardiocirculatory changes, boys and girls from the indigenous population demonstrated satisfactory adaptation (IFA <2.6) [12]. However, the study identified specific features of adaptation based on the TCA, which reflect the level of regulatory strain in the CVS. The balanced autoregulation of circulation is indicated by a cardiovascular TCA (90–110 conventional units).

A shift in circulatory regulation toward vascular dominance (TCA >110 conventional units) indicates greater regulatory efficiency and an increase in functional CVS reserves to support long-term adaptation. However, a shift toward cardiac dominance (TCA <90 conventional units) indicates impaired function and reduced adaptive capacity in response to short-term external stressors [11].

Among 13- to 16-year-old European-descendant boys—native residents of the Magadan region—a trend toward elevated HR and predominance of the cardiac type of circulatory autoregulation (63.7%) was observed, compared with their peers from Moscow (44.4%) [22]. In our study, a comparable age group also demonstrated a predominance of the cardiac type of autoregulation in 76.5% of boys and 67.5% of girls, whereas the cardiovascular type of TCA was observed in 19.8% and 28.9%, respectively.

In the age-related pattern, only boys demonstrated a trend toward an increasing proportion of schoolchildren with cardiovascular TCA, which is consistent with findings from studies of European-descendant boys [23]. Among 8- to 16-year-old girls, the prevalence of cardiac and cardiovascular TCA followed an inverted U-shaped pattern (Fig. 1, b). While the peak frequency of the cardiac type of TCA in 12- to 13-year-old girls is likely associated with intensive somatic changes and immature mechanisms of circulatory regulation, by age 17 this functional pattern may indicate maladaptive responses. The observed distribution of cardiac and cardiovascular TCA types in girls may be explained by the fact that early pubertal somatic maturation is accompanied by a more prolonged phase of functional development of the circulatory system. Therefore, their adaptive capacity may require greater mobilization of functional reserves compared to boys.

Study Limitations

The cross-sectional design of the present study does not allow for tracking individual trajectories of cardiovascular system changes during growth and development in children. In addition, the following limitations should be taken into account:

- a relatively small sample size (370 schoolchildren), particularly within certain age subgroups;
- calculation-based methods for determining parameters, which are less accurate compared with data obtained from hardware–software systems for noninvasive central hemodynamic assessment.

CONCLUSION

The results obtained reflect general patterns in the development of the cardiovascular system in children throughout ontogeny. The most rapid functional development of the circulatory system in school-aged children occurs between the ages of 13 and 16 years in boys, whereas in girls, changes begin earlier—at 10–11 years—and continue into late adolescence.

Among the identified features of circulatory system development in boys and girls were the absence of a consistent decline in HR and a high proportion of adolescents with tachycardia. In a state of relative rest, the regulation of the cardiac chronotropic function in schoolchildren is characterized by physiological hyperactivity of the sympathoadrenal system, which declines with age. Another feature of circulatory system function is an earlier increase in volumetric hemodynamic parameters (stroke volume and cardiac output) in girls compared with boys. Before adolescence, there are no sex differences in circulatory system function. However, at 14–15 years of age, boys demonstrate higher mean SV values, and at 16–17 years, they show higher SBP and PP. In girls, higher values of DBP at 14–15 years and total peripheral vascular resistance at 14 years were observed compared with boys.

Regardless of sex, the cardiac type of circulatory autoregulation predominated. The hyperkinetic circulation type predominated, with the sole exception of 17-year-old males, who exhibited the eukinetic circulation type. Age-related increases in optimal variants of circulatory autoregulation (eukinetic circulation type and cardiovascular type of TCA) were observed only in indigenous boys. This may be regarded as a favorable trend in the adaptive capacity of the cardiovascular system. Among 8- to 16-year-old girls, the prevalence of these circulatory types followed an inverted U-shaped pattern, with peaks in CI at 13–14 years and in TCA at 14 years, followed by a decline by late adolescence. With the persistence of constitutional characteristics typical of the Arctic population in girls, there is a tendency toward reduced functional reserves of the cardiovascular system in supporting adaptation.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: A.N. Loskutova: conceptualization, investigation, formal analysis, writing—original draft. The author confirms that his authorship meets the ICMJE criteria (the author made a substantial contribution 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 Scientific Research Center Arktika, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Conclusion No. 002/021 dated November 26, 2021).

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

Funding sources: This work was funded from the budget of the Scientific Research Center Arktika, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, as part of the project titled Study of Intersystem and Intrasystem Mechanisms of Responses in the Formation of Functional Adaptive Reserves of the Human Body of the Northern Type at Various Stages of Ontogenesis in Individuals Living in Uncomfortable and Extreme Conditions, with the Determination of Integrated Informative Health Indices (Registration No. AAAA-A21-121010690002-2).

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

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

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

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

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

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.Н. Лоскутова — концепция и дизайн исследования, анализ данных и интерпретация результатов исследования, написание текста. Автор подтверждает соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом НИЦ «Арктика» ДВО РАН (заключение № 002/021 от 26.11.2021).

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

Источники финансирования. Работа выполнена за счёт бюджетного финансирования НИЦ «Арктика» ДВО РАН в рамках темы

«Изучение межсистемных и внутрисистемных механизмов реакций в формировании функциональных адаптивных резервов организма человека «северного типа» на разных этапах онтогенеза лиц, проживающих в дискомфортных и экстремальных условиях с определением интегральных информативных индексов здоровья» (рег. номер АААА-А21-121010690002-2).

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

Заявление об оригинальности. При создании настоящей работы автор не использовала 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.

REFERENCES | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sukhanova IV, Maximov AL, Vdovenko SI. Peculiarities of adaptation observed in young male residents of Magadan region: morphofunctional changes (Report 1). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2013;20(8):3–10. DOI: 10.17816/humeco17313 EDN: RAHIVV
2. Sukhanova IV, Maximov AL, Vdovenko SI. Peculiarities of adaptation in young male residents of Magadan region: analysis of intersystem functional relations (Report 2). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2014;21(6):8–15. DOI: 10.17816/humeco17226 EDN: SEPUJN
3. Agadzhanian NA, Makarova II. Ethnic aspect of adaptative physiology and population morbidity. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2014;21(3):3–13. DOI: 10.17816/humeco17248 EDN: RYIEWT
4. Bezrukhikh MM, Sonkin VD, Farber DA. *Age physiology (Physiology of child development)*. Moscow: Akademiya; 2003. (In Russ.) ISBN: 978-5-7695-3742-4 EDN: KPPDZ
5. Astahova TA, Rychkova LV, Pogodina AV, et al. Status of health of adolescents of main ethnic groups of Eastern Siberia. *Medical News of North Caucasus*. 2018;13(1–1):14–17. DOI: 10.14300/mnnc.2018.13004 EDN: MCQNVA
6. Demin DB, Poskotinova LV, Krivonogova EV. Age features of cardiovascular system functional parameters in adolescents living in different arctic areas. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2015;22(7):27–32. DOI: 10.17816/humeco16997 EDN: UGCJZH
7. Nadtochiy LA, Smirnova SV, Bronnikova EP. The depopulation of indigenous and small-numbered peoples and problem of preserving of ethnic groups of the north-east of hanty. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2015;22(3):3–11. DOI: 10.17816/humeco17087 EDN: TMITDX
8. Kuzhuget AA, Trusey IV, Kolpakova TV, Kirko VI. Morphofunctional parameters of adolescents of indigenous small-numbered peoples of the North from various natural climatic zones. *Journal of Medical and Biological Research*. 2019;7(4):389–398. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.4.389 EDN: BPULEG
9. Loskutova AN. Dynamics of changing heart rate variability in 12–17-year-old adolescents from the scanty aborigines of the north residing in the territory of Magadan region. In: *Forum «Science in the Russian North-East: fundamental and applied studies in the Northern Pacific and Arctic» Proceedings of the anniversary conference dedicated to the 60th anniversary of the N.A. Shilo Northeastern Interdisciplinary Scientific Research Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. Magadan, March 5–6, 2020*. Goryachev NA, editor. Magadan: NEISRI FEB RAS, 2020. P. 183–184. (In Russ.) EDN: BPOGJX
10. Bartosh TP, Bartosh OP. Age-related features of neurodynamic indicators in native adolescent females of Russia's Northeast. *Psychology. Psychophysiology*. 2019;12(4):71–82. DOI: 10.14529/jpps190408 EDN: FDTAHH
11. Arinchin NI, Gorbacevich AI, Kononov VI. Short-term test for determining of blood circulation types, pre-pathological states and pathogenic forms of hyper- and hypotension. In: *Automatization of Scientific Studies: Proceedings of XI of All-Soviet Union School on Automatization of Scientific Studies*. Minsk, 1978. P. 31–34. (In Russ.) DOI: 10.1882/0016-9900-2017-96-5-466-469
12. Baevsky RM, Maximov AL, Berseneva AP. *Grounds of human ecological valeology*. Magadan: NESR FEB RAS, 2001. (In Russ.) ISBN: 5-7442-1282-5
13. Guminskiy AA, Leontyeva NN, Marinova KV. *Guidelines for laboratory classes on general and age physiology*. Moscow: Prosveshchenie Publ.; 1990. (In Russ.)
14. Loskutova AN. Age-related anthropometric changes in physical development among aboriginal schoolchildren in Russia's North-East. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(12):879–889. DOI: 10.17816/humeco627050 EDN: EERZYG
15. Baitrak OA, Meshcheryakov VV, Somova TM. Comparative analysis of indicators of blood pressure in children and adolescents of foreign and indigenous population in the Middle Priobye. *Vestnik SurGU. Meditsina*. 2020;2(44):33–44. DOI: 10.34822/2304-9448-2020-2-33-40 EDN: TXJTMZ
16. Govorukhina AA, Kon'kova KS. Features of the circulatory system in 8–17-year-old children of different ethnic groups living in the Khanty-Mansi autonomous okrug – Yugra. *Journal of Medical and Biological Research*. 2021;9(2):126–137. DOI: 10.37482/2687-1491-Z050 EDN: PVIENY
17. Nifontova OL. *Systemic analysis of cardiovascular parameters in students living in Yugra* [dissertation]. Surgut, 2009. Available from: <https://www.dissercat.com/content/sistemnyi-analiz-parametrov-serdechno-sosudistoi-sistemy-uchashchikhsya-yugry> (In Russ.) Accessed: January 01, 2025. EDN: QETDXT
18. Grechikina LI, Karandasheva VO. Age-specific features of the functional development of the circulatory system in children living in Northeastern Russia. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020;(1(334)):34–38. DOI: 10.35627/2219-5238/2021-334-1-34-38 EDN: YDNUNG

19. Aleksandrov AA, Kisliak OA, Leontyeva IV, et al. Clinical guidelines on arterial hypertension diagnosis, treatment and prevention in children and adolescents. *Systemic Hypertension*. 2020;17(2):7–35. DOI: 10.26442/2075082X.2020.2.200126 EDN: MIRZHC
20. Solodkov AS, Sologub EB. *Human physiology. General. Sport. Age-specific*. Moscow: OOO Izdatelstvo Sport 2015. (In Russ.) ISBN: 978-5-9906734-0-3 EDN: XMQCPV
21. Averyanova IV, Maksimov AL. Cardiovascular profiles and heart rate variability observed in young male residents of Magadan region having different hemodynamic types. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2017;(40):132–149. DOI: 10.17223/19988591/40/8 EDN: ZWDSFV
22. Grechkina LI. Comparative investigations regional features of the functioning of the cardiovascular system observed in adolescent male residents of cities of Magadan and Moscow. *Hygiene and Sanitation*. 2017;96(5):466–469. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-5-466-469 EDN: YSQDHV
23. Grechkina LI. Typological peculiarities of the cardiovascular system functioning in adolescents. *Hygiene and Sanitation*. 2018;97(10):962–966. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-10-962-966 EDN: YOCQXR

AUTHORS' INFO

***Alesya N. Loskutova**, Cand. Sci. (Biology)
address: 24 Karl Marx ave, Magadan, Russia, 685000;
ORCID: 0000-0001-5350-8893;
eLibrary SPIN: 2570-0124;
e-mail: lesa82@inbox.ru

ОБ АВТОРАХ

***Лоскутова Аlesia Николаевна**, канд. биол. наук;
адрес: Россия, 685000, Магадан, пр-т Карла Маркса, 24;
ORCID: 0000-0001-5350-8893;
eLibrary SPIN: 2570-0124;
e-mail: lesa82@inbox.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Сравнительная характеристика показателей простой сенсомоторной реакции у жителей северных и южных территорий европейской части России

Ю.А. Шатыр¹, И.В. Улесикова¹, Н.О. Назаров², М.А. Кунавин³, С.Ф. Попов⁴, А.Б. Мулик¹

¹ Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия;

² Центр внедрения изменений, Красногорск, Россия;

³ Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия;

⁴ Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Существующая система универсального нормирования показателей простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР) не учитывает физико-географических особенностей места проживания человека и его пол. Изучение влияния физико-географических факторов на проявления простой сенсомоторной реакции позволит объективизировать оценку функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС) конкретного человека.

Цель исследования. Охарактеризовать специфику проявления показателей простой сенсомоторной реакции у жителей северных и южных территорий европейской части России.

Методы. В исследовании приняли участие 64 клинически здоровых мужчины и женщины европеоидной расы в возрасте 19–23 лет, коренные жители Архангельской и Волгоградской областей. С помощью прибора УПФТ-1/30 «Психофизиолог» анализировали у испытуемых базовые и интегральные показатели ПЗМР: минимальное время реакции, максимальное время реакции, среднее время реакции, медиану, число упреждающих реакций, уровень безошибочности, уровень стабильности, уровень бысродействия, уровень активации ЦНС, а также интегральную характеристику «квадратов классификации».

Результаты. Высокий уровень активации ЦНС, системно характеризующий скорость и устойчивость сенсомоторного реагирования, обеспечивает мужчин — жителей южных территорий — выраженным потенциалом функциональных возможностей, несмотря на незначительную неуровновешенность нервной системы с превалированием процессов возбуждения. У мужчин северных территорий наблюдают противоположные нейродинамические свойства нервной системы: сниженный уровень активации ЦНС, преобладание процессов торможения, низкую скорость реакций, а также повышенную стабильность и высокий уровень безошибочности сенсомоторного реагирования.

Анализ показателей выявил различия между мужчинами и женщинами в зависимости от места жительства: у жителей северных территорий значения ПЗМР у обоих полов практически совпадают. Среди жителей южных территорий у женщин, по сравнению с мужчинами, среднее время реакции ($p=0,02$) и медиана ($p=0,05$) статистически значимо выше. В целом у женщин отсутствуют статистически значимые различия показателей ПЗМР между представителями северных и южных регионов.

Заключение. Результаты исследования подтверждают, что физико-географические факторы влияют на функциональное состояние ЦНС. Охарактеризована специфика проявления показателей простой сенсомоторной реакции у мужчин и женщин — жителей северных и южных территорий европейской части России. Учёт места рождения, места жительства и пола человека позволяет персонализировать нормирование результатов оценки ПЗМР.

Ключевые слова: функциональное состояние центральной нервной системы; простая зрительно-моторная реакция; пол; физико-географические факторы.

Как цитировать:

Шатыр Ю.А., Улесикова И.В., Назаров Н.О., Кунавин М.А., Попов С.Ф., Мулик А.Б. Сравнительная характеристика выраженности показателей простой сенсомоторной реакции у жителей северных и южных территорий европейской части России // Экология человека. 2025. Т. 32, № 4. С. 257–266.
DOI: 10.17816/humeco678155 EDN: ZGAEWM

Comparative Characteristics of Simple Sensorimotor Reaction Parameters in Residents of Northern and Southern Regions of the European Part of Russia

Yulia A. Shatyr¹, Irina V. Ulesikova¹, Nikita O. Nazarov², Mikhail A. Kunavin³, Sergey F. Popov⁴, Alexander B. Mulik¹

¹ Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia;

² Change Implementation Center, Krasnogorsk, Russia;

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

⁴ Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The existing universal standardization system for simple visual-motor reaction parameters does not account for the physical and geographical characteristics of a person's place of residence or their sex. Investigating the influence of physical and geographical factors on manifestations of simple sensorimotor reaction may help objectify the assessment of the functional state of the central nervous system (CNS) in individuals.

AIM: The work aimed to characterize the specific manifestations of simple sensorimotor reaction parameters in residents of the northern and southern regions of the European part of Russia.

METHODS: The study included 64 clinically healthy men and women of European descent aged 19–23 years, indigenous residents of the Arkhangelsk Region and the Volgograd Region. Using the UPFT-1/30 Psychophysiolgist device, the following basic and integral parameters of simple visual-motor reaction were analyzed: minimum reaction time, maximum reaction time, mean reaction time, median, number of anticipatory reactions, accuracy level, stability level, response speed level, CNS activation level, and the integral characteristic "classification squares."

RESULTS: A high level of CNS activation, which systematically reflects the speed and stability of sensorimotor responses, ensures a pronounced functional potential in men from southern regions, despite a slight imbalance in the nervous system due to predominant excitation processes. In contrast, men from northern regions exhibited opposite neurodynamic properties: reduced CNS activation, predominance of inhibitory processes, slower reaction speed, increased response stability and higher sensorimotor accuracy.

The analysis of the parameters revealed differences between men and women depending on place of residence: among residents of the northern regions, simple visual-motor reaction values were nearly identical in both sexes. Among southern residents, women had statistically significantly longer mean reaction times ($p = 0.02$) and medians ($p = 0.05$) compared with men. Overall, no statistically significant differences in simple visual-motor reaction parameters were observed between women from northern and southern regions.

CONCLUSION: The findings confirm that physical and geographical factors influence the functional state of the CNS. The study characterizes the specific features of simple sensorimotor reaction parameters in men and women from the northern and southern regions of the European part of Russia. Considering the birthplace, place of residence, and sex enables personalized standardization of simple visual-motor reaction assessment results.

Keywords: functional state of the central nervous system; simple visual-motor reaction; sex; physical and geographical factors.

To cite this article:

Shatyr YA, Ulesikova IV, Nazarov NO, Kunavin MA, Popov SF, Mulik AB. Comparative characteristics of simple sensorimotor reaction parameters in residents of Northern and Southern regions of the European part of Russia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(4): 257–266. DOI: 10.17816/humeco678155 EDN: ZGAEWM

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco678155>

EDN: ZGAEWM

俄罗斯欧洲部分北方与南方地区居民简单感知-运动反应指标的比较特征

Yulia A. Shatyr¹, Irina V. Ulesikova¹, Nikita O. Nazarov², Mikhail A. Kunavin³, Sergey F. Popov⁴, Alexander B. Mulik¹

¹ Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia;

² Change Implementation Center, Krasnogorsk, Russia;

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

⁴ Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

摘要

论证。当前广泛采用的简单视动反应 (simple visual-motor reaction, SVMR) 统一评估标准尚未充分考虑个体居住地的自然地理特征及性别差异。研究物理地理因素对简单感知-运动反应表现的影响, 有助于更客观地评估个体中枢神经系统 (central nervous system, CNS) 的功能状态。

目的。描述俄罗斯欧洲部分北方与南方地区居民简单感知-运动反应指标的差异特征。

方法。纳入64名19-23岁、临床健康的欧罗巴人种青年男女, 分别为 Arkhangelsk Region 和 Volgograd Region 的原住居民。采用 UPFT-1/30“Psychophysicologist”设备检测SVMR的基础与整合性指标, 包括: 最短反应时、最长反应时、平均反应时、中位数、预判反应次数、无误水平、稳定性水平、快速性水平、中枢神经系统激活水平, 以及“分类方块”综合指标。

结果。南方地区男性的CNS激活水平较高, 系统性体现为感知-运动反应的速度与稳定性较强, 表现出良好的功能潜能, 尽管其神经系统轻度不稳定, 以兴奋过程占主导。相比之下, 北方地区男性表现出相反的神经动力特征: CNS激活水平较低, 以抑制过程为主, 反应速度较慢, 稳定性高、无误水平优异。

居住地不同的男女SVMR指标存在差异: 北方地区居民中, 男性与女性的指标几乎无显著差别。在南方地区居民中, 女性的平均反应时间 ($p=0.02$) 和中位数 ($p=0.05$) 显著高于男性。总体而言, 女性在北方与南方地区之间的SVMR指标差异无统计学显著性。

结论。研究结果证实, 物理地理因素对CNS功能状态具有影响作用。本文描述了居住在俄罗斯欧洲部分北方与南方地区的男性与女性在简单感知-运动反应方面的差异特征。在SVMR评估中, 考虑个体的出生地、居住地及性别, 可实现评估标准的个体化设定。

关键词: 中枢神经系统功能状态; 简单视动反应; 性别; 物理地理因素。

引用本文:

Shatyr YA, Ulesikova IV, Nazarov NO, Kunavin MA, Popov SF, Mulik AB. 俄罗斯欧洲部分北方与南方地区居民简单感知-运动反应指标的比较特征. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(4): 257-266. DOI: 10.17816/humeco678155 EDN: ZGAEWM

收到: 04.04.2025

接受: 19.06.2025

发布日期: 27.06.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Современное представление о роли физико-географических факторов в формировании функционального статуса организма основано на многочисленных исследованиях, в первую очередь отечественных учёных, сосредоточивших своё внимание на изучении здоровья населения Европейского Севера, Западной и Восточной Сибири, Северного Кавказа [1–4]. Широтный фактор, как основной физико-географический критерий состояния окружающей среды представляет собой комплексное явление, влияющее на здоровье, работоспособность и образ жизни жителей отдельных территорий [5]. Как правило, в таких исследованиях анализируют состояния дезадаптации у представителей пришлого населения в экстремальных условиях жизнедеятельности. Переезд в высокие широты способен спровоцировать у людей различные физиологические реакции, вызванные резкими климатическими изменениями. Например, понижение температуры, изменение уровня солнечной радиации и другие физические явления могут негативно влиять на работоспособность и здоровье человека. В качестве индикаторов дезадаптации чаще всего используют показатели здоровья, физической и умственной работоспособности, а также проявления поведенческих девиаций [6].

В отдельных работах анализируют состояние центральной и вегетативной нервной системы у жителей различных регионов в условиях естественной жизнедеятельности или моделируемых функциональных нагрузок [7]. Для оценки функционального потенциала ЦНС по ее основным характеристикам — возбудимости, реактивности, подвижности, устойчивости реагирования, чаще всего используют показатели простой сенсомоторной реакции. Известно, что ПЗМР зависит от индивидуальных свойств анализаторных систем человека (зрительной и кинестетической), особенностей нервных процессов, двигательного координационного потенциала и психофизиологического состояния организма. В основе оценки функционального состояния ЦНС лежит анализ уровня и стабильности сенсомоторных реакций человека в ответ на световые раздражители [8, 9].

Ключевая проблема при оценке ПЗМР — отсутствие критериев нормы для базовых и интегральных показателей сенсомоторного реагирования у жителей разных физико-географических зон. Существующая система универсального нормирования показателей ПЗМР не учитывает физико-географических особенностей места жительства, пол и возраст человека. Данные о нормативных значениях показателей ПЗМР с учетом пола и возраста ограничены результатами отдельных исследований, выполненных с участием представителей различных социальных и профессиональных групп населения России и Украины [10–12]. На практике интерпретация результатов ПЗМР, независимо от широты проживания, пола и возраста, основана на относительном сравнении выраженности показателей

с «идеалом нормы», рассчитанной десятилетия назад для среднестатистического жителя средней полосы России [13]. Понимание влияния физико-географических факторов на проявления показателей ПЗМР поможет объективизировать оценку функционального состояния ЦНС у конкретного человека. В качестве объекта исследования были выбраны молодые, социально благополучные, здоровые люди — коренные жители северных и южных регионов европейской части России. Следует предположить, что в этом случае результаты исследования будут отражать эндогенный, генетически детерминированный уровень функционального состояния ЦНС, характерный для европеоидного населения Севера и Юга России.

Цель исследования

Охарактеризовать специфику проявления показателей простой сенсомоторной реакции у жителей северных и южных территорий европейской части России.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Было проведено одномоментное контролируемое многоцентровое исследование с анализом базовых и интегральных показателей ПЗМР испытуемых.

Критерии соответствия

Критерии включения:

- участники от 18 до 25 лет;
- коренные жители северных и южных регионов европейской части России;
- отсутствие диагностированных неврологических, психических и хронических соматических заболеваний;
- социально благополучные лица без выраженных стрессовых факторов;
- соблюдение сбалансированного питания и здорового образа жизни;
- отказ от приёма психоактивных веществ, нейротропных препаратов и алкоголя на момент исследования;
- добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии исключения:

- наличие хронических заболеваний (особенно ЦНС, эндокринной и сердечно-сосудистой систем);
- приём лекарств, влияющих на когнитивные и моторные функции (антидепрессанты, седативные, стимуляторы и др.).

Условия проведения

Тесты проведены на базе Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова (Архангельск, Россия) и Волгоградского государственного медицинского университета (Волгоград, Россия).

Продолжительность исследования

Исследование проведено с использованием результатов психофизиологических тестов, полученных в период с 03.03.2025 по 07.03.2025.

Описание процедур измерения

Для оценки ПЗМР использовали устройство психофизиологического тестирования УПФТ-1/30 «Психофизиолог» («Медиком МТД», г. Таганрог, Россия). Применяли стандартные настройки устройства, по умолчанию. Учитывали основные базовые и интегральные показатели ПЗМР: минимальное время реакции, максимальное время реакции, среднее время реакции, медиану, число упреждающих реакций, уровень безошибочности, уровень стабильности, уровень быстродействия, уровень активации ЦНС, а также интегральную характеристику «квадратов классификации».

Основной исход исследования

В качестве основного исхода исследования рассматривали исходные показатели ПЗМР, демонстрирующие особенности функционирования ЦНС у мужчин и женщин из северных и южных областей европейской части России.

Дополнительные исходы исследования

Дополнительным исходом исследования стал сравнительный анализ интегральных показателей ПЗМР, характеризующий исходную активацию ЦНС у жителей северных и южных районов европейской части страны.

Анализ в группах

В данном исследовании сформированы две основные группы в зависимости от места проживания испытуемых:

- 1-я группа — жители Архангельской области;
- 2-я группа — жители Волгоградской области.

Методы регистрации исходов

В ходе исследования использовали методику оценки сенсомоторных реакций на световые стимулы. Испытуемым последовательно предъявляли 35 световых сигналов зелёного цвета, на которые требовалось максимально быстро реагировать нажатием кнопки на передней панели прибора.

Этическая экспертиза

Исследование одобрено этическим комитетом Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова (Санкт-Петербург, Россия), протокол № 295 от 22.10.2024 г.

Статистический анализ

Принципы расчёта размера выборки: Размер выборки предварительно не рассчитывали, поскольку исследование носило пилотный характер, и его основной целью была оценка принципиальной возможности выявления

эффектов, без априорных предположений об их силе и направленности.

Методы статистического анализа данных: Статистическая обработка осуществлялась с помощью пакета программ MS Excel 2007 (12.0.6611.1000; Microsoft Corporation, США), Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США). Нормальность распределения значений количественных признаков определяли с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Полученные результаты свидетельствовали о ненормальном распределении значений исследуемых показателей, что послужило основанием для использования непараметрических методов статистики для последующего анализа данных. Результаты представлены в виде $M \pm \sigma$, где M — среднее значение, σ — стандартное отклонение. Для сравнительной оценки половых различий по показателям ПЗМР применяли критерий Манна-Уитни (U), различия считали значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты исследования

В исследовании приняли участие 64 клинически здоровых мужчины и женщины европеоидной расы, в возрасте 19–22 лет, коренные жители двух регионов Европейской части России: Архангельской и Волгоградской областей. Данные регионы различаются географическим положением и климатическими условиями. Место рождения участников исследования ограничивали географической широтой от 60,9° с.ш. до 64,5° с.ш. для северных территорий, и от 47,3° с.ш. до 50,9° с.ш. для южных территорий. Для исследования отобрали студентов государственных вузов г. Архангельска (16 мужчин и 16 женщин) и г. Волгограда (16 мужчин и 16 женщин). Все работы выполняли в соответствии с принципами Всеобщей декларации о биоэтике и правах человека, в части статей 4 (благо и вред), 5 (самостоятельность и индивидуальная ответственность), 6 (согласие) и 9 (неприкосновенность частной жизни и конфиденциальность) [14]. Участие в исследовании было добровольным. До включения в исследование все участники выразили информированное согласие.

Основные результаты исследования

На первом этапе исследования были проанализированы исходные показатели ПЗМР, характеризующие функциональное состояние ЦНС у мужчин и женщин — жителей северных и южных территорий европейской части России (табл. 1). Выявлено, что жители южных территорий, по отношению к жителям северных территорий, в целом характеризуются относительно низкими значениями времени реакции и относительно высокими значениями числа упреждающих реакций на предъявление светового стимула.

Таблица 1. Характеристика базовых показателей оценки простой зрительно-моторной реакции у мужчин и женщин — жителей северных и южных территорий европейской части России**Table 1.** Basic parameters of simple visual-motor reaction in men and women from the northern and southern regions of the European part of Russia

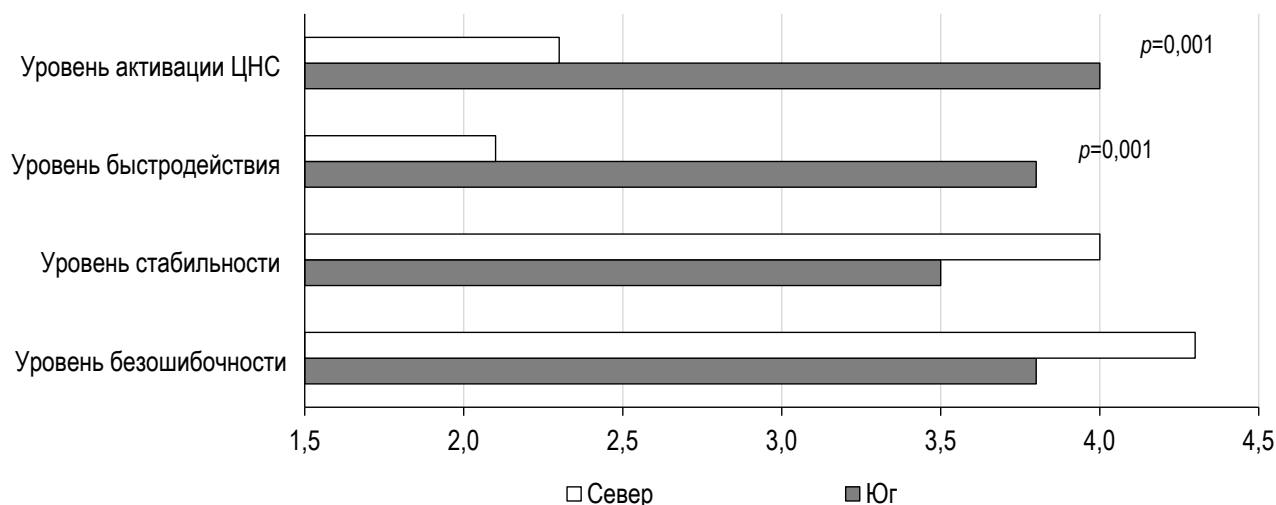
Показатели, ед. изм.	Пол	Территория проживания		p
		Север	Юг	
Минимальное время реакции, мс	м	194,6±6,92	167,2±3,52	0,0005
	ж	184,5±5,27	159,2±12,19	0,1
	p	0,23	0,57	-
Максимальное время реакции, мс	м	444,1±40,79	363,0±31,88	0,16
	ж	417,3±27,3	372,9±32,99	0,61
	p	0,49	0,83	-
Среднее время реакции, мс	м	256,4±36,4	197,2±16,9	0,31
	ж	252,8±10,76	248,8±14,78	0,95
	p	0,93	0,029	-
Медиана, мс	м	241,3±9,76	204,1±4,27	0,002
	ж	232,1±6,89	236,3±14,12	0,93
	p	0,65	0,05	-
Число упреждающих реакций, шт.	м	0,4±0,18	1,2±0,37	0,03
	ж	0,2±0,15	1,7±0,48	0,08
	p	0,65	0,79	-

Дополнительные результаты исследования

На втором этапе исследования произвели сравнительный анализ интегральных показателей ПЗМР, отражающих фоновую активацию ЦНС у жителей северных и южных территорий европейской части России. На рисунках 1 и 2 представлены расчётные показатели уровня активации ЦНС, уровня быстродействия, стабильности и безошибочности, соответственно

для мужских и женских выборочных совокупностей испытуемых.

Интегральная характеристика «квадратов классификации» по выделенным группам жителей северных и южных территорий представлена в таблице 2. В целом, уровень функциональных возможностей ЦНС у жителей северных территорий сниженный, а у представителей южных территорий — повышенный.

**Рис. 1.** Характеристика интегральных показателей оценки простой зрительно-моторной реакции у мужчин — жителей северных и южных территорий европейской части России.**Fig. 1.** Characteristics of integral indicators of simple visual-motor reaction in men from the northern and southern regions of the European part of Russia.

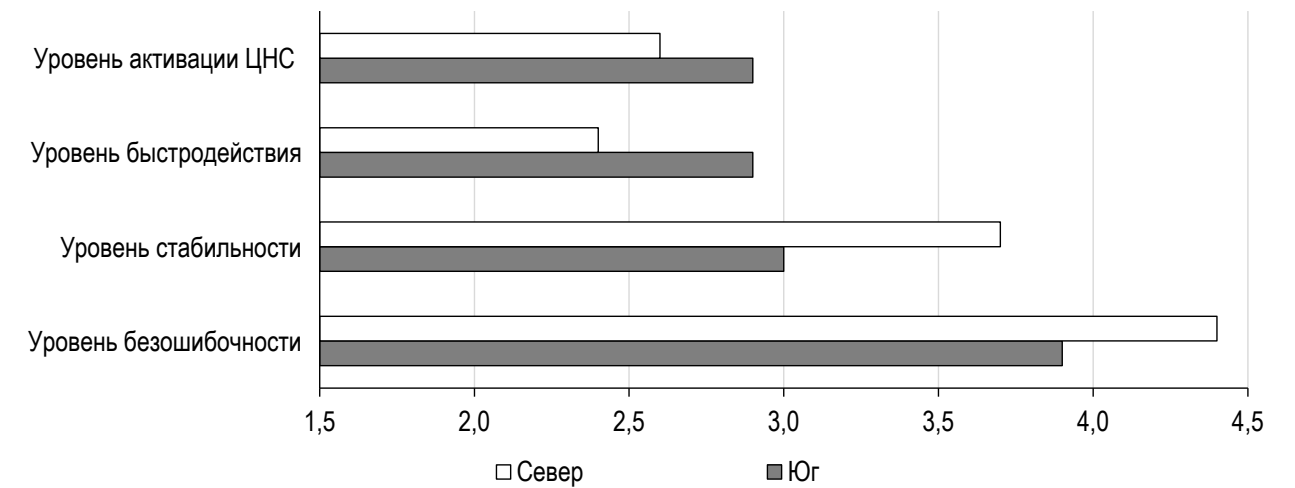


Рис. 2. Характеристика интегральных показателей оценки простой зрительно-моторной реакции у женщин — жителей северных и южных территорий европейской части России.
Fig. 2. Characteristics of integral indicators of simple visual–motor reaction in women from the northern and southern regions of the European part of Russia.

Таблица 2. Интегральная характеристика функциональных возможностей центральной нервной системы мужчин и женщин — жителей северных и южных территорий европейской части России
Table 2. Integral characteristics of central nervous system functional capacity in men and women from the northern and southern regions of the European part of Russia

Территория	Пол	№ квадрата	Функциональные возможности ЦНС
Север	м	9	Уровень активации ЦНС сниженный. Быстродействие сниженное, при стабильности реакций выше средних значений. Преобладание процессов торможения. Сниженный уровень функциональных возможностей ЦНС.
	ж	11	Уровень активации ЦНС ниже средних значений. Быстродействие ниже средних значений, при средней стабильности реакций. Сниженный уровень функциональных возможностей ЦНС.
Юг	м	18	Уровень активации ЦНС выше средних значений. Быстродействие выше среднего, при средней стабильности реакций. Преобладание процессов возбуждения. Уровень функциональных возможностей ЦНС высокий.
	ж	14	Средний уровень активации ЦНС. Быстродействие среднее при средней стабильности реакций. Стабильное состояние регуляторных механизмов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

В ходе одномоментного исследования установлено, что физико-географические факторы (широта места жительства) и пол человека оказывают статистически значимое влияние на функциональное состояние центральной нервной системы (ЦНС).

Обсуждение основного результата исследования

Полученные результаты показывают, что скорость реагирования на зрительный стимул по основным показателям ПЗМР значимо выше в группе мужчин — представителей южных территорий России. Вместе с тем, качество реагирования, оцениваемое по минимальному числу упреждающих реакций, в большей степени выражено

у жителей северных территорий. Важно отметить, что проявления анализируемых показателей у мужчин и женщин в зависимости от места жительства демонстрируют различия. У жителей северного региона, у мужчин и женщин, значения показателей ПЗМР практически совпадают. Среди жителей южных территорий у женщин, относительно мужчин, статистически значимо выше среднее время реакции ($p=0,02$) и медиана ($p=0,05$). В целом у женщин отсутствуют статистически значимые различия по анализируемым показателям ПЗМР между представителями северных и южных территорий.

Результаты сравнительного анализа интегральных показателей ПЗМР позволяют конкретизировать нейродинамические свойства нервной системы, общий уровень работоспособности и активности ЦНС. Так, уровень активации ЦНС, системно характеризующий скорость и устойчивость сенсомоторного реагирования, наделяет мужчин, жителей южных территорий, высоким потенциалом

функциональных возможностей, на фоне незначительной неуравновешенности нервной системы с превалированием процессов возбуждения. Данные свойства нервной системы у мужчин — жителей южных территорий, подтверждаются выраженным уровнем бысродействия. Напротив, у мужчин, жителей северных территорий, наблюдаются противоположные нейродинамические качества нервной системы, отличающиеся сниженным уровнем активации ЦНС, низким уровнем бысродействия, на фоне повышенной стабильности и высокого уровня безошибочности сенсомоторного реагирования.

У женщин отсутствуют статистически значимые различия проявления анализируемых интегральных показателей ПЗМР между представителями северных и южных территорий. При совпадении общих тенденций межтерриториальной дифференциации исследуемых показателей у мужчин и женщин, в женских выборках, относительно мужских, наблюдается выравнивание уровней активации и бысродействия за счёт их повышения у представителей северных территорий, и снижения у представителей южных территорий.

Интегральная характеристика «квадратов классификации» дополнительно уточняет функциональные особенности ЦНС у исследуемых групп. Так, мужчины — жители Архангельской области — склонны к преобладанию процессов торможения, а мужчины — жители Волгоградской области — к преобладанию процессов возбуждения.

Представленные данные подчёркивают особенности проявления показателей простой сенсомоторной реакции у мужчин и женщин — жителей северных и южных территорий европейской части России. Учёт места рождения, проживания и пола человека позволяет персонализировать нормирование результатов оценки ПЗМР.

Ограничения исследования

Исследование выявило значимые нейродинамические различия между группами, однако следует учитывать ряд ограничений:

- относительно небольшая выборочная совокупность;
- период исследования ограничен ранней весной;
- исследование охватывает только европейскую часть России, что ограничивает экстраполяцию результатов на другие популяции;
- отсутствие данных о сопоставимости возрастного состава групп.

Тем не менее, выявленные различия подчёркивают необходимость комплексного подхода к персонализации нормирования результатов оценки ПЗМР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненного исследования подтверждают влияние физико-географических факторов на функциональное состояние ЦНС. Фоновая выраженность базовых и интегральных показателей ПЗМР связана

с географической широтой места жительства и полом человека. В целом, жители северных территорий характеризуются относительно пониженным уровнем активации ЦНС на фоне повышенной стабильности и безошибочности сенсомоторного реагирования. Жители южных территорий отличаются выраженностью процессов возбуждения и относительно повышенным бысродействием. В женских выборках, относительно мужских, вне зависимости от места жительства, наблюдается относительное усреднение уровней активации и бысродействия за счёт их повышения у представителей северных территорий, и снижения у представителей южных территорий.

Основным результатом выполненного исследования явилось формирование гипотезы об обусловленности проявлений показателей простой сенсомоторной реакции широтностью места жительства человека и его полом. В дальнейшем данная гипотеза будет проверена при проведении других исследований на репрезентативных выборках с более высокой доказательной способностью.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. 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). Наибольший вклад распределён следующим образом: Ю.А. Шатыр — обзор литературы, написание статьи; И.В. Улесинова — сбор материала и первичная обработка результатов исследования; Н.О. Назаров — статистическая обработка результатов исследования; М.А. Кунавин — сбор материала и первичная обработка результатов исследования; С.Ф. Попов — сбор материала и первичная обработка результатов исследования; А.Б. Мулик — концепция и дизайн исследования, анализ данных, редактирование статьи.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено этическим комитетом Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова (Санкт-Петербург, Россия), протокол № 295 от 22.10.2024 г. Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

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

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

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.

Заявление об оригинальности. 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: All the 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). Y.A. Shatyr: sources review, writing—original draft; I.V. Ulesikova: collection of material, data curation; N.O. Nazarov: formal analysis; M.A. Kunavin: collection of material, data curation; S.F. Popov: collection of material, data curation; A.B. Mulik: conceptualization, methodology, formal analysis, writing—review & editing.

Ethics approval: The study was approved by the Ethics Committee of the 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 enrollment in the study.

Funding sources: This work was carried out as part of the research project under the Strategic Academic Leadership Program “Priority 2030.”

Conflict of interests: The authors have no explicit or potential conflicts of interests associated with the publication of this article.

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. Averianova IV, Maksimov AL, Vdovenko SI. Morphofunctional changes in long-time adaptation process observed in natives of intercontinental areas of Russia's Northeast. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2015;3(22):12–19. DOI: 10.17816/humeco17089 EDN: TMITEH
2. Litovchenko OG, Gadzhibekova N kizi G. Functional features of the cardiorespiratory system of the alien population living in the regions of the Far North and areas equated to them (literature review). *Russian biomedical research (St. Petersburg)*. 2023;8(3):36–49. DOI: 10.56871/RBR.2023.19.40.006 EDN: OOBTP
3. Bezmenova IN. Selection of informative genetic markers for assessment of adaptabilities of northerners: a review. *Public Health and Life Environment – PH&LE*. 2023;31(1):7–12. DOI: 10.35627/2219-5238/2023-31-1-7-12 EDN: GEFVEQ
4. Sukhanova IV, Vdovenko SI, Maksimov AL, et al. Comparative analysis of morphofunctional indices in residents of European North and Russia North-East. *Ekologiya cheloveka (Human ecology)*. 2014;10(21):3–11. DOI: 10.17816/humeco17188 EDN: SVRCRT
5. Solonin YG, Loginova TP, Markov AL, et al. Effect of the latitudinal factor on the physical performance in cross-country skiers of the Komi Republic. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy (Journal of Medical and Biological Research)*. 2018;6(4):425–434. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.4.425 EDN: YOUVGH
6. Mulik AB, Shatyr YuA, Ulesikova IV, et al. Migration risk of developing psychosomatic disorders in socially well-off young people with increased neuropsychiatric and intellectual stress. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(3):221–232. DOI: 10.17816/humeco631457 EDN: HNVSMC
7. Kondakova OE, Shilov SN, Kirko VI. Psychophysiological and adaptive characteristics of children and teenagers living in the Far North. *Journal of Siberian Federal University*. 2017;10(3):312–322. DOI: 10.17516/1997-1389-0028 EDN: YPEGGV
8. Ignatova YuP, Makarova II, Yakovleva KN, Aksenova AV. Visual-motor reactions as an indicator of CNS functional state. *Ul'yanovskij mediko-biologicheskij zhurnal*. 2019;(3):38–51. DOI: 10.34014/2227-1848-2019-3-38-51 EDN: YHTGFU
9. Kulakov AA. On the variability of a simple sensorimotor reaction. *Fiziologija čeloveka*. 2023;49(4):49–57. DOI: 10.31857/S0131164622600616 EDN: MJYHHB
10. Boyko IM, Mosyagin IG. *Psychophysiological flight safety in the European North of Russia*. Arkhangelsk: Publishing house of the Northern State Medical University, 2012. (In Russ.) ISBN: 978-5-91702-092-1 EDN: QMCMZR
11. Korelskaya IE, Kuznetsov AA. Evaluation of the central nervous system in human parameters of simple visual-motor response. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2016;(8-2):194–197. Available from: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=10002> EDN: WGHMPH
12. Shtofel D, Kostishyn S, Navrotska K, et al. Reaction parameter and modified sensorimotor reaction method for assessment of functional potential of nervous system. *Biomedical Engineering and Electronics*. 2018;1(20):68–78. DOI: 10.6084/m9.figshare.5230345 EDN: YWQNDH
13. Psychophysiological testing device UPTF-1/30 “Psychophysiologicalist”: A methodological reference. Taganrog: Medikom MTD Ltd, 2004. (In Russ.) Available from: https://docs.nevacert.ru/files/med_reestr_v2/o8908_instruction.pdf
14. Un.org [Internet]. Universal Declaration on Bioethics and Human Rights. 2005. (In Russ.) Available from: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/bioethics_and_hr.shtml

ОБ АВТОРАХ

***Шатыр Юлия Александровна**, канд. биол. наук, доцент;
адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург,
ул. Академика Лебедева, 6;
ORCID: 0000-0001-9279-5282;
eLibrary SPIN: 2942-6250;
e-mail: yuliashatyr@gmail.com

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

AUTHORS' INFO

***Yulia A. Shatyr**, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;
address: 6 Akademika Lebedeva str, Saint Petersburg, Russia,
194044;
ORCID: 0000-0001-9279-5282;
eLibrary SPIN: 2942-6250;
e-mail: yuliashatyr@gmail.com

Irina V. Ulesikova, Cand. Sci. (Biology);
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

Попов Сергей Федорович, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0001-7195-992X;
eLibrary SPIN: 1562-0550;
e-mail: sfpopov82@gmail.com

Мулик Александр Борисович, д-р биол. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-6472-839X;
eLibrary SPIN: 8079-9698;
e-mail: mulikab@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

Sergey F. Popov, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0001-7195-992X;
eLibrary SPIN: 1562-0550;
e-mail: sfpopov82@gmail.com

Alexander B. Mulik, Dr. Sci. (Biology), Professor;
ORCID: 0000-0001-6472-839X;
eLibrary SPIN: 8079-9698;
e-mail: mulikab@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Однонуклеотидные варианты в генах системы интерферонов у коренных и некоренных жителей Архангельской области

Е.А. Кригер¹, О.В. Самодова¹, Н.А. Бебякова¹, А.В. Кудрявцев¹, Л.В. Иванова¹,
Р.В. Самойликов², М.Б. Потапова², В.К. Солнцева³, Е.А. Меремьянина², О.А. Свитич^{2,3}

¹ Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия;

² Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова, Москва, Россия;

³ Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Помимо климатических и социальных факторов, индивидуальную восприимчивость жителей Севера к инфекционным заболеваниям определяют варианты нуклеотидных последовательностей в генах системы интерферонов. Белковые продукты этих генов участвуют в реализации иммунного ответа.

Цель исследования. Оценить распространённость однонуклеотидных вариантов в генах системы интерферонов (*IFNAR1*, *IFNAR2*, *IFNGR1*, *IFNL4* (IL-28B)) у коренных и некоренных жителей Архангельской области.

Методы. Мы провели одномоментное исследование на случайной выборке взрослого населения Архангельска в возрасте от 43 до 74 лет (N=232, доля мужчин — 36,6%). Протокол исследования включал опрос участников и молекулярно-генетический анализ для определения аллелей и генотипов следующих однонуклеотидных вариантов: rs2257167 гена *IFNAR1*, rs2229207 гена *IFNAR2*, rs1327474 гена *IFNGR1*, rs12979860 гена *IFNL4* (IL-28B), rs8099917 гена *IFNL4* (IL-28B). Оценили соответствие наблюдаемого распределения генотипов в группах коренных и некоренных жителей ожидаемому распределению по закону Харди–Вайнберга и сравнили распределения между группами.

Результаты. Исследуемая группа включала 86 коренных и 146 некоренных жителей Архангельской области. У некоренных жителей распределение генотипов не соответствовало закону Харди–Вайнберга для варианта rs2229207 гена *IFNAR2* и rs12979860 гена *IFNL4* (IL-28B) из-за повышенного числа гетерозигот. В то же время для варианта rs1327474 гена *IFNGR1* число гетерозигот было ниже ожидаемого. Частота аллеля С rs2229207 гена *IFNAR2*, ассоциированного с риском тяжёлого течения вирусных инфекций, у жителей Архангельской области превышала частоту встречаемости данного аллеля в популяциях Европы и мира. Гомозиготный генотип СС rs2229207 гена *IFNAR2* встречался значительно реже среди коренного населения Архангельской области (2,6%) по сравнению с некоренными жителями (11,2%). Среди некоренного населения наблюдали более высокую частоту гетерозиготного генотипа СТ rs1327474 гена *IFNGR1*.

Заключение. Мы выявили особенности генетической структуры популяции взрослого населения Архангельской области, обусловленные миграцией жителей других регионов на Север. Эти особенности отражают повышенную распространённость генетических маркеров восприимчивости к вирусным инфекциям у некоренного населения Европейского Севера.

Ключевые слова: однонуклеотидные варианты; гены; интерфероны; коренное население; Россия; Север.

Как цитировать:

Кригер Е.А., Самодова О.В., Бебякова Н.А., Кудрявцев А.В., Иванова Л.В., Самойликов Р.В., Потапова М.Б., Солнцева В.К., Меремьянина Е.А., Свитич О.А. Однонуклеотидные варианты в генах системы интерферонов у коренных и некоренных жителей Архангельской области // Экология человека. 2025. Т. 32, № 4. С. 267–279. DOI: 10.17816/humeco678036 EDN: IIOVJH

Single Nucleotide Variants in Interferon System Genes in Indigenous and Non-Indigenous Residents of the Arkhangelsk Region

Ekaterina A. Krieger¹, Olga V. Samodova¹, Natalya A. Bebyakova¹, Alexander V. Kudryavtsev¹, Liudmila V. Ivanova¹, Roman V. Samoilikov², Mariia B. Potapova², Viktoriia K. Solntseva³, Ekaterina A. Meremianina², Oxana A. Svitich^{2,3}

¹ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;

² I. Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera, Moscow, Russia;

³ Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: In addition to climatic and social factors, individual susceptibility to infectious diseases among residents of the North is influenced by nucleotide sequence variants in interferon system genes. The protein products of these genes are involved in the immune response.

AIM: The study aimed to assess the prevalence of single nucleotide variants in interferon system genes (*IFNAR1*, *IFNAR2*, *IFNGR1*, *IFNL4* (IL-28B)) in indigenous and non-indigenous residents of Arkhangelsk region.

METHODS: A cross-sectional study was conducted on a random sample of adults aged 43–74 years residing in Arkhangelsk ($N=232$; 36.6% male). The study protocol included participant interviews and molecular genetic analysis to determine alleles and genotypes of the following single nucleotide variants: rs2257167 in *IFNAR1*, rs2229207 in *IFNAR2*, rs1327474 in *IFNGR1*, rs12979860 and rs8099917 in *IFNL4* (IL-28B). The observed genotype distributions in indigenous and non-indigenous groups were evaluated for compliance with Hardy–Weinberg equilibrium and compared between the groups.

RESULTS: The study population included 86 indigenous and 146 non-indigenous residents of Arkhangelsk region. Among non-indigenous residents, the genotype distributions of the variants rs2229207 (*IFNAR2*) and rs12979860 (*IFNL4* (IL-28B)) deviated from Hardy–Weinberg equilibrium due to an excess of heterozygotes. At the same time, for the rs1327474 (*IFNGR1*), the number of heterozygotes was lower than expected. The frequency of the C allele of rs2229207 (*IFNAR2*), associated with severe viral infections, was higher in the Arkhangelsk region population than in European and global populations. The homozygous CC genotype of rs2229207 (*IFNAR2*) was significantly less common in indigenous residents of the Arkhangelsk region (2.6%) than in non-indigenous residents (11.2%). A higher frequency of the heterozygous CT genotype of rs1327474 (*IFNGR1*) was observed in the non-indigenous residents.

CONCLUSION: This study identified specific features of the genetic structure of the adult population of the Arkhangelsk region, shaped by migration from other regions to the North. These findings reflect a higher prevalence of genetic susceptibility markers for viral infections among the non-indigenous population of the European North.

Keywords: single nucleotide variants; genes; interferons; indigenous population; Russia; North.

To cite this article:

Krieger EA, Samodova OV, Bebyakova NA, Kudryavtsev AV, Ivanova LV, Samoilikov RV, Potapova MB, Solntseva VK, Meremianina EA, Svitich OA. Single nucleotide variants in interferon system genes in indigenous and non-indigenous residents of the Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka* (Human Ecology). 2025;32(4):267–279. DOI: 10.17816/humeco678036 EDN: IIOVJH

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco678036>

EDN: IIOVJH

Arkhangelsk Region 居民干扰素系统基因中单核苷酸变异：横断面研究

Ekaterina A. Krieger¹, Olga V. Samodova¹, Natalya A. Bebyakova¹, Alexander V. Kudryavtsev¹, Liudmila V. Ivanova¹, Roman V. Samoilikov², Mariia B. Potapova², Viktoriia K. Solntseva³, Ekaterina A. Meremianina², Oxana A. Svitich^{2,3}

¹ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;

² I. Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera, Moscow, Russia;

³ Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

摘要

论证。除气候和社会因素外，干扰素系统基因中的核苷酸序列变异也是决定北方居民对感染性疾病个体易感性的因素之一。这些基因所产蛋白质参与免疫应答过程。

目的。评估 Arkhangelsk Region 原住民与非原住民中干扰素系统相关基因（*IFNAR1*、*IFNAR2*、*IFNGR1*、*IFNL4*（IL-28B））单核苷酸变异的分布频率。

方法。我们在Arkhangelsk市对一项随机抽取的43 - 74岁成年居民样本（N=232，男性占36.6%）进行了现况性研究。研究方案包括问卷调查与分子遗传分析，用于确定以下单核苷酸变异（SNV）的等位基因和基因型：*IFNAR1*基因rs2257167，*IFNAR2*基因rs2229207，*IFNGR1*基因rs1327474，*IFNL4*（IL-28B）基因rs12979860和rs8099917。评估原住民群体与非原住民群体中观察到的基因型分布是否符合哈迪 - 温伯格平衡定律所预测的分布，并比较两组之间的分布差异。

结果。研究对象中包括86名原住民和146名非原住民。非原住民群体在rs2229207（*IFNAR2*）和rs12979860（*IFNL4*（IL-28B））位点的基因型分布不符合哈迪 - 温伯格平衡定律，原因是杂合子数量偏高。与此同时，对于rs1327474（*IFNGR1*）这一变异位点，杂合子数量低于预期。与欧洲和全球人群相比，Arkhangelsk Region 居民中与病毒感染严重进程风险相关的rs2229207（*IFNAR2*）C等位基因的频率更高。rs2229207（*IFNAR2*）位点的CC纯合基因型在阿尔汉格尔斯克州原住民中出现频率显著低于非原住民（分别为2.6%和11.2%）。在非原住民中观察到rs1327474（*IFNGR1*）位点CT杂合基因型的频率更高。

结论。我们揭示了 Arkhangelsk Region 成年居民群体的遗传结构特征，这些特征是由其他地区居民迁移至北方所导致的。这些特征反映出在欧洲北部非原住民中，病毒感染易感性遗传标记的高频分布。

关键词：单核苷酸变异；基因；干扰素；原住民；俄罗斯；北方。

引用本文：

Krieger EA, Samodova OV, Bebyakova NA, Kudryavtsev AV, Ivanova LV, Samoilikov RV, Potapova MB, Solntseva VK, Meremianina EA, Svitich OA. Arkhangelsk Region 居民干扰素系统基因中单核苷酸变异：横断面研究. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(4):267–279. DOI: 10.17816/humeco678036 EDN: IIOVJH

收到: 02.04.2025

接受: 19.06.2025

发布日期: 12.07.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Проживание в неблагоприятных климатических условиях Севера существенно влияет на функционирование иммунной системы и адаптационные механизмы организма. При этом происходит не только кратковременная (физиологическая) акклиматизация, мобилизующая все системы организма для поддержания гомеостаза, но и длительная адаптация, сопровождающаяся изменениями на генетическом уровне. Эти изменения закрепляются в виде наследственных признаков популяций и этнических групп [1].

Иммунный профиль жителей Севера характеризуется снижением абсолютного числа Т-лимфоцитов, дефицитом активных фагоцитов и снижением концентрации секреторного иммуноглобулина А, что повышает восприимчивость к инфекционным заболеваниям [2]. Помимо климатических и социальных факторов, иммунный статус северян зависит от вариабельности нуклеотидной последовательности генов, белковые продукты которых участвуют в реализации иммунного ответа. Индивидуальные различия в восприимчивости к вирусным инфекциям определяются в том числе однонуклеотидными вариантами (Single nucleotide variants, SNVs) в генах системы интерферонов. Интерфероны играют ключевую роль в противовирусной защите, выступая связующим звеном между врождённым и адаптивным иммунным ответом. Интерфероны связываются со специфическими рецепторами на поверхности клеток, активируя сигнальные пути и экспрессию интерферон-стимулируемых генов. Белковые продукты этих генов выполняют широкий спектр функций, включая ингибирование вирусной транскрипции и трансляции, модуляцию воспалительного ответа и активацию естественных киллеров, макрофагов и Т-лимфоцитов [3].

SNVs в генах системы интерферонов могут определять индивидуальные различия в восприимчивости к инфекциям, особенностях их клинического проявления и эффективности терапии. В данной работе изучали SNVs в генах системы интерферонов, кодирующих рецепторы интерферонов: *IFNAR1* и *IFNAR2* (рецепторы интерферонов α/β I типа), *IFNGR1* (рецептор интерферона γ

II типа) и *IFNL4* (*IL-28B*, интерферон- λ 4 III типа), участвующих в противовирусном иммунном ответе. Отбор SNVs проводили на основании литературных данных и результатов собственных исследований, полученных при обследовании взрослого населения Архангельской области (табл. 1) [4–28].

SNVs в генах системы интерферонов могут оказывать как протективный эффект, обеспечивая адаптационные преимущества и повышая устойчивость организма к патогенам и неблагоприятным климатическим условиям, так и увеличивать риск возникновения заболеваний. L. Chen и соавт. показали, что носительство аллеля C rs2257167 гена *IFNAR1* оказывает протективный эффект в отношении туберкулёза [4]. Исследование, проведённое ранее на популяции Архангельска, показало взаимосвязь генотипа CC rs2257167 гена *IFNAR1* с манифестным (симптоматическим), но не тяжёлым течением новой коронавирусной инфекции — COVID-19 [5]. Другие работы указывают на связь аллеля C rs2257167 гена *IFNAR1* с риском тяжёлого течения вирусного гепатита В и развития острой печёночной недостаточности [6, 7]. Кроме того, наличие аллеля C rs2257167 гена *IFNAR1* в 3,4 раза повышает риск инфицирования новорождённых вирусом Зика, что связано с особенностями регуляции плацентарного иммунного ответа [8].

SNVs гена *IFNAR2* также ассоциированы с рядом патологических состояний. Например, аллель C rs2229207 гена *IFNAR2* связан с риском развития хронического вирусного гепатита В из-за функциональной неполноценности интерфероновых рецепторов, что ослабляет противовирусный ответ и способствует уклонению вируса от иммунного контроля [9]. Кроме этого, по данным литературы SNVs в гене *IFNAR2* могут влиять на тяжесть течения респираторных вирусных инфекций, включая COVID-19 и грипп, а также повышать риск нежелательных явлений при вакцинации живыми вакцинами [10–13]. Исследования с участием взрослого населения Архангельска показали, что у носителей аллеля T rs2229207 гена *IFNAR2* COVID-19 реже протекала бессимптомно, однако манифестное течение заболевания протекало в лёгкой/умеренной форме без осложнений и имело благоприятный исход [5]. Напротив, по результатам других авторов,

Таблица 1. Рассматриваемые однонуклеотидные варианты в генах системы интерферонов

Table 1. Single nucleotide variants in interferon system genes considered in the study

Ген*	Локализация гена	NCBI, dbSNV	Область изменения (ген/белок)	Ссылки
<i>IFNAR1</i>	21q22.11	rs2257167	Миссенс-вариант (Missense variant)	[4–8]
<i>IFNAR2</i>	21q22.11	rs2229207	Миссенс-вариант (Missense variant)	[9–15]
<i>IFNGR1</i>	6q23.3	rs1327474	Варианта регуляторной области гена (Regulatory region variant)	[5, 16]
<i>IFNL4 (IL-28B)</i>	19q13.2	rs12979860	Интронный вариант (Intron variant)	[17–25]
<i>IFNL4 (IL-28B)</i>	19q13.2	rs8099917	Межгенный вариант (Intergenic variant)	[20, 22, 26–28]

Примечание: * *IFNAR1* — рецептор интерферона- α/β 1, *IFNAR2* — рецептор интерферона- α/β 2, *IFNGR1* — рецептор интерферона- γ 1, *IFNL4 (IL-28B)* — интерферон- λ 4 (интерлейкин-28B).

полученным на популяции вьетнамцев, аллель С и гетерозиготный генотип TC rs2229207 гена *IFNAR2* ассоциированы с повышенным риском заражения SARS-CoV-2 [15]. При генотипе TT rs2229207 гена *IFNAR2* чаще определяли специфические иммуноглобулины класса G к вирусу гриппа А в результате перенесённой инфекции, что может свидетельствовать о повышенной восприимчивости к данной инфекции [14].

Исследование, проведённое ранее в Архангельске, выявило большую частоту пневмонии при COVID-19 у носителей генотипа TT rs1327474 гена *IFNGR1* [5]. Согласно результатам Y. Chen и соавт., наличие аллеля С rs1327474 гена *IFNGR1* снижает риск развития туберкулёза [16].

По данным S.H.A. Agwa и соавт., аллель С rs1297986 гена *IFNL4 (IL-28B)* ассоциирован с тяжёлым течением COVID-19 [17]. Неблагоприятные исходы заболевания чаще наблюдались у пациентов с гетерозиготным генотипом СТ [17]. Однако исследование J.M.R. Saponi-Cortes и соавт. демонстрирует противоположные результаты: аллель Т связан с риском тяжёлого течения COVID-19 [18]. Другие авторы обнаружили связь генотипа TT rs1297986 гена *IFNL4 (IL-28B)* с тяжёлым течением инфекций, вызванных РНК-вирусами, а также повышенным риском пневмонии и неблагоприятным прогнозом при COVID-19 [19, 20]. Также установлена связь аллеля Т rs1297986 гена *IFNL4 (IL-28B)* с восприимчивостью к вирусному гепатиту С и риском развития гепатокарциномы [21, 22]. Исследования эффективности противовирусной терапии (пегилированным интерфероном альфа в комбинации с рибавирином) при гепатите С показали, что вирус был элиминирован у 80% пациентов с генотипом CC rs1297986 гена *IFNL4 (IL-28B)* и только у 25% пациентов с генотипом TT, в то время как у пациентов с генотипом СТ результат был промежуточным [23–25].

Согласно литературным данным, наличие аллеля G rs8099917 гена *IFNL4 (IL-28B)* ассоциировано с высокой частотой сероконверсии в ответ на вакцинацию против гриппа [26]. Генотип GG rs8099917 гена *IFNL4 (IL-28B)* ассоциирован с тяжёлым течением COVID-19 и неблагоприятным прогнозом [20, 27]. Кроме того, аллель G повышает риск развития цирроза печени и устойчивости к лечению аналогами нуклеозидов у пациентов с хроническим вирусным гепатитом В [22–28].

Различия в частоте встречаемости SNVs в генах системы интерферонов могут влиять на восприимчивость популяции к инфекционным заболеваниям. Генетический анализ популяции с учётом клинической значимости SNVs в генах позволит расширить представления о взаимодействии генетических и средовых факторов при адаптации к условиям Севера; определить долю населения с повышенным риском развития и тяжёлого течения инфекций; прогнозировать масштабы распространения и потенциальное эпидемиологическое время.

Цель исследования

Оценить распространённость однонуклеотидных вариантов в генах системы интерферонов (*IFNAR1*, *IFNAR2*, *IFNGR1*, *IFNL4 (IL-28B)*) у коренных и некоренных жителей Архангельской области.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено поперечное исследование, включавшее молекулярно-генетический анализ с участием случайной выборки взрослого населения Архангельска.

Условия проведения исследования

Исследование выполнено на базе ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России (Архангельск, Москва) в сотрудничестве с ФБУН «Научно-исследовательский институт системной биологии и медицины» Роспотребнадзора (Москва, Россия). В исследование включили участников популяционного исследования «Узнай своё сердце» (2015–2017 гг.), давших согласие на участие в последующих исследованиях [29]. В 2022 году провели анализ распространённости SNVs в генах системы интерферонов 232 участников в возрасте 43–74 лет, согласившихся принять участие в проекте «Молекулярно-генетические маркеры реакции организма на новую коронавирусную инфекцию и изменения микробиоты и метаболома человека в результате пандемии COVID-19». Программа исследования включала опрос и забор образцов цельной крови. В 2023–2024 годах провели дополнительное обследование этих же участников по протоколу «Биомаркеры индивидуальной жизнеспособности», предусматривавшее сбор данных о месте рождения участников и их предков в трёх поколениях. Коренными жителями Архангельской области считали участников, у которых не менее двух поколений предков со стороны обоих родителей родились в Архангельской области. Остальных участников отнесли к категории некоренного населения.

Все участники исследования добровольно подписали информированное согласие на участие. Проведение исследования было одобрено этическим комитетом СГМУ (протокол № 07/09-2022 от 28.09.2022, протокол № 03/04-23 от 26.04.2023, протокол № 06/09-23 от 27.09.23).

Лабораторные методы

Образцы цельной крови забирали натошак из локтевой вены в вакуумные пробирки с антикоагулянтom (ЭДТА). После пробы замораживали и хранили при –80 °С до завершения этапа сбора образцов. Нуклеиновые кислоты выделяли с использованием наборов РИБО-сорб (AmpliSens, Россия) согласно инструкции производителя. Молекулярно-генетический анализ включал определение аллелей и генотипов SNVs rs2257167 (*IFNAR1*), rs2229207

(*IFNAR2*), rs1327474 (*IFNGR1*), rs12979860 (*IFNL4* (*IL-28B*)), rs8099917 (*IFNL4* (*IL-28B*)) методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени на ДНК-амплификаторе DTrime 5 (ДНК-технологии, Россия) в соответствии с инструкцией к наборам реагентов.

Статистический анализ

Категориальные данные представлены в виде абсолютных и относительных значений (n , %). Некоторые переменные, отражающие распространённость референсных и альтернативных аллелей изучаемых SNVs в генах системы интерферонов среди коренных и некоренных жителей Архангельской области, представлены с 95% доверительным интервалом (ДИ), рассчитанными по методу Уилсона [30].

Оценка соответствия наблюдаемого распределения генотипов в группах коренных и некоренных жителей ожидаемому при соблюдении закона Харди–Вайнберга и сравнение наблюдаемых распределений между группами проводили с использованием команды `genhwsc` для программного обеспечения Stata [31, 32]. Результаты анализа представлены в виде значений критерия χ -квадрат для оценки соответствия закону Харди–Вайнберга и отношения правдоподобия для межгруппового сравнения. При сравнении распределений аллелей и генотипов контрольной группой служили коренные жители, у которых генотипическое распределение соответствовало закону Харди–Вайнберга. При сравнении распространённости аллелей SNVs в генах системы интерферонов у жителей Архангельской области с общемировыми данными и данными по странам Европы использовали базы данных генетических последовательностей GenBank (National Center for Biotechnology Information, США) [33]. Различия считали статистически значимыми, если 95% доверительный интервал для распространённости референсных и альтернативных аллелей SNVs не включал сравниваемое значение. Сравнение распределения аллелей, генотипов и гаплотипов в группах коренных и некоренных жителей Архангельской области проводили с использованием критерия χ -квадрат Пирсона. Расчёты выполняли с использованием программного обеспечения Stata 18.0 (Stata Corp., США). При $p < 0,05$ результаты считали статистически значимыми.

Анализ чувствительности в исследовании не проводили. Размер выборки предварительно не рассчитывали.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследуемая группа включала 147 женщин (63,4%) и 85 мужчин (36,6%), проживающих на территории Архангельской области не менее десяти лет. Группу коренных жителей составили 86 человек (37,1%), предки которых, не менее двух предшествующих поколений, родились и жили в Архангельской области. Остальные 146 человек (62,9%) были отнесены к группе некоренных жителей.

Оценка частоты встречаемости аллелей и генотипов SNVs в генах системы интерферонов показала, что у коренного и некоренного населения Архангельской области распределение генотипов соответствует ожидаемому при соблюдении закона Харди–Вайнберга ($p > 0,05$) для вариантов rs2257167 (*IFNAR1*) и rs8099917 (*IFNL4* (*IL-28B*)) (табл. 2). Для вариантов rs2229207 (*IFNAR2*), rs1327474 (*IFNGR1*) и rs12979860 (*IFNL4* (*IL-28B*)) распределение генотипов у некоренного населения отклонялось от ожидаемого по закону Харди–Вайнберга. В случае SNVs rs2229207 гена *IFNAR2* ($p < 0,001$) и rs12979860 гена *IFNL4* (*IL-28B*) ($p = 0,008$) наблюдали меньшее количество гомозигот как по референсному, так и по альтернативному аллелю, а также большее количество гетерозигот по сравнению с ожидаемыми значениями. Для варианта rs1327474 гена *IFNGR1* выявили противоположную тенденцию: количество гетерозигот оказалось ниже ожидаемого значения ($p = 0,032$).

Частоты встречаемости аллелей SNVs в генах системы интерферонов у жителей Архангельска не отличались от данных по Европе и общемировых данных, за исключением аллеля C rs2229207 гена *IFNAR2* (табл. 3). У коренных жителей Европейского Севера частота этого аллеля составила 0,135 (95% ДИ: 0,090–0,197), что выше, чем в Европе (0,080) и мире (0,087). У некоренных жителей частота данного аллеля составила 0,203 (95% ДИ: 0,160–0,253), что значительно превышает средние общемировые (0,087) и европейские (0,080) показатели. Анализ распределения генотипов SNVs выявил более высокую распространённость генотипа CC rs2229207 гена *IFNAR2* среди некоренного населения (11,2%) по сравнению с коренными жителями (2,6%; $p = 0,018$) (табл. 4). В группе некоренных жителей доля гетерозигот rs1327474 гена *IFNGR1* была выше (57,5 против 40,7%; $p = 0,044$).

Также мы проанализировали частоты встречаемости гаплотипов SNVs в генах, локализованных в одной хромосоме: rs2257167 (*IFNAR1*) и rs2229207 (*IFNAR2*), rs12979860 (*IFNL4*) и rs8099917 (*IFNL4* (*IL-28B*)); учитывая возможность их сцепленного наследования. Гаплотип GGTT вариантов rs2257167 и rs2229207 в генах *IFNAR* встречался наиболее часто как среди коренных (59,0%), так и среди некоренных жителей (51,7%; $p = 0,303$). Гаплотип GGTC выявлен у 15,5% коренных и 14,7% некоренных жителей ($p = 0,889$), а гаплотип GCTT — у 14,1 и 16,1% соответственно ($p = 0,696$), без значимых различий между группами. Гаплотип GGCC встречался у 8,4% некоренных жителей и только 2,6% коренных ($p = 0,074$). Другие гаплотипы rs2257167 и rs2229207 в генах *IFNAR* наблюдали значительно реже.

Гаплотип CCTT rs12979860 и rs8099917 в генах *IFNL4* (*IL-28B*) выявили более чем у половины коренных (52,3%) и некоренных (52,7%) жителей ($p = 0,951$). Гаплотип CTTG наблюдался у 17,4% коренных и у 23,3% некоренных жителей ($p = 0,292$), а гаплотип CTTT у 17,4% коренных и только у 9,6% некоренных жителей Архангельской

Таблица 2. Частота встречаемости референсных и альтернативных аллелей и генотипов однонуклеотидных вариантов в генах системы интерферонов у жителей Архангельской области

Table 2. Frequencies of reference and alternative alleles and genotypes of single nucleotide variants in interferon system genes among residents of the Arkhangelsk region

Участники исследования	N	Аллель		Наблюдаемые значения			Ожидаемые значения			Тест ХВ*, p	Различие генотипов, p*
		Ref, N	Alt, N	RefHom, N	Het, N	AltHom, N	RefHom, N	Het, N	AltHom, N		
rs2257167 (IFNAR1)											
		G	C	GG	GC	CC	GG	GC	CC		
Коренные	86	147	25	64	19	3	63	21	2	0,304	0,619
Некоренные	146	251	41	110	31	5	108	35	3	0,146	
rs2229207 (IFNAR2)											
		T	C	TT	TC	CC	TT	TC	CC		
Коренные	78	135	21	59	17	2	58	18	1	0,569	0,164
Некоренные	143	228	58	101	26	16	91	46	6	<0,001	
rs1327474 (IFNGR1)											
		C	T	CC	CT	TT	CC	CT	TT		
Коренные	86	71	101	18	35	33	15	42	30	0,137	0,321
Некоренные	146	124	168	20	84	42	26	71	48	0,032	
rs12979860 (IFNL4 (IL-28B))											
		C	T	CC	CT	TT	CC	CT	TT		
Коренные	86	120	452	45	30	11	42	36	8	0,109	0,287
Некоренные	146	204	88	78	48	20	71	62	13	0,008	
rs8099917 (IFNL4 (IL-28B))											
		T	G	TT	TG	GG	TT	TG	GG		
Коренные	86	146	26	63	20	3	62	22	2	0,385	0,211
Некоренные	146	231	61	93	45	8	91	48	6	0,415	

Примечание: * — Тест Харди–Вайнберга, генотипическое распределение некоренных жителей при условии, что генотипическое распределение группы коренных жителей соответствует закону Харди–Вайнберга. Ref — референсный аллель, Alt — альтернативный аллель, RefHom — гомозиготы по референсному аллелю, AltHom — гомозиготы по альтернативному аллелю, Het — гетерозиготы; тест ХВ — тест на равновесие Харди–Вайнберга.

области ($p=0,081$). Другие гаплотипы rs12979860 и rs8099917 в генах *IFNL4 (IL-28B)* встречались редко.

ОБСУЖДЕНИЕ

Мы исследовали распространённость SNVs в генах системы интерферонов среди коренного и некоренного населения Архангельской области. Результаты выявили особенности генетической структуры популяции, вероятно, обусловленные различиями в восприимчивости и тяжести течения инфекционных заболеваний и миграционными процессами.

В обеих группах — как среди коренных, так и среди некоренных жителей — распределение генотипов SNVs rs2257167 (*IFNAR1*) и rs8099917 (*IFNL4 (IL-28B)*) соответствовало ожидаемому при соблюдении закона Харди–Вайнберга. Однако у некоренных жителей наблюдали отклонения от этого закона по SNVs rs2229207 гена *IFNAR2*,

rs12979860 гена *IFNL4 (IL-28B)*, обусловленное меньшим в сравнении с ожидаемым количеством гетерозигот. Также обнаружили несоответствие по rs1327474 гена *IFNGR1*, связанное с большим числом гетерозигот, что отражает последствия недавней популяционной динамики.

Некоренные жители Архангельской области представляют собой этнически и географически разнородную группу. Нарушение равновесия Харди–Вайнберга у некоренных жителей может объясняться миграционными процессами [1]. Кроме того, пандемия COVID-19 могла повлиять на генетическую структуру популяции. В частности, более низкая, чем ожидалось, частота гетерозиготного генотипа CT rs12979860 гена *IFNL4 (IL-28B)* может быть связана с более тяжёлым течением инфекции и повышенным риском неблагоприятного исхода у носителей этого генотипа, что подтверждают литературные данные [17].

Распространённость аллелей SNVs в генах системы интерферонов у коренных жителей Архангельской области

Таблица 3. Распространённость аллелей однонуклеотидных вариантов в генах системы интерферонов у населения Архангельской области в сравнении европейскими и общемировыми популяциями

Table 3. Prevalence of alleles of single nucleotide variants in interferon system genes in the population of the Arkhangelsk region compared with European and global populations

SNVs	Архангельская область		Страны Европы	Общемировые данные
	Коренные	Некоренные		
	Пропорция, 95% ДИ		Пропорция	
rs2257167 (IFNAR1)				
Ref (G)	0,855 (0,794-0,899)	0,860 (0,815-0,895)	0,863	0,854
Alt (C)	0,145 (0,100-0,206)	0,140 (0,105-0,185)	0,137	0,146
rs2229207 (IFNAR2)				
Ref (T)	0,865 (0,803-0,910)	0,797 (0,747-0,840)	0,920	0,913
Alt (C)	0,135*(0,090-0,197)	0,203* (0,160-0,253)	0,080	0,087
rs1327474 (IFNGR1)				
Ref (C)	0,413 (0,341-0,487)	0,425 (0,369-0,482)	0,454	0,425
Alt (T)	0,587 (0,513-0,658)	0,575 (0,518-0,631)	0,546	0,575
rs12979860 (IFNL4 (IL-28B))				
Ref (C)	0,698 (0,625-0,761)	0,699 (0,644-0,748)	0,691	0,672
Alt (T)	0,302 (0,239-0,375)	0,301 (0,252-0,356)	0,309	0,328
rs8099917 (IFNL4 (IL-28B))				
Ref (T)	0,849 (0,788-0,894)	0,791 (0,741-0,834)	0,803	0,809
Alt (G)	0,151 (0,105-0,212)	0,208 (0,166-0,259)	0,197	0,191

Примечание: Ref — референсный аллель, Alt — альтернативный аллель. * — доверительный интервал для распространённости аллелей не включает значения, с которым идёт сравнение, различия статистически значимые.

Таблица 4. Распределение аллелей и генотипов однонуклеотидных вариантов в генах системы интерферонов у жителей Архангельской области

Table 4. Distribution of alleles and genotypes of single nucleotide variants in interferon system genes among residents of the Arkhangelsk region

SNVs/аллель/генотип	Коренные	Некоренные	Различия аллелей/генотипов, <i>p</i> *
	Пропорция, %		
rs2257167 (IFNAR1)			
G	85,5	86,0	0,883
C	14,5	14,0	
GG	74,4	75,3	0,963
GC	22,1	21,2	
CC	3,5	3,5	
GG	74,4	75,3	0,875
GC/CC	25,6	24,7	
CC	3,5	3,5	0,980
GC/GG	96,5	96,5	
rs2229207 (IFNAR2)			
T	86,5	79,7	0,074
C	13,5	20,3	
TT	75,6	70,6	0,073

Окончание таблицы 4
End of the Table 4

SNVs/аллель/генотип	Коренные	Некоренные	Различия аллелей/генотипов, <i>p</i> *
	Пропорция, %		
TC	21,8	18,2	0,426
CC	2,6	11,2	
TT	75,6	70,6	
TC/CC	24,4	29,4	
CC	2,6	11,2	0,018
TC/TT	97,4	88,8	
rs1327474 (IFNGR1)			
C	41,3	42,5	0,802
T	58,7	57,5	
CC	20,9	13,7	0,044
CT	40,7	57,5	
TT	38,4	28,8	
CC	20,9	13,7	0,151
TC/TT	79,1	86,3	
TT	38,4	28,8	0,131
TC/CC	61,6	71,2	
rs12979860 (IFNL4 (IL-28B))			
C	69,8	69,9	0,982
T	30,2	30,1	
CC	52,3	53,4	0,946
CT	34,9	32,9	
TT	12,8	13,7	
CC	52,3	53,4	0,892
TC/TT	47,7	46,6	
TT	12,8	13,7	0,844
TC/CC	87,2	86,3	
rs8099917 (IFNL4 (IL-28B))			
T	84,9	79,1	0,128
G	15,1	20,9	
TT	73,3	63,7	0,322
TG	23,2	30,8	
GG	3,5	5,5	
TT	73,3	63,7	0,134
TG/GG	26,7	36,3	
GG	3,5	5,5	0,751
TG/TT	96,5	94,5	

Примечание: * — Тест χ -квадрат Пирсона (сравнение пропорций в группах коренных и некоренных жителей).

соответствовала данным по европейским и общемировым популяциям, за исключением аллеля C rs2229207 гена *IFNAR2*. Этот аллель встречался у коренного населения Архангельска чаще, чем в странах Европы и мире в целом. Среди некоренных жителей его распространённость оказалась ещё выше, превышая европейские и мировые показатели более чем в 2 раза. Аллель C rs2229207 гена *IFNAR2* ассоциирован с риском тяжёлого течения вирусных инфекций, включая COVID-19 и вирусный гепатит В [9, 15]. Его повышенная частота у жителей Архангельской области по сравнению с другими регионами мира может быть следствием естественного отбора, связанного с устойчивостью к определённым инфекциям, что могло повлиять на генетический состав популяции. Другим возможным фактором могла быть неравномерность распространения эпидемий инфекционных заболеваний: густонаселённые районы Европы, центральной и южной России подвергались более интенсивному воздействию, тогда как северные территории, включая Архангельскую область, могли оставаться менее затронутыми.

В России проведено сравнительно мало исследований распространённости SNVs в генах системы интерферонов. Например, в рамках проекта по объединению генетической информации между клиническими лабораториями и геномными центрами России (RUSeq) доступны данные только по двум из пяти SNVs: rs2257167 (*IFNAR1*), rs2229207 (*IFNAR2*). Частота аллеля C rs2229207 гена *IFNAR2* среди коренного населения Архангельской области (0,135) была сопоставима с показателями по Европейской части России (0,133). Среди некоренных жителей этот аллель встречался в 1,5 раза чаще (0,203). Гомозиготный генотип CC rs2229207 гена *IFNAR2* регистрировали значительно реже среди коренного населения Архангельской области (2,6%), чем у некоренных жителей (11,2%). Меньшая частота данного генотипа среди коренных жителей может свидетельствовать о влиянии естественного отбора, способствующего выживанию носителей протективных генетических маркеров в условиях высокой инфекционной нагрузки. Пандемия COVID-19 также могла повлиять на генетическую структуру популяции, поскольку лица с повышенной восприимчивостью к вирусным инфекциям, включая носителей аллеля C, вероятно, сталкивались с повышенным риском тяжёлых форм заболевания и неблагоприятных исходов. Предположительно, среди коренного населения Европейского Севера генотип CC встречался реже, из-за связанного с ним риска, тогда как гетерозиготные носители могли обладать большей устойчивостью к инфекциям. Кроме того, некоренное население происходило из популяций с изначально более высокой частотой аллеля C. Например, в азиатских популяциях данный аллель встречаются значительно чаще (0,190–0,223). Эти данные согласуются с исследованием К.В. Афоничевой и соавт., которое показало, что у славян распределение SNVs в генах системы

интерферонов соответствует европейским популяциям, а у коренных народов Арктики — азиатским [34]. Таким образом, большая частота генотипа CC rs2229207 гена *IFNAR2* у пришлого населения может объясняться относительно недавним воздействием селективного давления условий Севера.

У некоренных жителей Архангельской области чаще встречался гетерозиготный генотип CT rs1327474 гена *IFNGR1*, чем у коренных. Различия в частотах аллелей между этими группами могут отражать влияние миграционных процессов. Некоренное население состоит из потомков групп с разными частотами аллелей, и при их смешении доля гетерозигот могла увеличиться. Возможно, это давало адаптивное преимущество в условиях Севера, снижая восприимчивость к инфекциям и повышая приспособленность к окружающей среде.

Ограничения исследования

Сильной стороной исследования является включение случайной популяционной выборки, что позволяет обобщить результаты обследования на жителей Архангельской области в возрасте 43–74 лет. Однако из-за генетических различий между популяциями, проживающими в разных регионах России, полученные данные не могут быть напрямую экстраполированы на население других территорий. Кроме того, проведение одного одномоментного исследования ограничивает возможности анализа динамических процессов, отражающих адаптацию к условиям Севера. В рамках данного исследования отсутствовала техническая возможность верификации результатов, включая повторное генотипирование с использованием альтернативной тест-системы или секвенирование части образцов для подтверждения находок. Описанные ограничения следует учитывать при интерпретации полученных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У коренного населения Европейского Севера России, проживающего в Архангельской области не менее трёх поколений, распределение генотипов SNVs в генах системы интерферонов было стабильным. В то же время у некоренного населения наблюдали признаки генетической неравновесности, а именно отклонение распределения генотипов rs2229207 гена *IFNAR2*, rs1327474 гена *IFNGR1*, rs12979860 гена *IFNL4* (*IL-28B*) от равновесия Харди–Вайнберга.

Распространённость аллеля C rs2229207 гена *IFNAR2*, ассоциированного с риском тяжёлого течения вирусных инфекций, была выше у некоренного населения, чем у коренных жителей. Среди некоренного населения наблюдали повышенную частоту гетерозиготного генотипа CT rs1327474 гена *IFNGR1*, что, вероятно, отражает процессы смешения популяций с различающимися частотами аллелей.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Е.А. Кригер — общая концепция статьи, написание дrafта статьи, статистический анализ данных; О.В. Самодова — участие в написании разделов «Обоснование», «Обсуждение», редактирование статьи; Н.А. Бебякова — общая концепция статьи, сбор данных, редактирование статьи; А.В. Кудрявцев — общая концепция статьи, редактирование статьи, организация сбора данных, общее руководство; Л.В. Иванова — сбор и анализ литературных источников, участие в написании разделов «Обоснование», «Обсуждение»; Р.В. Самойликов, М.Б. Потапова, В.К. Солнцева — выполнение молекулярно-генетических анализов, описание материалов и методов; Е.А. Меремьянина — разработка систем детекции SNVs в генах *IFNAR1*, *IFNAR2* и *IFNGR1*, редактирование статьи; О.А. Свитич — консультирование авторов, редактирование статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом СГМУ (протокол № 07/09-2022 от 28.09.2022, протокол № 03/04-23 от 26.04.2023, протокол № 06/09-23 от 27.09.23). Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источник финансирования. Научное исследование проведено при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 23-15-20017 (<https://rscf.ru/project/23-15-20017/>)).

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.

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

Доступ к данным. Авторы сообщают, что все данные представлены в статье и/или приложениях к ней.

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: E.A. Krieger: conceptualization, formal analysis, writing—original draft; O.V. Samodova: writing—original draft: “Background” and “Discussion” sections, writing—review & editing; N.A. Bebyakova: conceptualization, data curation, writing—review & editing; A.V. Kudryavtsev: conceptualization, supervision, project administration, writing—review & editing; L.V. Ivanova: collection and analysis of sources, writing—original draft: “Background” and “Discussion” sections; R.V. Samoilkov, M.B. Potapova, V.K. Solntseva: investigation: molecular genetic analysis, methodology; E.A. Meremianina: development of detection system for polymorphic markers in *IFNAR1*, *IFNAR2* and *IFNGR1* genes, writing—review & editing; O.A. Svitich: supervision, writing—review & editing. All the 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 Northern State Medical University (Protocol No. 07/09-2022 dated September 28, 2022; Protocol No. 03/04-23 dated April 26, 2023; Protocol No. 06/09-23 dated September 27, 2023). All participants provided written informed consent prior to enrollment in the study.

Funding sources: The scientific research was supported by the Russian Science Foundation (Grant No. 23-15-20017 (<https://rscf.ru/project/23-15-20017/>)).

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: All data generated during this study are available in the article and/or its supplementary materials.

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. Bezmenova IN. Selection of informative genetic markers for assessment of adaptabilities of northerners: a review. *Public Health and Life Environment – PH&LE*. 2023;31(1):7–12. DOI: 10.35627/2219-5238/2023-31-1-7-12 EDN: GEFVEQ
2. Gubkina LV, Samodova AV, Dobrodeeva LK. Features of systemic and local immune reactions in the Kola samis and Russians living in the Far North. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024;3(1):131–136. DOI: 10.37614/2949-1185.2024.3.1.015 EDN: UFFFGK
3. Lacoma A, Mateo L, Blanco I, et al. Impact of host genetics and biological response modifiers on respiratory tract infections. *Front. Immunol.* 2019;10:1013. DOI: 10.3389/fimmu.2019.01013
4. Chen L, Zhang G, Li G, et al. *IFNAR* gene variants influence gut microbial production of palmitoleic acid and host immune responses to tuberculosis. *Nat. Metab.* 2022;4(3):359–373. DOI: 10.1038/s42255-022-00547-3 EDN: QCWSMM
5. Krieger EA, Samodova OV, Svitich OA, et al. The impact of polymorphic variants of interferon receptor genes on COVID-19 severity and antibiotic resistance. *Russian Journal of Infection and Immunity*. 2024;13(6):1027–1039. DOI: 10.15789/2220-7619-TIO-17537 EDN: BRMZLE
6. He XX, Chang Y, Jiang HJ, et al. Persistent effect of IFNAR-1 genetic polymorphism on the long-term pathogenesis of chronic HBV infection. *Viral Immunol.* 2010;23(3):251–257. DOI: 10.1089/vim.2009.0102
7. Song LeH, Xuan NT, Toan NL, et al. Association of two variants of the interferon-alpha receptor-1 gene with the presentation of hepatitis B virus infection. *Eur. Cytokine Network*. 2008;19(4):204–210. DOI: 10.1684/ecn.2008.0137
8. Azamor T, Cunha DP, da Silva AMV, et al. Congenital Zika Syndrome is associated with interferon alfa receptor 1. *Front. Immunol.* 2021;12:764746. DOI: 10.3389/fimmu.2021.764746. EDN: WICDBA
9. Frodsham AJ, Zhang L, Dumpis U, et al. Class II cytokine receptor gene cluster is a major locus for hepatitis B persistence. *PNAS*. 2006;103(24):9148–9153. DOI: 10.1073/pnas.0602800103
10. Duncan CJA, Mohamad SMB, Young DF, et al. Human *IFNAR2* deficiency: lessons for antiviral immunity. *Sci. Transl. Med.* 2015;7(307):307ra154 DOI: 10.1126/scitranslmed.aac4227
11. Passarelli C, Civino A, Rossi MN, et al. *IFNAR2* deficiency causing dysregulation of NK cell functions and presenting with hemophagocytic lymphohistiocytosis. *Front. Genet.* 2020;11. DOI: 10.3389/fgene.2020.00937 EDN: ODTIFC
12. Duncan CJA, Skouboe MK, Howarth S, et al. Life-threatening viral disease in a novel form of autosomal recessive *IFNAR2* deficiency in the Arctic. *J. Exp. Med.* 2022;219(6). DOI: 10.1084/jem.20212427 EDN: WDZOMY
13. Adi G, Obaid Z, Hafez DH, et al. Severe adverse reaction to Measles Vaccine due to homozygous mutation in the *IFNAR2* gene: a case

- report and literature review. *J. Clin. Immunol.* 2024;45(1):30. DOI: 10.1007/s10875-024-01814-6 EDN: DAIIYI
14. Krieger EA, Samodova OV, Svitich OA, et al. The impact of interferon receptor gene polymorphisms on humoral immunity to influenza and frequency of acute respiratory viral infections; taking into account vaccination status. *Journal Infectology.* 2024;16(2):63-74. DOI: 10.22625/2072-6732-2024-16-2-63-74 EDN: OTGHVJ
 15. Nhung VP, Ton ND, Ngoc TTB, et al. Host genetic risk factors associated with COVID-19 susceptibility and severity in vietnamese. *Genes.* 2022;13(10):1884. DOI: 10.3390/genes13101884 EDN: TMVJZB
 16. Chen Y, Zeng Y, Wang J, Meng C. Immune and inflammation-related gene polymorphisms and susceptibility to tuberculosis in Southern Xinjiang population: A case-control analysis. *Int. J. Immunogenet.* 2022;49(2):70-82. DOI: 10.1111/iji.12564 EDN: QGQTCU
 17. Agwa SHA, Kamel MM, Elghazaly H, et al. Association between Interferon-Lambda-3 rs12979860, TLL1 rs17047200 and DDR1 rs4618569 variant polymorphisms with the course and outcome of SARS-CoV-2 patients. *Genes.* 2021;12(6):830. DOI: 10.3390/genes12060830 EDN: HBPZQE
 18. Saponi-Cortes JMR, Rivas MD, Calle-Alonso F, et al. IFNL4 genetic variant can predispose to COVID-19. *Sci. Rep.* 2021;11(1):21185. DOI: 10.1038/s41598-021-00747-z EDN: YXQWBQ
 19. Nikolaeva LI, Saponov GV, D'jachenko VV, et al. Interferon-lambda 3 is involved in the permission of pneumonia development after infection with respiratory viruses including SARS-CoV-2. *International Medicine.* 2021;3(1):4-9. DOI: 10.5455/im.115159 EDN: CDVWBE
 20. Rahimi P, Tarharoudi R, Rahimpour A, et al. The association between interferon lambda 3 and 4 gene single-nucleotide polymorphisms and the recovery of COVID-19 patients. *Virology.* 2021;18(1):221. DOI: 10.1186/s12985-021-01692-z EDN: ECCLYQ
 21. Kaczor MP, Seczyńska M, Szczeklik W, Sanak M. IL28B polymorphism (rs12979860) associated with clearance of HCV infection in Poland: systematic review of its prevalence in chronic hepatitis C patients and general population frequency. *Pharmacol. Rep.* 2015;67(2):260-266. DOI: 10.1016/j.pharep.2014.10.006
 22. Zhang Y, Zhu SL, Chen J, Li LQ. Meta-analysis of associations of interleukin-28B polymorphisms rs8099917 and rs12979860 with development of hepatitis virus-related hepatocellular carcinoma. *Oncotargets Ther.* 2016;9:3249-57. DOI: 10.2147/OTT.S104904
 23. Ge D, Fellay J, Thompson AJ, et al. Genetic variation in IL28B predicts hepatitis C treatment-induced viral clearance. *Nature.* 2009;461(7262):399-401 DOI: 10.1038/nature08309
 24. Tanaka Y, Nishida N, Sugiyama M, et al. Genome-wide association of IL28B with response to pegylated interferon-alpha and ribavirin therapy for chronic hepatitis C. *Nat. Genet.* 2009;41(10):1105-1109. DOI: 10.1038/ng.449
 25. Suppiah V, Moldovan M, Ahlenstiel G, et al. IL28B is associated with response to chronic hepatitis C interferon-alpha and ribavirin therapy. *Nat. Genet.* 2009;41(10):1100-1104. DOI: 10.1038/ng.447
 26. Egli A, Santer DM, O'Shea D, et al. IL-28B is a key regulator of B- and T-cell vaccine responses against influenza. *PLoS Pathog.* 2014;10(12):e1004556. DOI: 10.1371/journal.ppat.1004556 EDN: UPTNPR
 27. Matic S, Milovanovic D, Mijailovic Z, et al. IFNL3/4 polymorphisms as a two-edged sword: an association with COVID-19 outcome. *J. Med. Virol.* 2023;95(2):e28506. DOI: 10.1002/jmv.28506 EDN: NHDGPG
 28. Kakal B, Cavus B, Atasoy A, et al. The effects of IL28B rs12979860 and rs8099917 polymorphism on hepatitis B infection. *North. Clin. Istanbul.* 2022;9(5):439-444. DOI: 10.14744/nci.2022.37542 EDN: FFFZTMF
 29. Cook S, Malyutina S, Kudryavtsev A, et al. Know your heart: Rationale, design and conduct of a cross-sectional study of cardiovascular structure, function and risk factors in COVID-19 outcome. *J. Med. Virol.* 2018;3:67. DOI: 10.12688/wellcomeopenres.14619.3 EDN: OMTJSN
 30. 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
 31. Cui J. GENHWCCI: Stata module to calculate Hardy-Weinberg equilibrium test in case-control studies [Internet]. Statistical Software Components S437101. Boston College Department of Economics. 2004. Available from: <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.txt>
 32. Shim S, Kim J, Jung W, et al. Meta-analysis for genomewide association studies using case-control design: application and practice. *Epidemiol. Health.* 2016;38:e2016058. DOI: 10.4178/epih.e2016058
 33. Clark K, Karsch-Mizrachi I, Lipman DJ, et al. GenBank. *Nucleic Acids Res.* 2016;44(D1):D67-D72. DOI: 10.1093/nar/gkv1276
 34. Afonicheva KV, Kasparov EV, Marchenko IV, Smolnikova MV. Polymorphic variants of cytokine genes in populations of the Arctic zone of Russia: predisposition to diseases. *Arktika i Sever [Arctic and North].* 2024;(56):210-231. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2024.56.210 EDN: CVMCZP

ОБ АВТОРАХ

***Кригер Екатерина Анатольевна**, канд. мед. наук, Ph.D., доцент;
адрес: Россия, 163069, Архангельск, пр-т Троицкий, д. 51;
ORCID: 0000-0001-5179-5737;
eLibrary SPIN: 2686-7226;
e-mail: kate-krieger@mail.ru

Самодова Ольга Викторовна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-6730-6843;
eLibrary SPIN: 9113-4496;
e-mail: ovsamodova@mail.ru

Бебякова Наталья Александровна, д-р биол. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-9346-1898;
eLibrary SPIN: 6326-5523;
e-mail: nbebyakova@mail.ru

Кудрявцев Александр Валерьевич, Ph.D.;
ORCID: 0000-0001-8902-8947;
eLibrary SPIN: 9296-2930;
e-mail: alex.v.kudryavtsev@yandex.ru

AUTHORS' INFO

***Ekaterina A. Krieger**, MD, Cand. Sci. (Medicine), Ph.D., Associate Professor;
address: 51 Troitskiy ave, Arkhangelsk, Russia, 163069;
ORCID: 0000-0001-5179-5737;
eLibrary SPIN: 2686-7226;
e-mail: kate-krieger@mail.ru

Olga V. Samodova, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-6730-6843
eLibrary SPIN: 9113-4496;
e-mail: ovsamodova@mail.ru

Natalya A. Bebyakova, Dr. Sci. (Biology), Professor;
ORCID: 0000-0002-9346-1898;
eLibrary SPIN: 6326-5523;
e-mail: nbebyakova@mail.ru

Alexander V. Kudryavtsev, Ph.D.;
ORCID: 0000-0001-8902-8947;
eLibrary SPIN: 9296-2930;
e-mail: alex.v.kudryavtsev@yandex.ru

Иванова Людмила Владиславовна;

ORCID: 0000-0001-7682-4821;

eLibrary SPIN: 3609-1254;

e-mail: ivanova.liudmila.v@yandex.ru

Самойликов Роман Владимирович;

ORCID: 0000-0001-6405-1390;

eLibrary SPIN: 3373-1321;

e-mail: roma_sam78@mail.ru

Потапова Мария Борисовна;

ORCID: 0000-0001-9647-1322;

eLibrary SPIN: 1066-6146;

e-mail: ptpv.msh@gmail.com

Солнцева Виктория Константиновна, канд. мед. наук, доцент;

ORCID: 0000-0003-3783-9232;

e-mail: solntseva_v_k@staff.sechenov.ru

Меремьянина Екатерина Андреевна, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0003-4334-1473;

eLibrary SPIN: 9721-4839;

e-mail: ekaterina@meremianina.ru

Свитич Оксана Анатольевна, д-р мед. наук, профессор, академик РАН;

ORCID: 0000-0003-1757-8389;

eLibrary SPIN: 8802-5569;

e-mail: svitichoa@yandex.ru

Liudmila V. Ivanova;

ORCID: 0000-0001-7682-4821;

eLibrary SPIN: 3609-1254;

e-mail: ivanova.liudmila.v@yandex.ru

Roman V. Samoilikov;

ORCID: 0000-0001-6405-1390;

eLibrary SPIN: 3373-1321;

e-mail: roma_sam78@mail.ru

Mariia B. Potapova;

ORCID: 0000-0001-9647-1322;

eLibrary SPIN: 1066-6146;

e-mail: ptpv.msh@gmail.com

Viktoriia K. Solntseva, MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor;

ORCID: 0000-0003-3783-9232;

e-mail: solntseva_v_k@staff.sechenov.ru

Ekaterina A. Meremianina, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-4334-1473;

eLibrary SPIN: 9721-4839;

e-mail: ekaterina@meremianina.ru

Oxana A. Svitich, MD, Dr. Sci (Medicine), Academician of Russian Academy of Science;

ORCID: 0000-0003-1757-8389;

eLibrary SPIN: 8802-5569;

e-mail: svitichoa@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Intraocular Pressure in the Adult Population of Arkhangelsk and Its Associations with Socio-Demographic Characteristics, Lifestyle, and General Health Status

Maria A. Sinayskaya, Roman N. Zelentsov, Natalya A. Bebyakova, Natalia I. Pechinkina, Anastasia A. Trofimova, Alexander V. Kudryavtsev

Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Glaucoma is considered one of the leading causes of disability. Intraocular pressure is a key risk factor for the development of glaucoma, which underscores the importance of its assessment and control. The pneumotonometric method for measuring intraocular pressure is being widely used in glaucoma screening diagnostics.

AIM: The work aimed to determine population-based reference values and age-related changes in intraocular pressure among adults in the European North of Russia and to examine associations between intraocular pressure and socio-demographic characteristics, lifestyle factors, and health indicators.

METHODS: A random sample of Arkhangelsk residents aged 45–74 years ($n=1223$) was examined, including an ophthalmologic assessment and pneumotonometry. Socio-demographic and lifestyle data were collected via face-to-face interviews, and health characteristics were obtained through clinical examinations. Intraocular pressure reference values were defined using the 5th and 95th percentiles. Associations between intraocular pressure and other studied variables were assessed using multivariable linear regressions and presented as B coefficients with 95% confidence intervals (CI).

RESULTS: The mean intraocular pressure was 14.2 mmHg overall, 13.9 mmHg in men, and 14.4 mmHg in women. Population-based reference ranges for true intraocular pressure were identified as follows: low-normal (9–12 mmHg), mid-normal (12–16 mmHg), and high-normal (16–20 mmHg). Intraocular pressure levels showed a downward trend with increasing age in both women ($p=0.007$) and men ($p=0.011$). Inverse associations were found between intraocular pressure and male sex ($B=-0.56$; 95% CI: -0.94 to -0.18), being a native resident of the Arkhangelsk region ($B=-0.50$; 95% CI: -0.83 to -0.16), and higher education ($B=-0.40$; 95% CI: -0.73 to -0.06). Among health-related variables, intraocular pressure was associated with hypertension ($B=0.56$; 95% CI: 0.17 to 0.94), diabetes mellitus ($B=0.46$; 95% CI: 0.03 to 0.89), dyslipidemia ($B=0.36$; 95% CI: 0.01 to 0.71), abdominal obesity ($B=0.39$; 95% CI: 0.31 to 0.98), thyroid dysfunction ($B=0.42$; 95% CI: 0.07 to 0.77), vitamin D deficiency ($B=0.76$; 95% CI: 0.30 to 1.22), and low total serum protein ($B=-0.76$; 95% CI: -1.43 to -0.09).

CONCLUSION: This study established normal intraocular pressure ranges for residents of the European North of Russia aged 45–74 years. A decrease in intraocular pressure with age was observed, along with lower intraocular pressure levels in men, native residents of the Arkhangelsk Region, and individuals with low serum protein. Elevated intraocular pressure levels were associated with hypertension, diabetes mellitus, dyslipidemia, obesity, thyroid dysfunction, and vitamin D deficiency.

Keywords: intraocular pressure; pneumotonometry; hypertension; diabetes mellitus; dyslipidemia; obesity; thyroid dysfunction; vitamin D deficiency.

To cite this article:

Sinayskaya MA, Zelentsov RN, Bebyakova NA, Pechinkina NI, Trofimova AA, Kudryavtsev AV. Intraocular pressure in the adult population of Arkhangelsk and its associations with socio-demographic characteristics, lifestyle, and general health status. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(4):280–293. DOI: 10.17816/humeco677157 EDN: OUJLNS

Внутриглазное давление у взрослого населения г. Архангельска и его связи с социально-демографическими характеристиками, образом жизни и общим состоянием здоровья

М.А. Синайская, Р.Н. Зеленцов, Н.А. Бебякова, Н.И. Печинкина,
А.А. Трофимова, А.В. Кудрявцев

Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Глаукома считается одной из основных причин инвалидизации населения. Ключевым фактором риска развития глаукомы является внутриглазное давление (ВГД), что обуславливает важность его оценки и контроля. Широко применение в скрининговой диагностике глаукомы приобретает пневмотонометрический метод измерения ВГД. **Цель.** Определить популяционные нормы и возрастные изменения ВГД у взрослого населения Европейского Севера России, изучить связи ВГД с социально-демографическими признаками, факторами образа жизни и характеристиками здоровья.

Методы. Обследована случайная выборка жителей г. Архангельска в возрасте 45–74 лет ($n=1223$), включая осмотр офтальмологом и пневмотонометрию. Данные о социально-демографических характеристиках и образе жизни получены методом устного интервью, о характеристиках здоровья — посредством медицинского обследования. Референсные значения ВГД получены на основании значений 5–95-го перцентилей. Связи ВГД с рассматриваемыми переменными оценены с помощью многомерных линейных регрессий и представлены в виде коэффициентов B с 95% доверительными интервалами (ДИ).

Результаты. Среднее значение ВГД составило 14,2 мм рт. ст., у мужчин — 13,9 мм рт. ст., у женщин — 14,4 мм рт. ст. Определены популяционные уровни низкой нормы, средней нормы и высокой нормы истинного ВГД, которые составили от 9 до 12 мм рт. ст., от 12 до 16 мм рт. ст. и от 16 до 20 мм рт. ст. соответственно. Значения ВГД имели нисходящие тренды с увеличением возраста женщин ($p=0,007$) и мужчин ($p=0,011$). Установлены отрицательные связи между ВГД и принадлежностью к мужскому полу ($B -0,56$; 95% ДИ $-0,94$; $-0,18$), принадлежностью к коренному населению Архангельской области ($B -0,50$; 95% ДИ $-0,83$; $-0,16$) и наличием высшего образования ($B -0,40$; 95% ДИ $-0,73$; $-0,06$). Из анализируемых характеристик здоровья связи с ВГД имели артериальная гипертензия ($B 0,56$; 95% ДИ $0,17$; $0,94$), сахарный диабет ($B 0,46$; 95% ДИ $0,03$; $0,89$), дислипидемия ($B 0,36$; 95% ДИ $0,01$; $0,71$), абдоминальное ожирение ($B 0,39$; 95% ДИ $0,31$; $0,98$), нарушение функции щитовидной железы ($B 0,42$; 95% ДИ $0,07$; $0,77$), недостаточность витамина D ($B 0,76$; 95% ДИ $0,30$; $1,22$) и снижение уровня общего белка ($B -0,76$; 95% ДИ $-1,43$; $-0,09$).

Заключение. В исследовании определены нормальные диапазоны ВГД для жителей Европейского Севера России 45–74 лет. Отмечено снижение уровня ВГД с возрастом, пониженные его значения у мужчин, у коренных жителей Архангельской области, а также при низком уровне общего белка в крови. Повышенные уровни ВГД ассоциировались с наличием артериальной гипертензии, сахарного диабета, дислипидемии, ожирения, с дисфункцией щитовидной железы, недостаточностью витамина D.

Ключевые слова: внутриглазное давление; пневмотонометрия; артериальная гипертензия; сахарный диабет; дислипидемия; ожирение; дисфункция щитовидной железы; недостаточность витамина D.

Как цитировать:

Синайская М.А., Зеленцов Р.Н., Бебякова Н.А., Печинкина Н.И., Трофимова А.А., Кудрявцев А.В. Внутриглазное давление у взрослого населения г. Архангельска и его связи с социально-демографическими характеристиками, образом жизни и общим состоянием здоровья // Экология человека. 2025. Т. 32, № 4. С. 280–293. DOI: 10.17816/humeco677157 EDN: OUJLNS

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco677157>

EDN: OUJLNS

Arkhangelsk市成年居民的眼压水平及其与社会人口学特征、生活方式和健康状况的关系

Maria A. Sinayskaya, Roman N. Zelentsov, Natalya A. Bebyakova, Natalia I. Pechinkina, Anastasia A. Trofimova, Alexander V. Kudryavtsev

Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

摘要

论证。青光眼是导致人群致残的主要原因之一。眼内压 (intraocular pressure, IOP) 是青光眼发展的关键危险因素, 因此对眼压的评估和监测具有重要意义。在青光眼筛查中, 广泛采用气动眼压计法 (pneumotonometry) 进行IOP测量。

目的。明确俄罗斯欧洲北部地区成年居民的群体IOP参考值及其不同年龄段的变化, 研究眼压与社会人口学特征、生活方式因素和健康指标之间的关系。

方法。对Arkhangelsk市45 - 74岁居民的随机样本 (n=1223) 进行检查, 包括由眼科医生进行的检查和气动眼压测量。通过面对面访谈收集社会人口学和生活方式资料, 通过医学检查收集健康状况数据。IOP参考值依据第5 - 95百分位数确定。IOP与各变量之间的关系通过多元线性回归进行评估, 结果以回归系数B及其95%置信区间 (CI) 的形式呈现。

结果。总体人群的平均IOP为14.2 mmHg, 其中男性为13.9 mmHg, 女性为14.4 mmHg。明确了群体IOP的低正常 (9 - 12 mmHg)、中等正常 (12 - 16 mmHg) 和高正常 (16 - 20 mmHg) 三个范围。IOP随年龄增长呈下降趋势, 女性 ($p=0.007$), 男性 ($p=0.011$)。IOP与男性性别 ($B=0.56$; 95% CI - 0.94, - 0.18)、为 Arkhangelsk Region 原住民身份 ($B=0.50$; 95% CI - 0.83, - 0.16) 以及高等教育水平 ($B=0.40$; 95% CI - 0.73, - 0.06) 呈负相关。在所分析的健康指标中, 以下因素与IOP存在关联: 高血压 ($B=0.56$; 95% CI 0.17, 0.94)、糖尿病 ($B=0.46$; 95% CI 0.03, 0.89)、血脂异常 ($B=0.36$; 95% CI 0.01, 0.71)、腹型肥胖 ($B=0.39$; 95% CI 0.31, 0.98)、甲状腺功能异常 ($B=0.42$; 95% CI 0.07, 0.77)、维生素D缺乏 ($B=0.76$; 95% CI 0.30, 1.22) 以及血清总蛋白水平下降 ($B=-0.76$; 95% CI - 1.43, - 0.09)。

结论。本研究明确了俄罗斯欧洲北部45 - 74岁人群的IOP正常范围。研究发现, IOP水平随年龄增长而下降, 男性、Arkhangelsk Region 原住民以及血清总蛋白水平较低者的眼压较低。而高血压、糖尿病、血脂异常、肥胖、甲状腺功能异常和维生素D缺乏则与IOP升高有关。

关键词: 眼内压; 气动眼压计法; 高血压; 糖尿病; 血脂异常; 肥胖; 甲状腺功能异常; 维生素D缺乏。

引用本文:

Sinayskaya MA, Zelentsov RN, Bebyakova NA, Pechinkina NI, Trofimova AA, Kudryavtsev AV. Arkhangelsk市成年居民的眼压水平及其与社会人口学特征、生活方式和健康状况的关系. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(4):280-293. DOI: 10.17816/humeco677157 EDN: OUJLNS

收到: 14.03.2025

接受: 05.06.2025

发布日期: 04.07.2025

BACKGROUND

Glaucoma is the leading cause of irreversible blindness in the world. In 2013, glaucoma was diagnosed in 64.3 million people aged 40–80 years worldwide. The number of cases increased to 76.0 million in 2020 and is estimated to reach 111.8 million in 2040 [1].

Intraocular pressure (IOP) is the most important and the only modifiable risk factor for glaucoma [2, 3]. IOP directly affects the long-term prognosis of maintaining visual function, therefore its assessment and timely correction are the actual tasks of practical ophthalmology. The ability to see is one of the constituents of the sensory domain of the intrinsic capacity and plays an important role in ensuring healthy aging¹, which, in turn, is one of the priorities of national healthcare.

Screening of the population for signs of glaucoma is primarily based on tonometry tests. Elevated IOP is an indication for further diagnosis. Recently, a simple, non-contact, and available method called pneumotonometry has become widespread in screening examinations.

Individual IOP normal ranges are extremely variable and depend not only on patient's characteristics, but also on race and even ethnicity. Currently, African and Asian patients are known to have higher average IOP than Caucasian people [4]; and IOP in the Japanese population is lower than in the Chinese and Indian population [5–7]. Although several population-based studies have been performed [8, 9], reference IOP values of the population of specific regions are still unknown. The nature of age-related changes in IOP may also depend on race. Thus, studies in the European and American populations have shown an increase in IOP with age [10, 11] compared with a decrease in the Asian population [5, 12, 13].

In addition to age, sex, and race, epidemiological studies have determined other factors associated with IOP such as elevated blood pressure, glucose levels, obesity, smoking, alcohol and coffee consumption, physical activity, central corneal thickness, iris color, nuclear cataract, and myopia [14–16]. There have been no studies of IOP in the population of the European North of Russia, and the IOP association with socio-demographic factors, lifestyle, and general health status has not been studied.

AIM

The work aimed to determine population-based reference values, describe age-related changes in IOP among adults in the European North of Russia, and to examine associations between IOP and socio-demographic characteristics, lifestyle factors, and health characteristics.

METHODS

Study Design

A population-based, cross-sectional study of intrinsic capacity biomarkers in residents of the European North of Russia was performed at the consultative and diagnostic outpatient clinic of the Northern State Medical University (Arkhangelsk) from May 2023 through June 2024. The study enrolled 1,223 Arkhangelsk residents aged 45–74 years who had lived in the Arkhangelsk Region (AR) for at least 10 years.

Eligibility Criteria

For the purposes of this study, the analysis included eligible individuals.

Inclusion criteria:

- Healthy screened volunteers (without glaucoma) of both sexes aged 45–74 years;
- Clinical refraction of ± 3.0 D and astigmatism of ± 1.5 D;
- Corrected visual acuity of ≥ 0.5 ;
- Caucasians.

Exclusion criteria:

- Ametropia and/or astigmatism greater than those specified in the inclusion criteria;
- Ocular condition (glaucoma, corneal, retinal, or choroidal abnormality, or mature cataract);
- History of keratorefractive surgery;
- History of ophthalmic surgery (including intravitreal administration of angiogenesis inhibitors), ocular trauma, or uveitis;
- A decompensated somatic pathology;
- Systemic diseases requiring hormone therapy.

Study Setting

Ophthalmic examination. Ophthalmic examination was performed in all participants in the morning (09:00 to 12:00) and included measurement of uncorrected visual acuity (UCVA) ranging from 0 to 1.0 arbitrary units according to the Golovin-Sivtsev charts (Golovin S.S., Sivtsev D.A., 1928), and the parameters of best corrected visual acuity (BCVA) were determined. Clinical refractive error was determined using automated refractometry. The diagnosis was based on the ophthalmic examination data (primary ophthalmic examination, Appendix to Form 025/u approved by Order No. 834n of the Ministry of Health of the Russian Federation, December 15, 2014) in accordance with the International Classification of Diseases 10th revision (ICD-10). The participants also underwent pneumotonometry using a TX-10 automated pneumotonometer (Canon, Japan). True IOP (P_0) was recorded in examination cards.

Interview. Data on socio-demographic characteristics (sex, age, indigenous status in the Arkhangelsk region, marital status, higher education, employment, and financial constraints) and lifestyle factors (smoking and hazardous alcohol use) were collected using a standardized oral interview.

¹ Decade of healthy ageing: baseline report. Summary. WHO, 2021. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/338677>

Participants who had at least two previous generations on their father's and mother's sides born in the Arkhangelsk Region were considered native residents [17]. Employment was defined as a full- or part-time job, marital status included such options as a civil marriage or living with a partner, and financial constraints meant financial difficulties buying food or clothes. The smoking factor was considered present only if a participant was a smoker at screening, and hazardous drinking was defined as a score of 8 or more on the Alcohol Use Disorders Identification Test (AUDIT) [18].

Measurements. Health characteristics analyzed for the association with IOP were collected during a medical examination, including medical history (conditions and medications), a range of instrumental measurements, and blood analysis.

The following instruments were used for measurements: a Seca® 217 stadiometer (Seca Limited) for body height (cm), TANITA BC-418MA body composition analyzer (TANITA EUROPE GmbH) for body weight (kg), and Seca®201 measuring tape (Seca Limited) for waist and hip circumference (cm). Brachial artery systolic and diastolic blood pressure (SBP and DBP, mmHg) and heart rate (HR, bpm) were measured using an OMRON M2 Basic (OMRON Healthcare) automated blood pressure monitor three times after 5-minute rest, with 2 minute intervals. The means of the second and third measurements were included in the analysis.

Laboratory tests. Fasting blood samples were taken from a cubital vein into vacuum systems with ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) anticoagulant. On the day of blood sampling, glycated hemoglobin (HbA_{1c}) was measured in whole-blood hemolysate using a Random Access A-15 automated biochemical analyzer (BioSystems, Spain) and BioSystems reagent kits (Spain). To obtain the serum, vacutainers with blood were centrifuged at 3000 rpm in a refrigerated centrifuge no later than 2 hours after sampling. The obtained serum samples were frozen at -20 °C until analysed. Total cholesterol (TH), triglycerides (TG), high-density lipoproteins (HDL), serum iron and total protein were measured using the Random Access A-15 automated biochemical analyzer (BioSystems, Spain) using BioSystems reagent kits (Spain). Low-density lipoproteins (LDL) were calculated using the Friedewald equation: $LDL = TH - (HDL + TG/2.2)$. Triiodothyronine (T₃), free thyroxine (T₄), and thyroid-stimulating hormone (TSH) were determined by an enzyme linked immunosorbent assay (ELISA) using a Stratec Biomedical Gemini automated enzyme immunoassay analyzer (Stratec, Germany) and Vector-Best reagent kits (Russia). Ferritin was measured by ELISA using a Multiskan FC semi-automated analyzer (Thermo Scientific, USA) and Vector-Best reagent kits (Russia). To quantify vitamin D, serum total 25-OH vitamin D was determined using 25OH Vitamin D Total ELISA reagent kit (DRG, USA) designed to quantify 25-hydroxyvitamin D₂ and D₃ (25OH-D₂ and 25OH-D₃) in human serum samples by ELISA using the Stratec Biomedical Gemini automated analyzer (Stratec, Germany).

Criteria for health disorders. The criterion for abdominal obesity was the ratio of waist circumference to height of >0.5 . Hypertension was defined as SAD ≥ 130 mmHg and/or DBP ≥ 85 mmHg and/or reported antihypertensive medication. Type 2 diabetes mellitus was defined as HbA_{1c} $\geq 6.5\%$ and/or reported antidiabetic medication and/or the reported diagnosed disease with the identified type. Dyslipidemia was determined as TH ≥ 5.2 mmol/L, TG >1.7 mmol/L, and/or LDL >3.0 mmol/L and/or HDL <1.0 mmol/L for men or <1.2 mmol/L for women [19] and/or reported lipid-lowering medication. Thyroid dysfunction was defined as blood TSH outside the range of 0.3–4.0 mIU/mL and/or T₃ outside the range of 4.0–8.6 pmol/L, and/or T₄ outside the range of 10.3–24.5 pmol/L. Low blood iron concentration was defined as serum iron <9.0 mmol/L and/or ferritin <20 ng/mL for men or <10 ng/mL for women. Total protein level of <64 g/L was considered low. Vitamin D deficiency was determined at <30 ng/mL. Oncological diseases defined using medical history.

Subgroups

For the data analysis, the participants were divided by sex and categorized by age into the following six groups: participants aged 45–49 years (group 1), 50–54 (group 2), 55–59 (group 3), 60–64 (group 4), 65–69 (group 5), and 70–74 (group 6).

Statistical Analysis

Categorical variables are represented as absolute values (n) and percentages (%). The normal distribution of continuous quantitative variables was assessed visually and using asymmetry (skewness) and kurtosis (peakedness) tests. Based on the results, the quantitative variables were described as the median (Me) with the first and third quartiles (Q1–Q3). The groups were compared by categorical variables using the Pearson chi-square test (χ^2) and by quantitative criteria using the Mann–Whitney test.

The reference (normal) IOP values for the analyzed age group and subgroups were obtained based on the analysis of the examination results of individual participants' eyes and are presented in the range of the 5th–95th percentiles (P5–P95). To describe the reference IOP values and trends in IOP change with age, the means (M) and standard deviations (SD) are also presented. Differences in the IOP percentiles in male and female eyes without age subgrouping and in the matching age groups were assessed using quantile regressions. The trends in IOP changes in men and women with age were assessed using the Jonckheere–Terpstra test.

Multidimensional linear regression analysis was used to consistently assess the associations of IOP with socio-demographic characteristics and lifestyle factors (Stage 1) and with the health characteristics (Stage 2). At each stage, the obtained data were first adjusted by sex and age (Model 1) and then additionally adjusted by other variables assessed at the corresponding stage (Model 2) and variables with determined associations with IOP at the previous stage.

The regression analysis results are presented as regression coefficients B with 95% confidence intervals (CI) for binary independent variables, reflecting adjusted differences in IOP means in the corresponding groups. Additionally, standardized β -coefficients are shown to compare the strength of the associations between the analyzed parameters and IOP. Applicability of linear models was determined using distribution analysis of residuals.

The differences between the groups and the associations between the variables were considered statistically significant at $p < 0.05$. Statistical analysis was performed using Stata 18.0 (StataCorp, USA, Texas, College Station).

Ethics Approval

The study was approved by the Local Ethics Committee of the Northern State Medical University (Arkhangelsk) of the Ministry of Health of the Russian Federation (Protocol No. 03/04-23, April 26, 2023). All participants provided written informed consent voluntarily.

RESULTS

A total of 1223 residents of Arkhangelsk aged 45–74 years were examined; examination data of 1620 eyes (66.2%) out of 2446 were included in the analysis. The analysis excluded 413 participants with at least one eye meeting the exclusion criteria. Accordingly, the examination results of 826 eyes were excluded, as 596 of them had refractive error outside the acceptable range; 118 had an ocular condition (glaucoma, corneal, retinal, or choroidal abnormality, mature cataract); 54 had a history of keratorefractive surgery; 32 had best corrected visual acuity below 0.5; 20 had systemic diseases requiring glucocorticosteroid therapy; examination and IOP data were missing for 6 eyes.

After applying the exclusion criteria, 1024 female (512 women) and 596 male (298 men) eyes were included

in the study. The analyzed female (Me 58, Q1–Q3: 51–65) and male (Me 58, Q1–Q3: 51–65) eyes had no significant age differences ($p = 0.295$). Age subgrouping was the following: 312 eyes in group 1 (45–49 years), 306 in group 2 (50–54), 280 in group 3 (55–59), 304 in group 4 (60–64), 224 in group 5 (65–69), 194 in group 6 (70–74).

Compared with women, more men were married (82.2% vs. 51.8%), smoked (27.5% vs. 11.3%), had higher hazardous drinking score (31.9% vs. 2.3%), or kept unhealthy diet (7.6% vs. 4.1%) (Table 1). Women were more likely to report financial difficulties compared with men (7.8% vs. 4.0%).

The IOP distribution of male and female eyes in the study population was similar to the Gaussian distribution (Fig. 1), but was slightly left-skewed (the asymmetry coefficient was 0.15 [$p=0.039$] for women and 0.22 [$p=0.027$] for men) and highly peaked (the coefficient of kurtosis was 2.45 [$p < 0.001$] for women and 2.54 [$p < 0.001$] for men).

In the analyzed group of participants aged 45–74 years, mean IOP was 14.2 mmHg, 13.9 mmHg for men, 14.4 mmHg for women (Table 2). IOP median for the analyzed group and for men and women subgroups was 14.0 mmHg, the total range of the 5th–95th percentiles for men and women was 9–20 mmHg. However, P75, P90, and P95 values for female eyes (17.0, 19.0, and 20.0 mmHg) were higher than those for male eyes (16.0, 18.0, and 19.0 mmHg, respectively). In five-year age groups, IOP in female eyes compared with male eyes had higher P10–P50 values in the 44–49 years group and higher P5–P25 and P75 values in the 70–74 years group. At the age of 60–64 years, male eyes had higher P5 values, whereas female eyes had higher P25 values.

IOP values in women and men showed significant downward trends with the increasing age groups (Fig. 2).

The analysis of associations of IOP with socio-demographic characteristics and lifestyle factors with age and sex adjustment (Model 1) and with mutual adjustment of

Table 1. Socio-demographic and behavioral characteristics of study participants by sex

Specifications	All participants (n=810)	Women (n=512)	Men (n=298)	p*
	abs (%)			
Native resident of AO ¹	273 (33.7)	165 (32.2)	108 (36.2)	0.244
Higher education	320 (39.5)	199 (38.9)	121 (40.6)	0.626
Full or part-time employment	509 (62.8)	315 (61.5)	194 (65.1)	0.310
Married	510 (63.0)	265 (51.8)	245 (82.2)	<0.001
Financial constraints ²	51 (6.3)	40 (7.8)	11 (4.0)	0.019
Smoking	140 (17.3)	58 (11.3)	82 (27.5)	<0.001
Hazardous drinking ³	107 (13.2)	12 (2.3)	95 (31.9)	<0.001
Unhealthy diet ⁴	42 (5.4)	20 (4.1)	22 (7.6)	0.034
Physical inactivity ⁵	139 (17.2)	92 (18.0)	47 (15.6)	0.424

Notes: ¹ At least two previous generations on the father's and mother's sides were born in the Arkhangelsk region; ² The presence of financial difficulties when buying food or clothing. ³ >8 points on the AUDIT test; ⁴ Determined using the Dietary Quality Score questionnaire; ⁵ Determined using the short version of the International Questionnaire for Determining Physical Activity (IPAQ). * Pearson's test χ^2 .

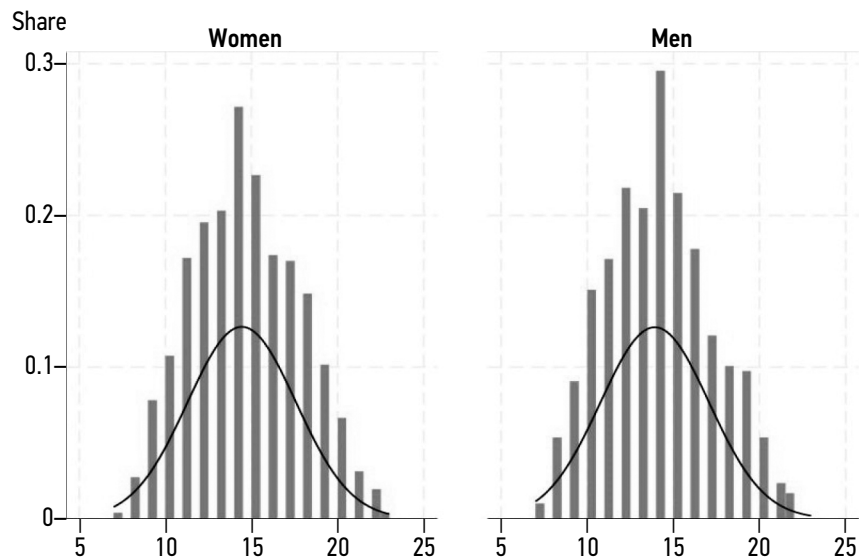


Fig. 1. Distribution of intraocular pressure values (mmHg) in male and female eyes, aged 45–74 years, residents of Arkhangelsk.

all analyzed parameters (Model 2) demonstrated that IOP decreased with age, was significantly lower in men compared with women, in the native residents of AR compared with non-native residents, and in participants with higher education compared with those without it (Table 3). Other socio-demographic characteristics and lifestyle factors had no significant associations with IOP. In Model 2, male sex ($\beta = -0.085$), age ($\beta = -0.084$), and indigenous status in AR ($\beta = -0.074$) had the strongest negative associations with IOP.

The analysis of associations of IOP with the general health characteristics (Table 4) adjusted for sex and age (Model 1) revealed that IOP was significantly higher in individuals with hypertension, diabetes mellitus, dyslipidemia,

abdominal obesity, thyroid dysfunction, and vitamin D deficiency compared with those without these conditions. IOP was significantly lower in participants with low total protein, while oncological diseases and low blood iron had no association with IOP. With adjustment for all socio-demographic characteristics and lifestyle factors with significant associations with IOP presented in Table 3 and with all studied health characteristics included in the regression analysis (Model 2), the above associations between health characteristics and IOP were slightly weaker, but remained statistically significant. Vitamin D deficiency ($\beta = 0.079$) and hypertension ($\beta = 0.077$) had the strongest associations with IOP in Model 2.

Table 2. Reference ranges of intraocular pressure (mmHg) in male and female eyes. age 45–74 years. residents of Arkhangelsk

Gender	Age, years	N	M	SD	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95
Both gender	40–74	1620	14.2	3.2	9.0	10.0	12.0	14.0	16.0	19.0	20.0
Womens	40–74	1024	14.4	3.2	9.0	10.0	12.0	14.0	17.0†	19.0†	20.0†
Mens	40–74	596	13.9	3.2	9.0	10.0	12.0	14.0	16.0†	18.0†	19.0†
Women	44–49	186	14.8	3.1	9.0	11.0†	13.0†	15.0†	17.0	19.0	20.0
	50–54	200	14.4	3.4	9.0	10.0	12.0	14.0	17.0	19.0	20.0
	55–59	182	14.7	2.9	10.0	11.0	13.0	14.0	17.0	18.0	19.0
	60–64	180	14.3	3.3	9.0†	10.0	12.0†	14.0	16.0	19.0	20.0
	65–69	138	14.3	3.2	9.0	10.0	12.0	14.0	16.0	19.0	20.0
	70–74	138	13.9	3.0	10.0†	11.0†	12.0†	13.0	17.0†	18.0	19.0
Men	44–49	126	14.0	3.2	10.0	10.0†	11.0†	14.0†	16.0	19.0	20.0
	50–54	106	14.3	3.3	9.0	10.0	12.0	14.0	17.0	19.0	19.0
	55–59	98	14.2	2.8	9.0	11.0	13.0	14.0	16.0	18.0	19.0
	60–64	124	14.1	3.1	10.0†	10.0	11.0†	14.0	16.0	18.0	20.0
	65–69	86	13.3	3.3	8.0	9.0	11.0	13.0	15.0	18.0	20.0
	70–74	56	12.9	3.0	8.0†	9.0†	10.5†	13.0	15.0†	16.0	19.0

Notes: † Significant differences ($p < 0.050$) in percentile values between men and women of the corresponding age.

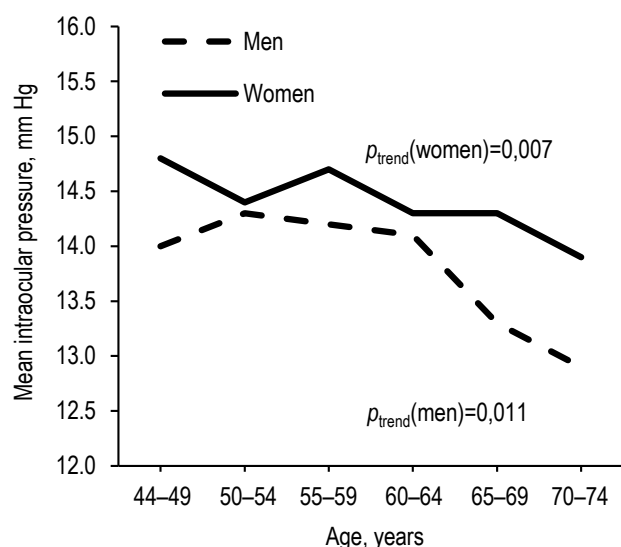


Fig. 2. Mean intraocular pressure in men and women across 5-year age groups within the 45–74-year range, residents of Arkhangelsk (1552 eyes).

DISCUSSION

The Federal Clinical Guidelines on primary open-angle glaucoma² state that true IOP of up to 21 mmHg is considered the upper limit of normal. The national guidelines provide the following three ranges of normal for IOP determined using tonometry: low norm of 15–18 mmHg, medium norm of 19–22 mmHg, and high norm of 23–25 mmHg [3]. Our study showed that IOP normal ranges for Arkhangelsk residents aged 45–74 years, defined by the 5th–95th IOP percentile range, was 9–20 mmHg, the low norm (5th–25th percentile) was 9–12 mmHg, the medium norm (25th–75th percentile) was 12–16 mmHg, and the high norm (75th–95th percentile) was 16–20 mmHg. Therefore, our empirical upper limit of normal for residents of the European North of Russia aged 45–74 years corresponds to the current clinical guidelines, whereas the ranges of low, medium, and high norms are lower than those suggested in the clinical guidelines.

As mentioned above, prior population-based studies in the Volga region using the Maklakov tonometer have demonstrated higher IOP compared with our results [20–24]. In our study, mean IOP values are 2 mmHg lower than those obtained by Egorov et al. in Central Russia, Belarus, Ukraine, Moldova, Tajikistan, and Kazakhstan [25, 26]. This may be explained by age differences between the study samples. In addition, our study did not include patients with early glaucoma, which affected the results obtained. Also, the authors in other studies used tonometry method, which overestimates aqueous pressure on the eye membranes compared with true IOP in our study measured using pneumotonometry [27].

Mean IOP in our study is lower than in studies conducted in the South Chinese population, in Barbados, the USA and the UK [9, 28–30], but higher compared with the results of population-based studies performed in Bashkortostan, Iran, South Korea, Central Australia, and Taiwan [11, 12, 31–34]. This confirms the association of IOP with race and ethnicity. Moreover, we found that native residents of the Arkhangelsk region, who had at least two previous generations on their father's and mother's sides born in the region, had lower IOP compared with non-native residents. This indicates a genetic cause of decreased IOP, which may be explained by adaptation to uncomfortable climatic and geographical conditions of the North. Several authors believe that IOP is affected not only by climatic conditions, such as the average annual temperature, sunlight, humidity, wind speed, and trace elements in soil and water, but also by anatomical features of the eye in certain races and ethnicities [35–37].

Our study demonstrates a negative association of IOP with age. Publications show various age-related trends in IOP. Some large population-based studies among the American and African populations revealed a positive correlation of IOP and age [9, 29, 38]. However, studies performed in Asia show a reverse association [14, 28–30]. IOP decrease with age may be associated with a lower body mass index (BMI) and blood pressure in the old and advanced age [31]. It is known that obesity and uncontrolled hypertension are risk factors for cardiovascular death [39]. For this reason, there are fewer people with increased BMI and BP in the elderly and geriatric group, and the survivors in these groups may have lower IOP [12, 13, 29].

Our study showed that IOP was lower in men than in women, and this difference preserved when adjusted for age and other factors. Considering the age of the participants, this result can be explained by an increase in aqueous production in menopausal women associated with hormonal status [29, 32, 40, 41]. Previous studies provided contradictory data on the association between IOP and sex. IOP was higher in men in some population studies [28, 42] and in women in others [31, 43, 44]. This may be explained by the heterogeneous age and ethnicity of the analyzed samples, which, as shown above, is associated with IOP and may change the relationship between IOP and sex.

With adjustments for age and sex, our study demonstrated positive associations of IOP with hypertension, type 2 diabetes mellitus, abdominal obesity, and dyslipidemia. The revealed association of hypertension with relatively higher IOP is consistent with the results of several other studies [45–48]. It is explained by an increase in the aqueous production caused by accelerated ultrafiltration as BP elevates [12]. Other studies have found a positive association between obesity and IOP [9, 13, 29]. Abdominal obesity, type 2 diabetes mellitus, hypertension, and dyslipidemia are medical conditions sharing similar pathogenetic links based on insulin resistance, which reduces glucose utilization in tissues and thereby increases insulin secretion, resulting

² Clinical guidelines on primary open-angle glaucoma (approved by the Ministry of Health of the Russian Federation, 2024). Age group: adults. Available at: <https://legalacts.ru/doc/klinicheskie-rekomendatsii-glaukoma-pervichnaja-otkrytoougolnaja-odobreny-minzdravom-rossii/>. Accessed on: February 26, 2025.

Table 3. Association of intraocular pressure with socio-demographic characteristics and lifestyle factors in residents of Arkhangelsk aged 45–74 years (1552 eyes)

Specifications	Model 1 ^a	Model 2 ^b		
	B (95% CI)	B (95% CI)	Standard coefficient β	<i>p</i>
Socio-demographic characteristics				
Age, years	−0.03 (−0.05; −0.01)	−0.03 (−0.06; −0.01)	−0.084	0.009
Gender, men	−0.53 (−0.85; −0.22)	−0.56 (−0.94; −0.18)	−0.085	0.004
Native resident of AO ¹	−0.47 (−0.80; −0.15)	−0.50 (−0.83; −0.16)	−0.074	0.003
Higher education	−0.39 (−0.71; −0.07)	−0.40 (−0.73; −0.06)	−0.061	0.020
Full or part-time employment	−0.00 (−0.39; 0.39)	0.07 (−0.34; 0.47)	0.010	0.750
Married	0.11 (−0.23; 0.44)	0.04 (−0.31; 0.39)	0.006	0.817
Financial constraints ²	0.54 (−0.09; 1.18)	0.39 (−0.28; 1.06)	0.030	0.252
Lifestyle factors				
Smoking	0.14 (−0.28; 0.56)	−0.02 (−0.47; 0.44)	−0.002	0.935
Hazardous drinking ³	0.11 (−0.40; 0.61)	0.08 (−0.44; 0.61)	0.009	0.752
Unhealthy diet ⁴	0.40 (−0.30; 1.10)	0.26 (−0.45; 0.97)	0.018	0.473
Physical inactivity ⁵	0.33 (−0.08; 0.75)	0.42 (−0.01; 0.86)	0.050	0.056

Notes: Model 1 – correction for gender and age (for age — only for gender, for gender — only for age); Model 2 — correction for all variables presented in the table. ¹ At least two previous generations on the father's and mother's sides were born in the Arkhangelsk region; ² The presence of financial difficulties when buying food or clothing; ³ ≥ 8 points on the AUDIT test; ⁴ Determined using the Dietary Quality Score questionnaire; ⁵ Determined using a short version of the international questionnaire to determine physical Activity (IPAQ).

Table 4. Association of intraocular pressure with general health characteristics in residents of Arkhangelsk aged 45–74 years (1618 eyes)

Specifications	Model 1 ^a	Model 2 ^b		
	B (95% CI)	B (95% CI)	Standard coefficient β	<i>p</i>
Arterial hypertension ¹	0.89 (0.52; 1.26)	0.56 (0.17; 0.94)	0.077	0.005
Diabetes mellitus ²	0.65 (0.22; 1.07)	0.46 (0.03; 0.89)	0.054	0.035
Dyslipidemia ³	0.44 (0.10; 0.78)	0.36 (0.01; 0.71)	0.051	0.041
Abdominal obesity ⁴	0.64 (0.31; 0.98)	0.39 (0.04; 0.75)	0.059	0.027
Thyroid dysfunction ⁵	0.44 (0.08; 0.80)	0.42 (0.07; 0.77)	0.057	0.019
Oncological diseases ⁶	0.26 (−0.35; 0.87)	0.25 (−0.35; 0.85)	0.020	0.412
Low blood iron levels ⁷	−0.26 (−0.88; 0.35)	−0.19 (−0.80; 0.42)	−0.015	0.543
Low levels of total protein in the blood ⁸	−1.01 (−1.68; −0.33)	−0.76 (−1.43; −0.09)	−0.056	0.026
Vitamin D deficiency ⁹	0.84 (0.37; 1.30)	0.76 (0.30; 1.22)	0.079	0.001

Notes: Model 1 is a correction for gender and age; Model 2 is a correction for all variables that had significant associations with IOP according to Table 3, and all variables presented in this table. ¹ CAP ≥ 130 mmHg, DBP ≥ 85 mmHg and/ or a report on taking antihypertensive drugs; ² HbA1c $\geq 6.5\%$ and/ or a report on taking antidiabetic drugs and/ or a report on the presence of a diagnosis indicating the type of diabetes; ³ OX ≥ 5.2 mmol/L, triglycerides > 1.7 mmol/L and/ or LDL > 3.0 mmol/L and/ or HDL < 1.0 mmol/L for men or < 1.2 mmol/L for women and/ or a message about taking lipid-lowering medications; ⁴ Ratio of waist circumference to height > 0.5 ; ⁵ THG outside range 0.3–4.0 mIU/ml and/ or T3 outside the range 4.0–8.6 pmol/L and/ or T4 outside the range 10.3–24.5 pmol/L; ⁶ According to medical history; ⁷ serum iron < 9.0 mmol/L and/ or ferritin < 20 ng/ml for men or < 10 ng/ml for women; ⁸ total protein < 64 g/l; ⁹ vitamin D < 30 ng/ml.

in hyperinsulinemia and activation of the sympathoadrenal and renin-angiotensin-aldosterone systems (RAAS) [49–51]. There is a known local system of RAAS components, including in various ocular structures, which help regulate aqueous

production [52, 53]. The RAAS increases retinal blood flow and pressure in retinal capillaries, thus elevating IOP [54].

Our study demonstrates the association of thyroid dysfunction with increased IOP. However, this has no unequivocal

evidence in the available publications, some of which suggest that IOP is associated with endocrine disorders [55–58], and others deny it [59, 60]. This relationship may be typical only for the study population with the higher prevalence of thyroid disorders than in other regions of Russia [61]. The mechanism of an IOP increase in individuals with thyroid dysfunction is not fully understood and should be further studied. High TSH concentrations in patients with hypothyroidism stimulate the production of glycosaminoglycans. They are a part of the trabecular meshwork, extracellular matrix of the optic disc, and lamina cribrosa. Excessive levels of mucopolysaccharides (glycosaminoglycans) in the trabecular meshwork increase the resistance to the aqueous outflow and increase IOP [62]. When thyroid dysfunction is caused by an autoimmune disease, excessive production of autoantibodies to glycosaminoglycans of the trabecular meshwork leads to dysfunction of the latter and increases IOP [63].

We have identified a significant association of elevated IOP with vitamin D deficiency, which is typical for residents of northern regions. These results are comparable with those obtained in other studies [64–66]. Vitamin D is known to be actively involved not only in calcium and phosphate metabolism, but also has many other pleiotropic effects, including the effect on differentiation and apoptosis of eye tissues [67–69]. There are several studies confirming the presence of vitamin D receptors in the eye tissues [70, 71]. Some data show that vitamin D receptors are present in the cells of the corneal endothelium and non-pigmented ciliary epithelium, which contribute the most to the aqueous production [72]. Given this information, vitamin D deficiency may be assumed to negatively affect the function of the eye structures directly involved in the aqueous production, which disrupts the eye hydrodynamics and increases IOP [72–74].

A major strength of our study is examination of a random sample of Arkhangelsk residents aged 45–74 years. As Arkhangelsk is located in the European North of Russia and the Arctic zone, the reference IOP values obtained in this study may be applicable to residents of these regions. Another strength of this study is the statistical power because of the relatively large sample size.

Study Limitations

The study's disadvantage is its cross-sectional design, which limits the determination of the causality of the revealed associations. The study is also constrained by the lack of data on central corneal thickness, which could affect IOP. Data on socio-demographic characteristics, lifestyle, and some health characteristics were reported by the respondents and could be subject to recall or reporting bias. The total number of examined participants ($n = 1223$) was 61.3% of the total number of invited ($n = 1996$), which could be a selection bias if the distribution of the studied parameters among the enrolled participants differed from that among those who refused to participate in the study. The sample was limited to urban residents of one region aged 45–74 years, which may hinder the

extrapolation to the general population of the European North of Russia including a significant number of rural residents.

CONCLUSION

The study has determined the normal IOP range of 9–20 mmHg for residents of the European North of Russia aged 45–74 years. The low norm is defined as the range 9–12 mmHg, the medium norm is 12–16 mmHg, the high norm is 16–20 mmHg. The trends of an IOP decrease with age in men and women have been revealed. Low IOP was associated with male sex, being the native residents of the Arkhangelsk region, low blood total protein, while the increased IOP was associated with hypertension, diabetes mellitus, dyslipidemia, obesity, thyroid dysfunction, and vitamin D deficiency.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: M.A. Sinayskaya: conceptualization, writing—original draft, writing—review & editing; R.N. Zelentsov: conceptualization, investigation, writing—original draft; N.A. Bebyakova: conceptualization, writing—review & editing; N.I. Pechinkina: investigation, writing—review & editing; A.A. Trofimova: writing—review & editing; A.V. Kudryavtsev: conceptualization, formal analysis, funding acquisition, project administration, resources, writing—review & editing. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: The Study Protocol was approved by the Local Ethics Committee of the Northern State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation (Arkhangelsk, Protocol No. 03/04-23 dated April 26, 2023). All participants provided written informed consent prior to enrollment in the study.

Funding sources: This study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (No. 23-15-20017), available at <https://rscf.ru/project/23-15-20017/>.

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 anonymized data presented in this article are available from the corresponding authors upon reasonable request.

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

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

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов: М.А. Синайская — определение концепции, написание черновика рукописи, пересмотр и редактирование рукописи; Р.Н. Зеленцов — определение концепции, проведение исследования, написание черновика рукописи; Н.А. Бебякова — определение концепции, пересмотр и редактирование рукописи; Н.И. Печинкина — проведение исследования, пересмотр и редактирование рукописи; А.А. Трофимова — пересмотр и редактирование рукописи; А.В. Кудрявцев — определение концепции, анализ данных, привлечение финансирования, обеспечение исследования, администрирование проекта, пересмотр и редактирование рукописи. Все авторы

одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Протокол исследования одобрен Локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО СГМУ Минздрава России (г. Архангельск, протокол № 03/04-23 от 26.04.2023). Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источник финансирования. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-15-20017, <https://rscf.ru/project/23-15-20017/>.

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. Анонимизированные данные, представленные в настоящей статье, доступны по аргументированному запросу к авторскому коллективу.

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.

REFERENCES | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Tham YC, Li X, Wong TY, et al. Global Prevalence of Glaucoma and Projections of Glaucoma Burden Through 2040: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Ophthalmology*. 2014;121(11):2081-2090. DOI: 10.1016/j.ophtha.2014.05.013
- Terminology and Guidelines for Glaucoma: European Glaucoma society. 4th Edition. Savona, Italy; 2014.
- National guidance on glaucoma: for practitioners/ under the editorship of professor EA Egorov, professor YuS Astakhov, professor VP Elichev. Moscow: GEOTAR-Media; 2015. 456 p. (in Russ.)
- David R, Zangwill L, Stone D, Yassur Y. Epidemiology of Intraocular Pressure in a Population Screened for Glaucoma. *Br. J. Ophthalmol*. 1987;71(10):766-771. DOI: 10.1136/bjo.71.10.766
- Fukuoka S, Aihara M, Iwase A, Araie M. Intraocular Pressure in an Ophthalmologically Normal Japanese Population. *Acta Ophthalmol*. 2008;86(4):434-439. DOI: 10.1111/j.1600-0420.2007.01068.x
- Vijaya L, George R, Arvind H, et al. Central Corneal Thickness in Adult South Indians: The Chennai Glaucoma Study. *Ophthalmology*. 2010; 117(4):700-704. DOI: 10.1016/j.ophtha.2009.09.025
- Xu L, Li J, Zheng Y, et al. Intraocular Pressure in Northern China in an Urban and Rural Population: the Beijing Eye Study. *Am. J. Ophthalmol*. 2005;140(5):913-915. DOI: 10.1016/j.ajo.2005.04.050
- Onishchenko AL, Kolbasko AV, Shirina MA. Vnutriglaznoe Davlenie u Tubalarov — Korennogo Naseleniya Respubliki Altaj. *Glaukoma*. 2011; 4:49-51.
- Baboolal SO, Smit DP South African Eye Study (SAES): Ethnic Differences in Central Corneal Thickness and Intraocular Pressure. *Eye (London, U. K.)*. 2018;32(4):749-756. DOI: 10.1038/eye.2017.291
- Klein BE, Klein R, Linton KL. Intraocular Pressure in an American Community. The Beaver Dam Eye Study. *Invest. Ophthalmol. Visual Sci*. 1992;33(7):2224-2228. PMID: 1607232
- Wu SY, Leske MC. Associations With Intraocular Pressure in the Barbados Eye Study. *Arch. Ophthalmol*. 1997;115(12):1572-1576. DOI: 10.1001/archophth.1997.01100160742012
- Lee MK, Cho SI, Kim H., et al. Epidemiologic Characteristics of Intraocular Pressure in the Korean and Mongolian Populations: the Healthy Twin and the GENDISCAN Study. *Ophthalmology*. 2012;119(3):450-457. DOI: 10.1016/j.ophtha.2011.09.016
- Lin HY, Hsu WM, Chou P, et al. Intraocular Pressure Measured With a Noncontact Tonometer in an Elderly Chinese Population: The Shihpai Eye Study. *Arch. Ophthalmol*. 2005;123(3):381-386. DOI: 10.1001/archophth.123.3.381
- Mori K, Ando F, Nomura H, et al. Relationship Between Intraocular Pressure and Obesity in Japan. *Int. J. Epidemiol*. 2000;29(4):661-666. DOI: 10.1093/ije/29.4.661 EDN: IQCDEV
- Lee JS, Lee SH, Oum BS, et al. Relationship Between Intraocular Pressure and Systemic Health Parameters in a Korean Population. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol*. 2002;30(4):237-241. DOI: 10.1046/j.1442-9071.2002.00527.x EDN: BADWYT
- Carel RS, Korczyn AD, Rock M, Goya I. Association Between Ocular Pressure and Certain Health Parameters. *Am. J. Ophthalmol*. 1984;91(4):311-314. DOI: 10.1016/S0161-6420(84)34282-8
- Levitsky SN, Bebyakova NA, Pechinkina NI, et al. Polymorphism of Genes Involved in the Regulation of Blood Pressure in Elderly Residents of the Arkhangelsk Region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(3):233-246 DOI: 10.17816/humeco633999 EDN: QYDTVN
- Neufeld M, Rehm J, Bunova A, et al.; The 2019/2020 RUS-AUDIT Collaborators & the RUS-AUDIT Project Advisory Board. Validation of a Screening Test for Alcohol Use, the Russian Federation. *Bull. W. H. O*. 2021;99:496-505. DOI: 10.2471/BLT.20.273227 EDN: KWLLPF
- SCORE2 working group and ESC Cardiovascular risk collaboration. SCORE2 risk prediction algorithms: new models to estimate 10-year risk of cardiovascular disease in Europe. *Eur. Heart J*. 2021;42(25):2439-2454. DOI: 10.1093/eurheartj/ehab309 EDN: DGYBZW
- Maklakov AN. Eshche po Povodu Oftal'motonometrii. *Hirurgicheskaya letopis'*. 1893;4:1-11. (In Russ.)
- Mel'nik LS. O Normah Elastotonometricheskikh Krivyyh. *Oftal'mologicheskij zhurnal*. 1961;16(4):221. (In Russ.)
- Nesterov AP, Cherkunov BF. Elastotonometricheskie Issledovaniya Normal'nyh Glaz. Sb. nauch. tr. Kafedra glaznyh boleznej Kujbyshevskogo medinstituta. Kujbyshev; 1963:97-99. (In Russ.)
- Belorussov VK. O Normah Elastotonometricheskikh Krivyyh u Lic Raznyh Vozrastnyh Kategorij. *Oftal'mologicheskij zhurnal*. 1964;19(5):326-331. (In Russ.)
- Panina NB. O Normah Vnutriglaznogo Davleniya. *Glaukoma i Drugie Zabolevaniya Glaz*. Leningrad, 1971: 7-12. (In Russ.)
- Alekseev VN, Egorov EA, Martynova EB. O Raspredelenii Urovnej Vnutriglaznogo Davleniya v Normal'noj Populyacii. *RMZh. Klinicheskaya oftal'mologiya*. 2001;2(2):38-40. Available from: https://www.rmj.ru/articles/oftalmologiya/O_raspredelenii_urovnej_vnutriglaznogo_davleniya_v_normalnoy_populyacii/?ysclid=mcg2sc6j3r26372234
- Egorov EA, Petrov SYu, Gorodnichij VV, Kuroedov AV, i dr. Tonometricheskoe vnutriglaznoe davlenie u vzroslogo naseleniya: populyacionnoe issledovanie. *Nacional'nyj zhurnal glaukoma*. 2020;19(2):39-50.
- Egorov EA, Elichev VP, Kuroedov AV, et al. Tonometric Intraocular Pressure Reference Values In Healthy Population. *Nacional'nyj zhurnal glaukoma*. 2018;17(2):91-98. DOI: 10.25700/NJG.2018.02.09 EDN: UTLYOF
- Chan MP, Grossi CM, Khawaja AP, et al., UK Biobank Eye and Vision Consortium. Associations with Intraocular Pressure in a Large Cohort: Results from the UK Biobank. *Ophthalmology*. 2016;123(4):771-782. DOI: 10.1016/j.ophtha.2015.11.031
- Leske MC, Connell AM, Wu SY, et al. Distribution of Intraocular Pressure. The Barbados Eye Study. *Arch. Ophthalmol*. 1997;115(8):1051-1057. DOI: 10.1001/archophth.1997.01100160221012
- Han X, Niu Y, Guo X, et al. Age-Related Changes of Intraocular Pressure in Elderly People in Southern China: Lingtong Eye Cohort Study. *PLoS One*. 2016;11(3):e0151766. DOI: 10.1371/journal.pone.0151766
- Bikbov MM, Kazakbaeva GM, Zainullin RM, et al. Intraocular Pressure and its Associations in a Russian Population: The Ural Eye and Medical Study. *Am. J. Ophthalmol*. 2019;204:130-139. DOI: 10.1016/j.ajo.2019.02.030 EDN: LRJTUC
- Kim MJ, Park KH, Kim CY, et al. The Distribution of Intraocular Pressure and Associated systemic Factors in a Korean Population: The Korea National Health and Nutrition Examination Survey. *Acta Ophthalmol*. 2014;92(7):e507-513. DOI: 10.1111/aos.12327
- Pakravan M, Javadi MA, Yazdani S, et al. Distribution of Intraocular Pressure, Central Corneal Thickness and Vertical Cup-to-Disc Ratio in a Healthy Iranian Population: The Yazd Eye Study. *Acta Ophthalmol*. 2017; 95(2):e144-e151. DOI: 10.1111/aos.13231
- Landers J, Henderson T, Craig J. Distribution and Associations of Intraocular Pressure in Indigenous Australians within central Australia: The Central Australian Ocular Health Study. *Clin. Exp. Ophthalmol*. 2011; 39(7):607-613. DOI: 10.1111/j.1442-9071.2011.02507.x
- Lantukh BB. Primary Glaucoma in the Indigenous Population of the Far North. *Vestn. Ophthalmol*. 1985;1:60-62. (In Russ.) PMID: 3885552.
- Charaf W.M., Siplivy V.I. Epidemiological aspects of glaucoma clinical progression, depending on social, economic, ethnic and geographic factors. *Nacional'nyj zhurnal Glaukoma*. 2014;13(1):68-76. EDN: SJVMTP
- Kiseleva OA, Robustova OV, Bessmertny AM, et al. Prevalence of primary glaucoma in representatives of different races and ethnic groups in Russia and in CIS. *Oftal'mologiya*. 2013;10(4):11-15. DOI: 10.18008/1816-5095-2013-4-11-15
- Memarzadeh F, Ying-Lai M, Azen SP, Varma R, The Los Angeles Latino Eye Study Group. Associations with Intraocular Pressure in Latinos: The Los Angeles Latino Eye Study. *Am. J. Ophthalmol*. 2008;146(1):69-76. DOI: 10.1016/j.ajo.2008.03.015

39. Chumakova G.A., Kuznetsova T.Yu., Druzhilov M.A. Diversity of hypertension in obesity. *Russian Journal of Cardiology*. 2023;28(4):5360. DOI: 10.15829/1560-4071-2023-5360 EDN: KJDGWY
40. Khawaja AP, Springelkamp H, Creuzot-Garcher C, et al., The European Eye Epidemiology C. Associations with Intraocular Pressure Across Europe: The European Eye Epidemiology (E³) Consortium. *Eur. J. Epidemiol.* 2016;31(11):1101-1111. DOI: 10.1007/s10654-016-0191-1 EDN: YWCLYL
41. Cui Y, Yang X, Zhang G, et al. Intraocular Pressure in General and Diabetic Populations From Southern China: The Dongguan Eye Study. *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.* 2019;60(2):761-769. DOI: 10.1167/iops.18-25247
42. Hoehn R, Mirshahi A, Hoffmann EM, et al. Distribution of Intraocular Pressure and Its Association with Ocular Features and Cardiovascular Risk Factors: The Gutenberg Health Study. *Ophthalmology*. 2013;120(5):961-968. DOI: 10.1016/j.ophtha.2012.10.031
43. Qureshi IA. Intraocular pressure: a comparative analysis in two sexes. *Clin. Physiol.* 1997;17(3):247-255. DOI: 10.1111/j.1365-2281.1997.tb00004.x
44. Hashemi H, Khabazkhoob M, Emamian MH, et al. Distribution of Intraocular Pressure and Its Determinants in an Iranian Adult Population. *Int. J. Ophthalmol.* 2016;9(8):1207-1214. DOI: 10.18240/ijo.2016.08.19
45. Foster PJ, Machin D, Wong TY, et al. Determinants of Intraocular Pressure and Its Association with Glaucomatous Optic Neuropathy in Chinese Singaporeans: the Tanjong Pagar Study. *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.* 2003;44(9):3885-91. DOI: 10.1167/iops.03-0012
46. Rochtchina E, Mitchell P, Wang JJ. Relationship Between Age and Intraocular Pressure: the Blue Mountains Eye Study. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* 2002;30(3):173-175. DOI: 10.1046/j.1442-9071.2002.00519.x EDN: BADWVR
47. Klein BE, Klein R. Intraocular Pressure and Cardiovascular Risk Variables. *Arch. Ophthalmol.* 1981;99(5):837-839. DOI: 10.1001/archophth.1981.03930010837009
48. Leske MC, Podgor MJ. Intraocular Pressure, Cardiovascular Risk Variables, and Visual Field Defects. *Am. J. Epidemiol.* 1983;118(2):280-287. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aje.a113634 EDN: IKJJYT
49. Chumakova GA, Kuznetsova TYu, Druzhilov MA., Veselovskaya NG. Obesity induced hypertension: The main pathophysiological mechanisms. *Arterial'naya gipertenziya (Arterial Hypertension)*. 2021;27(3):260-268. DOI: 10.18705/1607-419X-2021-27-3-260-268 EDN: OEYVXU
50. Demidova TYu, Grickevich EYu. Obesity and Arterial Hypertension: Mechanisms and Possibilities of Therapy. *FOCUS. Endokrinologiya*. 2020;1(1):52-59. DOI:10.47407/ef2020.1.1.0007 EDN: LJFDXC
51. Boyarinova MA., Rotar' OP, Konradi AO. Adipokines and Cardiometabolic Syndrome. *Arterial'naya gipertenziya (Arterial Hypertension)*. 2014;20(5):422-432. DOI: 10.18705/1607-419X2014-20-5-422-432 EDN: TAIGXD
52. Wagner J, Danser AHJ, Derckx FH. et al. Demonstration of Renin mRNA, Angiotensinogen mRNA, and Angiotensin Converting Enzyme mRNA Expression in the Human Eye: Evidence for an Intraocular Renin-angiotensin System. *Br. J. Ophthalmol.* – 1996;80(2):159-163. DOI: 10.1136/bjo.80.2.159
53. Murata M, Nakagawa M, Takahashi S. Expression and Localisation of Angiotensin II Type 1 Receptor mRNA in Rat Ocular Tissues. *Ophthalmologica*. 1997;211(6):384-386. DOI: 10.1159/000310835
54. Shestakova MV. The role of the tissue renin-angiotensin-aldosterone system in the development of metabolic syndrome, diabetes mellitus and its vascular complications. *Saharnyj diabet (Diabetes mellitus)*. 2010;13(3):14-19. (In Russ.)DOI:10.14341/2072-0351-5481 EDN: NDKACL
55. Likhvantseva VG, Korosteleva EV, Kovelonova IV, et al. Eye blood flow deficiency is the key factor determining the form of the secondary glaucoma in endocrine ophthalmopath. *Russian Ophthalmological Journal*. 2016;9(3):43-49. DOI: 10.21516/2072-0076-2016-9-3-43-49
56. Likhvantseva VG, Korosteleva EV, Tabeyeva KI, Vygodin VA. The Associative Link Between Thyroid Gland Diseases And Primary Open-Angle Glaucoma. *Glaukoma*. 2013;2:19-22. EDN: RSNOLV
57. Cross JM, Girkin CA, Owsley C, McGwin G. The Association Between Thyroid Problems and Glaucoma. *PLoS One*. 2015;10(7): e0133688
58. Lee AJ, Rochtchina E., Wang JJ, et al. Open-angle glaucoma and systemic thyroid disease in an older population: The Blue Mountains Eye Study. *Eye (Lond)*. – 2004;18:600-608. DOI: 10.1038/sj.eye.670073
59. Kakigi C, Kasuga T, Wang Y, et al. Hypothyroidism and Glaucoma in The United States. *PLoS One*. 2015;10(7): e0133688. DOI: 10.1371/journal.pone.0133688
60. Karadimas P, Bouzas EA, Topouzis F, et al. Hypothyroidism and glaucoma. A study of 100 hypothyroid patients. *Am. J. Ophthalmol.* 2001;131:126-128. DOI: 10.1016/s0002-9394(00)00724-8
61. Motoko SP, Jones JK. Is There an Association between Hypothyroidism and Open-Angle Glaucoma in an Elderly Population? An Epidemiologic Study. *Ophthalmology*. 2008;115(9):1581-1584. DOI: 10.1016/j.ophtha.2008.01.016
62. Duncan KG, Jumper MD, Ribeiro RC, et al. Human Trabecular Meshwork Cells as a Thyroid Hormone Target Tissue: Presence of Functional Thyroid Hormone Receptors. *Graefes Arch/ Clin. Exp. Ophthalmol.* 1999;237:231-240. DOI: 10.1007/s004170050224
63. Smith KD, Arthurs BP, Saheb N. An Association between Hypothyroidism and Primary Open-Angle Glaucoma. *Ophthalmology*. 1993;100(10):1580-1584. DOI: 10.1016/S0161-6420(93)31441-7
64. Beletskaya IS, Karonova TL, Astakhov S.Y. 25-Hydroxyvitamin D and matrix metalloproteinases-2, -9 level in patients with primary open angle glaucoma and pseudoexfoliative glaucoma/syndrome. *Ophthalmology Reports*. 2017;T(1):10-16. DOI: 10.17816/OV10110-16 EDN: YNAGQF
65. Yoo TK, Oh E, Hong S. Is Vitamin D Status Associated with Open-angle Glaucoma? A Cross-Sectional Study from South Korea. *Public Health Nutr.* 2014;17(4):833-843. DOI: 10.1017/S1368980013003492
66. Goncalves A, Milea D, Gohier P, et al. Serum Vitamin D Status Is Associated with the Presence But Not the Severity of Primary Open Angle Glaucoma. *Maturitas*. 2015;81(4):470-474. DOI: 10.1016/j.maturitas.2015.05.008
67. Pigarova EA, Rozhinskaya L.Ya., Belaya J.E., et al. Russian Association of Endocrinologists Recommendations for Diagnosis, Treatment and Prevention of Vitamin D Deficiency in Adults. *Problems of Endocrinology*. 2016;62(4):60-84. DOI: 10.14341/probl201662460-84 EDN: WMZICF
68. Garcion E, Sindji L, Nataf S, et al. Treatment of Experimental Autoimmune Encephalomyelitis In Rat by 1,25-Dihydroxyvitamin D₃ Leads to Early Effects Within the Central Nervous System. *Acta Neuropathol.* 2003;105:438-448. DOI: 10.1007/s00401-002-0663-0 EDN: ESHQJN
69. Kutuzova GD, Gabelt BT, Kiland JA, et al. 1 α ,25-Dihydroxyvitamin D₃ and Its Analog, 2-methylene-19-nor-(20S)-1 α ,25-dihydroxyvitamin D₃ (2MD), Suppress Intraocular Pressure in Non-human Primates. *Arch. Biochem. Biophys.* 2012;518(1):53-60. DOI: 10.1016/j.abb.2011.10.022
70. Yin Z, Pintea V, Lin Y, et al. Vitamin D enhances corneal epithelial barrier function. *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.* 2011;52(10):7359-7364. DOI: 10.1167/iops.11-7605
71. Lin Y, Ubels JL, Schotanus MP, et al. Enhancement of Vitamin D Metabolites in the Eye Following Vitamin D3 Supplementation and UV-B Irradiation. *Curr. Eye Res.* 2012;37(10):871-878. DOI: 10.3109/02713683.2012.688235
72. Alsalem JA, Patel D, Susarla R, et al. Characterization of Vitamin D Production by Human Ocular Barrier Cells. *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.* 2014;55(4):2140-2147. DOI: 10.1167/iops.13-13019
73. Zhivotovsky B, Orrenius S. Calcium and cell death mechanisms: a perspective from the cell death community. *Cell Calcium*. 2011;50(3):211-221. DOI: 10.1016/j.ceca.2011.03.003 EDN: PDZTPH
74. Beletskaya IS, Astakhov SY, Karonova TL, et al. Pseudoexfoliative glaucoma and molecular genetic characteristics of vitamin D metabolism. *Ophthalmology Reports*. 2018;11(2):19-28. DOI: 10.17816/OV11219-28 EDN: XQCJWP

AUTHORS' INFO

***Roman N. Zelentsov**, MD, Cand. Sci. (Medicine),
Associate Professor;
address: 51 Troitskiy ave, Arkhangelsk, Russia, 163069;
ORCID: 0000-0002-4875-0535;
eLibrary SPIN: 9312-3211;
email: zelentsovrm@gmail.com

Mariya A. Sinayskaya, MD, Cand. Sci. (Medicine),
Associate Professor;
ORCID: 0009-0009-6587-7149;
eLibrary SPIN: 1709-6124;
email: msinayskaya@inbox.ru

Natalya A. Bebyakova, Dr. Sci (Biology), Professor;
ORCID: 0000-0002-9346-1898;
eLibrary SPIN: 6326-5523;
email: nbebyakova@mail.ru

Natalia I. Pechinkina;
ORCID: 0000-0001-9066-5687
eLibrary SPIN: 5164-4187;
email: belova-8@mail.ru

Anastasia A. Trofimova, MD;
ORCID: 0000-0002-2248-6991;
eLibrary SPIN: 8388-3638;
email: aa.trofimova@mail.ru

Alexander V. Kudryavtsev, Ph.D.;
ORCID: 0000-0001-8902-8947;
eLibrary SPIN: 9296-2930;
email: alex.v.kudryavtsev@yandex.ru

ОБ АВТОРАХ

***Зеленцов Роман Николаевич**, канд. мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 163069, Архангельск,
Троицкий пр-кт, 51;
ORCID: 0000-0002-4875-0535;
eLibrary SPIN: 9312-3211;
email: zelentsovrm@gmail.com

Синайская Мария Александровна, канд. мед. наук,
доцент;
ORCID: 0009-0009-6587-7149;
eLibrary SPIN: 1709-6124;
email: msinayskaya@inbox.ru

Бебякова Наталья Александровна, д-р биол. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-9346-1898;
eLibrary SPIN: 6326-5523;
email: nbebyakova@mail.ru

Печинкина Наталья Игоревна;
ORCID: 0000-0001-9066-5687;
eLibrary SPIN: 5164-4187;
email: belova-8@mail.ru

Трофимова Анастасия Александровна;
ORCID: 0000-0002-2248-6991;
eLibrary SPIN: 8388-3638;
email: aa.trofimova@mail.ru

Кудрявцев Александр Валерьевич, Ph.D.;
ORCID: 0000-0001-8902-8947
eLibrary SPIN: 9296-2930
email: alex.v.kudryavtsev@yandex.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку