

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

ЭКОЛОГИЯ



ЧЕЛОВЕКА

EKOLOGIYA CHELOVEKA
(HUMAN ECOLOGY)

Volume 32, Issue 7, 2025

7

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

Copyeditor: I.G. Shevchenko, A.A. Fil

Proofreader: I.G. Shevchenko

Layout editor: O.V. Ustinkova

SUBSCRIPTION:

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

ADVERTISEMENT DEPARTMENT:

Phone: +7 (968) 545 78 20

E-mail: adv2@eco-vector.com

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

EKOLOGIYA CHELOVEKA (HUMAN ECOLOGY)

Monthly peer-reviewed journal

Volume 32 • Issue 7 • 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:

И.Г. Шевченко, А.А. Филь

Корректор: И.Г. Шевченко

Верстка: О.В. Устинкова

Сдано в набор 06.08.2025.

Подписано в печать 08.09.2025.

Выход в свет 26.09.2025.

Формат 60 × 88%. Печать офсетная.

Заказ. 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>



Экология человека. 2025. Т. 32, № 7.

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

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Ежемесячный научный рецензируемый журнал

Том 32 • № 7 • 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
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

Gulnara Batyrova, Gulmira Umarova, Saltanat Urazayeva, Umbetali Sarsembin, Assel Issaldinova, Gulaim Taskozhina, Zhamilia Issanguzhina, Yeskendir Umarov

Effect of soil heavy metal contamination on incidence of nervous system disorders 449

ORIGINAL STUDY ARTICLES

Andrey G. Likholetov, Elena G. Ichitovkina, Andrey G. Soloviev, Sergey V. Zhernov

Trends and forecast of health indicators of Russian Internal Affairs officers related to the consequences of external causes 460

Elena V. Krivonogova, Olga V. Krivonogova, Liliya V. Poskotinova

Impact of hypertension on cognitive function in middle age in the European North of Russia: P300 event-related potential study..... 469

Sergey N. Tolstoguzov, Ksenia A. Shikova, Vyacheslav M. Gruk, Olga N. Lepunova

Trier social stress test for assessing psychosocial stress based on heart rate variability parameters in male and female students of a higher educational institution479

Natalya V. Semenova, Anastasia N. Karacheva, Elizaveta A. Novikova, Olga A. Nikitina, Anait Yu. Marianian, Sergey I. Kolesnikov, Tatyana A. Bairova, Aleksey V. Belskikh, Elena V. Belyaeva, Alexandra Yu. Sambyalova, Oksana A. Ershova, Natalia V. Protopopova, Lubov I. Kolesnikova

Pregnancy and alcohol: parameters of endogenous intoxication depending on blood phosphatidylethanol levels..... 494

Evgeny V. Zibarev, Svetlana M. Vostrikova, Olga K. Kravchenko, Anna K. Bessonova, Sofia M. Nikonova

Self-assessment of exposure levels to harmful occupational factors at the workplaces of miners 504

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРЫ

*Г.А. Батырова, Г.А. Умарова, С.Т. Уразаева, У.К. Сарсембин, А.Н. Исалдинова,
Г.Е. Таскожина, Ж.Х. Исангужина, Е.А. Умаров*

Влияние загрязнения почвы тяжёлыми металлами на возникновение
заболеваний нервной системы 449

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

А.Г. Лихолетов, Е.Г. Ичитовкина, А.Г. Соловьев, С.В. Жернов

Динамика и прогноз показателей здоровья сотрудников органов внутренних дел
Российской Федерации, связанных с последствиями воздействия внешних причин 460

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

Влияние артериальной гипертензии на когнитивные функции в среднем возрасте
на Европейском Севере России: исследование с применением метода потенциалов,
связанных с событием Р300 469

С.Н. Толстогузов, К.А. Шикова, В.М. Грук, О.Н. Лепунова

Применение Триер-теста для оценки психосоциального стресса по показателям
вариабельности сердечного ритма у юношей и девушек, обучающихся
в высшем учебном заведении 479

*Н.В. Семёнова, Е.А. Новикова, О.А. Никитина, А.Ю. Марянян, А.Н. Карачева,
С.И. Колесников, Т.А. Баирова, А.В. Бельских, Е.В. Беляева, А.Ю. Самбялова,
О.А. Ершова, Н.В. Протопопова, Л.И. Колесникова*

Беременность и алкоголь: параметры эндогенной интоксикации в зависимости
от уровня фосфатидилэтанола в крови 494

Е.В. Зибарев, С.М. Вострикова, О.К. Кравченко, А.К. Бессонова, С.М. Никонова

Самооценка уровней воздействия вредных производственных факторов на рабочих местах шахтёров 504

Effect of Soil Heavy Metal Contamination on Incidence of Nervous System Disorders

Gulnara A. Batyrova¹, Gulmira A. Umarova¹, Saltanat T. Urazayeva¹, Umbetali K. Sarsembin², Assel N. Issaldinova¹, Gulaim E. Taskozhina¹, Zhamilia H. Issanguzhina¹, Yeskendir A. Umarov¹

¹ West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University, Aktobe, Republic of Kazakhstan;

² K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Republic of Kazakhstan

ABSTRACT

Human activities in industrialized economies lead to soil contamination with highly neurotoxic heavy metals accumulating in body tissues. Given the urgent environmental issue of heavy metal accumulation in soil and their toxicity to humans, the aim of the study was to analyse the available scientific data on their neurotoxicity. To achieve this aim, evidence-based papers from the relevant open databases over the past five years have been reviewed. According to scientific evidence, cadmium, chromium, lead, and mercury are considered the most common neurotoxic metals that pollute the soil. The heavy metal toxicity to nervous tissue has various mechanisms, such as the impairment of the cell cycle and metabolism and blood-brain barrier disruption. This leads to structural degeneration of the central nervous system. Cadmium, lead, mercury, and chromium can affect the development and functions of the nervous system, resulting in neurotoxicity that can be fatal in cases of acute poisoning. Screening, identification of populations with the increased risk of metal poisoning, and primary prevention in environmentally unfavourable areas are the appropriate actions to solve the problem of heavy metal contamination of the soil and their adverse effect on the body.

Keywords: trace elements; soil contamination; cadmium; lead; neurotoxicity; mercury; chromium.

To cite this article:

Batyrova GA, Umarova GA, Urazayeva ST, Sarsembin UK, Issaldinova AN, Taskozhina GE, Issanguzhina ZhH, Umarov YeA. Effect of Soil Heavy Metal Contamination on Incidence of Nervous System Disorders. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(7):449-459. DOI: 10.17816/humeco643565
EDN: ADYJZU

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643565>

EDN: ADYJZU

Влияние загрязнения почвы тяжёлыми металлами на возникновение заболеваний нервной системы

Г.А. Батырова¹, Г.А. Умарова¹, С.Т. Уразаева¹, У.К. Сарсембин², А.Н. Исалдинова¹,
Г.Е. Таскожина¹, Ж.Х. Исангужина¹, Е.А. Умаров¹

¹ Запдно-Казахстанский медицинский университет им. Марата Оспанова, Актобе, Республика Казахстан;

² Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актобе, Республика Казахстан

АННОТАЦИЯ

Антропогенная деятельность промышленно развитых стран приводит к загрязнению почвы тяжёлыми металлами, которые аккумулируются в тканях организма и обладают нейротоксическим действием. С учётом острой экологической проблемы накопления в почве тяжёлых металлов и их токсичности для человека целью исследования был анализ актуальных научных данных об их патологическом воздействии на нервную ткань. Для достижения поставленной цели обработаны доказательные научные статьи релевантных открытых баз данных за последние пять лет. Согласно научным данным, кадмий, хром, свинец и ртуть считаются наиболее распространёнными металлами, которые загрязняют почву и оказывают нейротоксическое действие. Токсичность тяжёлых металлов в нервной ткани реализуется через множественные механизмы, включая нарушение клеточного цикла, метаболических процессов и целостности гематоэнцефалического барьера. Эти воздействия приводят к дегенеративным изменениям структур центральной нервной системы. Кадмий, свинец, ртуть и хром вмешиваются в развитие нервной системы и её функционирование, вызывая нейротоксические эффекты, вплоть до летальных исходов при острых отравлениях. В районах с неблагоприятной экологической обстановкой важно проводить скрининговые исследования для выявления групп населения, подверженных повышенному риску отравления металлами. Это необходимо для реализации первичных профилактических мер. Такие действия помогут снизить негативное влияние загрязнённой почвы, содержащей тяжёлые металлы, на здоровье людей.

Ключевые слова: микроэлементы; загрязнение почвы; кадмий; свинец; нейротоксичность; ртуть; хром.

Как цитировать:

Батырова Г.А., Умарова Г.А., Уразаева С.Т., Сарсембин У.К., Исалдинова А.Н., Таскожина Г.Е., Исангужина Ж.Х., Умаров Е.А. Влияние загрязнения почвы тяжёлыми металлами на возникновение заболеваний нервной системы // Экология человека. 2025. Т. 32, № 7. С. 449–459.

DOI: 10.17816/humeco643565 EDN: ADYJZU

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643565>

EDN: ADYJZU

土壤重金属污染对神经系统疾病发生的影响

Gulnara A. Batyrova¹, Gulmira A. Umarova¹, Saltanat T. Urazayeva¹, Umbetali K. Sarsembin², Assel N. Issaldinova¹, Gulaim E. Taskozhina¹, Zhamilia H. Issanguzhina¹, Yeskendir A. Umarov¹

¹ West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University, Aktobe, Republic of Kazakhstan;

² K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Republic of Kazakhstan

摘要

工业发达国家的人类活动导致土壤受到重金属污染，这些金属可在机体组织中累积并产生神经毒性作用。考虑到土壤中重金属累积所引发的严重生态问题及其对人体的毒性，本研究旨在分析现有科学数据，评估其对神经组织的病理性影响。为实现研究目的，对近五年公开数据库中的循证科学文献进行了整理和分析。科学证据表明，镉、铬、铅和汞是最常见的污染土壤并产生神经毒性作用的金属。重金属在神经组织中的毒性通过多种机制介导，包括细胞周期紊乱、代谢过程破坏以及血脑屏障完整性受损。这些作用最终导致中枢神经系统结构的退行性改变。镉、铅、汞和铬干预神经系统的发育与功能，导致神经毒性效应，在急性中毒时可引起致死结局。对高风险社会群体开展金属中毒筛查，并在生态不利地区实施初级预防，是应对土壤重金属污染及其对人体不良影响的合理措施。

关键词：微量元素；土壤污染；镉；铅；神经毒性；汞；铬。

引用本文：

Batyrova GA, Umarova GA, Urazayeva ST, Sarsembin UK, Issaldinova AN, Taskozhina GE, Issanguzhina ZhH, Umarov YeA. 土壤重金属污染对神经系统疾病发生的影响. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(7):449-459. DOI: 10.17816/humeco643565 EDN: ADYJZU

收到: 30.12.2024

接受: 11.08.2025

发布日期: 24.08.2025

INTRODUCTION

Human activities have resulted in an ecological crisis primarily manifested by the adverse effect on the health of the population [1]. A significant environmental and global public health concern pertaining to the toxic metal contamination of ecosystems has been identified in numerous countries [2]. Thus, anthropogenic biosphere alterations give rise to the urgent task of preserving health and extending human life expectancy in the contemporary contexts [3]. It is critical to understand the etiology and patterns of the adverse effects of chemical soil pollution with heavy metals on human health to prevent potential negative processes that may result in specific syndromes and diseases.

The most common anthropogenic pollutants of the environment and soil are heavy metals as they are the third most toxic substances after pesticides and nitrates as indicated by Shen *et al.* [4]. The anthropogenic accumulation of heavy metals can be caused by various factors, including metallurgical and energy production, transport pollution, structural corrosion, mining, and poor waste management [5]. The primary entry point of heavy metals into the environment is dust and its deposits on the soil and leaves, i.e. dry deposits.

Heavy metals play a dual role in the soil; as trace elements, they are essential for physiological processes in the biosphere; however, their high concentrations are toxic and affect the health of humans and animals [6]. The heavy metal molecules have been found at all levels of the ecological pyramid, intensifying the problem of their effect on the body and emphasizing the need for rapid identification of their etiological relationships. This is particularly crucial in terms of accumulation and long-term effects. According to Rahman and Singh, despite the presence of natural heavy metals in the Earth's crust and soil, the contemporary anthropogenic activities, including mining, electroplating, smelting, household, and related industries, lead to abundant environmental pollution and human exposure to toxic metals [7]. Each heavy metal is unique in terms of its physiological effects; however, according to the study by Zaynab *et al.*, high concentrations of these metals can have a deleterious effect on the gastrointestinal tract, cardiovascular, endocrine, nervous, and reproductive systems [8].

Initially, heavy metals released from the contaminated soil to the human body accumulate in tissues and organs, gradually reaching a certain threshold in the body. At this point, disorders are initiated, including the enzyme system disorders, metabolic disorders, immunologic reactions, and the main organ system dysfunctions [9]. The continued toxicity leads to the development of specific symptoms with further clinical manifestations of the disease. Recent research by Ahmad *et al.* revealed that the oxidative breakdown of biological macronutrients is associated with the binding of heavy metals to cellular components in the form of structural proteins, enzymes, and nucleic acids. This, in turn, is associated with their dysfunction [10].

Chronic exposure to heavy metals has been shown to have severe consequences, including carcinogenic induction of cell metaplasia and negative effects on the cardiovascular, central and peripheral nervous systems [11]. The nervous system plays a pivotal role in regulating the somatic and vegetative innervation of all internal organs, and physical and psychoemotional control and conscious functions. Thus, studying its tendency to the negative chronic effect on the soil is of paramount importance. Organic and structural disorders of the central nervous system (CNS) have been demonstrated to promote mixed disorders of the endocrine system, autonomic nervous system, metabolic, and other systems of the body.

Some epidemiological and experimental studies show a significant relationship between the exposure to heavy metals in soil and neurotoxicity. Many neurodegenerative diseases, including Alzheimer disease, Parkinson disease, amyotrophic lateral sclerosis, multiple sclerosis, and attention deficit hyperactivity disorder, are caused by heavy metal toxicity [12]. The neurotoxicity of heavy metals has been shown to be associated with epigenetic changes related to histone modifications. Heavy metals alter gene transcription, leading to neurological and neurodevelopmental disorders [13]. Moreover, heavy metals have been shown to disrupt protein folding mechanisms, increasing the risk of neurodegenerative diseases in the exposed populations. This process is increasingly recognized as a critical factor in the development and progression of neurodegenerative diseases, such as Alzheimer and Parkinson diseases [14]. Glial cells are particularly susceptible to metal-induced neurotoxicity. The accumulation of heavy metals in the brain contributes to the microglial activation, promoting inflammatory responses together with other types of neurotoxicity, impaired synaptic transmission, cognitive impairment, and neuronal damage [15]. In addition, exposure to heavy metals, such as cadmium and mercury, can lead to adverse neurocognitive outcomes in adults via various pathways [16]. Moreover, exposure to multiple heavy metals increases this risk more than the exposure to individual heavy metals [17].

Considering the acute environmental issue of soil pollution with heavy metals and their diverse adverse effect on human health, we conducted a comprehensive analysis of the latest evidence on the effect of heavy metals on the human nervous system.

METHODS

To analyze contemporary evidence on the relationship between the soil heavy metal contamination and possible organic and structural disorders of the central and peripheral nervous systems, a systematic review of ecology, geology, neurology, laboratory diagnosis, epidemiology, internal and social medicine papers is required. To select data for subsequent review, we used some high impact publications from the relevant and reliable journals. The database of the

reviewed articles, statistics, clinical guidelines, and literature reviews was created based on advanced evidence, including long-term studies and observations of various medical cases, such as patients with long-term effects of heavy metal poisoning, central, or peripheral nervous system disorders associated with chronic heavy metal exposure and patients with the industrial exposure to heavy metals (metal exposure as an occupational hazard). The latest meta-analyses have also been included, which covered large cohorts of patients from 3 to 5 years of follow-up with different nervous system disorders to analyse the chronicity or resolution of heavy metal accumulation in the body.

To study scientific evidence, the paper reviews the medical articles in special and relevant publications from 2019 to 2024. The literature search was conducted across PubMed, Scopus, Google Scholar, and Web of Science using the keywords *тяжелые металлы* (*heavy metals*), *тяжелый металл* (*heavy metal*), *кадмий* (*cadmium*), *хром* (*chromium*), *свинец* (*lead*), *ртуть* (*mercury*), *загрязнение почвы* (*soil pollution*), *нейротоксичность* (*neurotoxicity*), and *нервная система* (*nervous system*) (see Fig. 1).

In most cases, we used the relevant scientific evidence from open databases. During our study, we identified the researcher who wrote the paper by an authorized entry and search on academic search platforms. Scientific databases facilitate the exclusion of search results authored by the same researchers, related papers, and outdated evidence and verification of the citation and impact factor of the paper and the publication itself. In addition to a filter by the publication date, we used the keyword search. This approach enabled to exclude the papers on the effect of other soil contaminants or other target organs and body systems not related to the subject of this study. In addition, we excluded papers with short-term medical observations. In addition to scientific articles, the paper reviews the latest recommendations of the World Health Organization (WHO) and international organizations for the prevention of anthropogenic effects of hazardous elements on the human nervous system. It also includes a recommendation on the early detection, diagnosis, and prevention of heavy metal accumulation.

RESULTS AND DISCUSSION

Given the prevalence of heavy metals in the biosphere as a result of various anthropogenic activities, including agricultural, household, medical, industrial, and technology sectors, there is an urgent need to solve the critical issue of their abnormal uptake and effect on various human organ systems. It has been found that the manifestation of high toxicity of heavy metals in the body is related to some factors, including the source of pollution and the patient's history [18]. The analyzed factors include the chemical composition of the compound; the dosage, the duration, and route of exposure, and the amount of accumulated metal [19]. In the context of patient care, certain factors have been identified as particularly

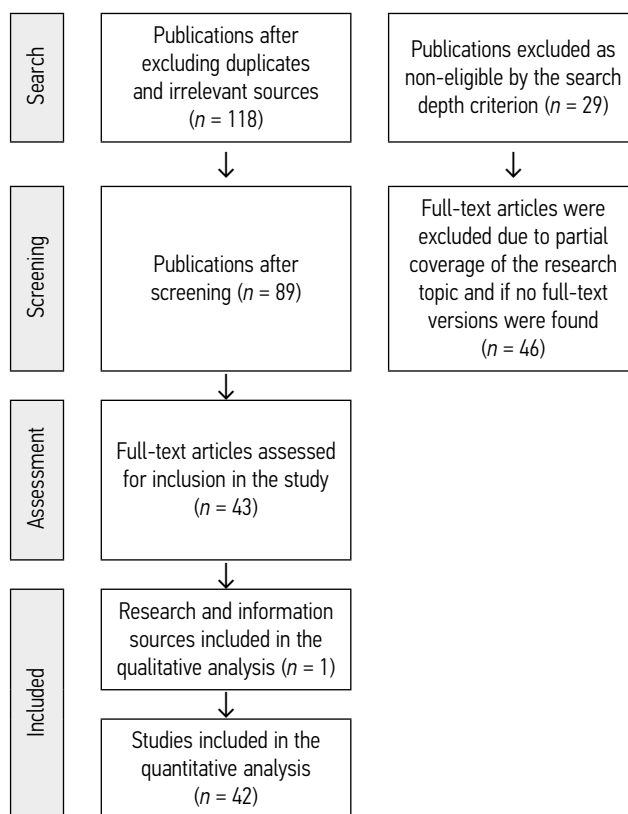


Fig. 1. Search and selection strategy.

important for determining the severity and sensitivity of morbidities. These include age, sex, genetic predisposition, nutritional status and quality, biorhythms, toxic workplace environment, and co-morbidities. Heavy metals, including lead, tin, arsenic, cadmium, and mercury, are frequently used in industrial processes. According to recent studies, cadmium, chromium, lead, and mercury are considered the prevalent metals in contaminated soil and a direct hazard to the human nervous system due to their proven toxicity [20]. The toxicity of these heavy metal compounds is measured by systemic toxicants to determine the degree of their effect on the patient and to assess possible damage to organ systems.

According to Alvarez *et al.*, heavy metal compounds do not metabolize in body tissues, which leads to their direct uptake during chronic exposure, i.e. bioaccumulation as a result of transdermal or parenteral uptake due to soil contamination [21]. As posited by Chen *et al.*, the toxicity of heavy metals and their ions is also associated with their solubility in aqueous solutions [22]. The ingestion of contaminated soil containing water and heavy metals may inhibit vital enzymes in the blood, inducing possibly lethal functional incapacitation. Thus, even negligible amounts of these substances may have severe physiological effects. In addition to intensive bioaccumulation, heavy metals do not biodegrade, i.e. they cannot be destroyed, detoxified, or totally removed from the body [23]. The bioaccumulation of heavy metals in the tissues is exacerbated in cases of ingestion of animal products that have been exposed to and accumulated

heavy metals in the contaminated soil. Therefore, in such scenario, the concentration of metals in food may increase exponentially, reaching the concentrations 100,000 times higher than those found in soil. This has been linked to the development of various disorders, including nervous system disorders, and carcinogenesis [24].

Cadmium

Cadmium is used in various types of household batteries, plastic products, industrial pigments, and metal structures. According to Wang *et al.*, it is also widely used in electroplating [25]. Moreover, it has been determined that coal and mineral solutions in soils also contain cadmium. In the latest recommendations of the International Agency for Research on Cancer and WHO, cadmium compounds are classified as a human carcinogen [26]. Fertilizers is the primary source of soil contamination with cadmium, which is introduced in the content in plants consumed by humans. It has been found that an additional source of soil cadmium is combustion products with large forest fires being a major contributor. Cadmium content in wood ash ranges from 2 to 32 mg/kg and is more than 9 mg/kg in straw ash [27]. Given that the ash has mainly alkaline properties, the cadmium present in it is insoluble in water and does not effectively penetrate plant tissues. However, according to Rizwan *et al.*, cadmium has been found to accumulate in the soil and during fermentation, it becomes available for absorption by plants [28]. It has been shown that cadmium can gradually accumulate in the human body. Moreover, it has been observed that cadmium, in conjunction with zinc, enters seawater through a network of surface and ground soils. Despite the reports on the reduced cadmium contamination of the soil in various industrialized economies by Wu *et al.*, the issue is still concerning, particularly with regard to its carcinogenic effects on agriculture and metallurgy workers and individuals residing in areas with soil contaminated with cadmium [29].

For a considerable period, the effect of cadmium on the human body was limited to the research of its accumulation in the nephrons, specifically in the epithelial cells of the proximal tubules, and bone tissue, which was characterized by homeostasis disorders during the lamellar bone mineralization [30]. Recent studies of large groups of patients have demonstrated statistically significant structural effects of cadmium on nervous tissue in both central and peripheral nervous systems. This evidence is supported by the research by Zhou *et al.* [31]. First, these studies investigate the evidence-based cadmium accumulation in brain tissues, which is also associated with the blood-brain barrier (BBB) disruption during the bioaccumulation of cadmium compounds in soft tissues. The BBB disruption during chronic accumulation of cadmium has been shown to be pathophysiologically associated with the oxidative and antioxidant homeostasis disorder of the capillary system of the central nervous system, promoting oxidative

stress [32]. Conversely, in acute cadmium intoxication, its highest levels have been observed in the nervous system structures not protected by the BBB, namely the pituitary gland and meninges, as previously documented by Branca *et al.* [33]. The degree of BBB resistance to the penetration of cadmium and its compounds is also related to the patient's medical history, including his or her age, comorbidities, and substance abuse [34].

According to current statistics, the blood and urine cadmium levels in the developed countries with a developed industrial infrastructure ranges from 0.005 to 7.01 µg/L and 0.04 to 14 µg/g, respectively [35]. Cadmium neurotoxicity involves the tissue oxidative stress (with a predominance of oxidants), affecting the activity of enzymes critical for neuronal function and intercellular homeostasis in the brain. This affects the cell cycle and the neuronal and neuroglial apoptosis [36, 37]. According to Branca *et al.* [38], cadmium in nervous tissue promotes neuronal cell cycle completion by blocking the proliferation of protoplasmic and fibrocytic astrocytes, causing apoptosis and necrosis of multipolar brain neurons. This effect on the cell cycle is evidenced by altered intracellular calcium ion levels; increased reactive oxygen species secretion; increased caspase immunoreactivity, and the increased expression of apoptotic factors. Recent studies by Ge *et al.* show that cadmium can disrupt the neuronal cytoskeleton development by inhibiting the expression of proteins involved in assembling and arranging cytoplasmic neurofilaments. These neurofilaments are marker organelles specific to neurons [39].

In cadmium-induced oxidative stress, high levels of malondialdehyde, nitric oxide, and oxidized glutathione are detected. Another mechanism of cadmium neurotoxicity is explained by the influence of its compounds on the activity of calcium adenosine triphosphatase and calcium/magnesium-dependent adenosine triphosphatase [40]. The effects of such deactivation are manifested by lower levels of calcium ions, which are critical for synaptic communication in all synapses of the central nervous system (CNS). Thus, cadmium affects nervous tissue through various mechanisms disrupting the cell cycle and intracellular metabolism, resulting in premature degeneration.

Lead

Diseases associated with lead accumulation are called lead poisoning, or saturnism. Lead is a highly toxic heavy metal with cumulative properties that mainly affect the human nervous system [41]. The metal content in fruits and vegetables contaminated with lead may increase by more than tenfold compared to the natural level in uncontaminated soil. Small amounts of lead are present in almost all plant crops. However, its level is especially high when these crops are grown in lead-contaminated soil. Scientific evidence shows that high levels of lead in cereal grains, legumes, and other foods are extremely toxic to humans and affect the yield of field crops. Lead itself affects the physicochemical

parameters and content of the soil microbial environment [42]. The gastrointestinal and nervous systems are the primary exposure targets of lead in households [43]. For its effect on the central nervous system, lead is highly neurotoxic, which is manifested by impaired neurophysiological function and symptoms of mental disorders and neurocognitive syndromes [42].

It has been proven that the child's body is more susceptible to the neurotoxic effects of lead and its compounds than adults. A study involving pediatric patients by Naranjo *et al.* showed that children are still exposed to lead despite widespread community and healthcare system awareness of its toxicity in different countries [44]. The authors demonstrate that, even in children with blood lead levels below the toxic threshold, specific therapy should be used to prevent negative effects on the CNS. The N-methyl-D-aspartate receptor is involved in the maturation of brain neurons and their functional plasticity, i.e. the processes that occur during the first three months of human prenatal development. Lead inhibits this receptor, leading to the interruption of the long-term potentiation of learned skills and memory abilities. Lead can also penetrate the BBB, inhibiting the endotheliocytes in the BBB system. Histocytological effects of lead disrupt both the prenatal and early nervous system development. These disorders include disruption to signalling, growth and differentiation factors during the proliferation and differentiation of CNS multipolar neurons; impaired synaptic connectivity due to reduced production of sialic acid by neurocytes, and impairment of the chronological sequence of glial cell differentiation. The pharmacological effects of lead poisoning include lead replacing calcium and disrupting calmodulin cascades [45]. Lead also blocks the secretion of neurotransmitters in the presynaptic membrane and their release to the synaptic cleft, disrupting the GABA-ergic, dopaminergic, and cholinergic systems of the CNS. In the cytoplasm, lead blocks the release of calcium ions from both the cell's cytoplasm and the mitochondria themselves. This leads to the accumulation of reactive oxygen species, the activation of mitochondrial lysis, and the initiation of apoptosis or necrosis [45].

Mercury

Mercury is present in almost all human foods, ranging from 1 to 50 µg/kg of body weight. Levels may be higher in seafood [46]. This metal is found in soil and water contaminated with heavy metals and can be converted to methylmercury by microorganisms. Methylmercury and mercury chloride are highly carcinogenic as evidenced by Kim *et al.* [47]. When mercury-contaminated food is consumed, mercury is easily absorbed by enterocytes and almost 100% of ingested mercury is deposited in cells and not excreted. The nervous system is sensitive to all types of mercury because of its high neurotoxicity. Once consumed, mercury first forms complexes with the sulfhydryl groups of blood plasma proteins and tissues before being transported through cell plasma membranes to target organs. More than 12% of

the mercury entering the body is deposited in brain tissues with smaller amounts deposited in hepatocytes and epithelial cells in the nephrons. According to Yang *et al.*, the typical symptoms of organic mercury poisoning include depressive disorder, headache, limb tremor, memory disorders, gastrointestinal disorders (e.g. diarrhea and nausea), skin rash, fatigue, and high blood pressure. Human activities directly or indirectly lead to soil pollution with three types of mercury, including the elemental, inorganic, and organic [48].

Methylmercury is extremely toxic to most bodily tissues and can easily penetrate three-dimensional cell structures. This has been proven by many studies, including Abbott and Nigussie [49]. Biochemical manifestations of mercury toxicity include blocking sulfhydryl-containing enzymes involved in cellular metabolism; increased circulation of reactive oxygen species; oxidative stress, and impaired intracellular functioning of calcium ions. The latter is similar to the effect of lead in the cells of target organs. As intracellular calcium ions have many functions important for both synaptic transmission and neuronal function, changes in intracellular calcium levels is the main mechanism underlying mercury neurotoxicity. These changes include the inhibited ability of cells to utilize calcium from intracellular stores, changes in the physical properties of calcium penetration through specific transmembrane channels in the plasma membrane, and protein phosphorylation changes. Oxidative stress due to mercury poisoning can directly or indirectly affect the cellular viability of the nervous system by disturbing the intracellular calcium homeostasis.

Methylmercury is very similar to thiol groups in human cells. Thus, intoxication during the prenatal differentiation of neuroblasts and late neurulation leads to the aberrant migration of stem cells and the disorganization of the developing brain neocortex. According to hypotheses proposed by Yawei *et al.* [50] and Zulaikhah *et al.* [51] but not yet studied in humans, methylmercury disrupts genetic sequences that control the normal neurulation during the first trimester of pregnancy. This alters cellular signalling factors of neuroblastic migration, leading to dysplasia and abnormal cortical and myeloarchitectonics. Among these signalling pathways, the Notch receptor is distinguished as being sensitive to the effects of mercury even at threshold concentrations as proven in experimental animals [52]. Dórea's study shows that the methylmercury neurotoxicity is associated with the inhibition of cytoplasmic microtubule polymerization, which in turn blocks cell migration and the cell division cycle as the mitotic spindle formation for cell division is impossible [53].

Chromium

As Pavesi and Moreira point out [54], chromium is present in the biosphere in various oxidation states. However, it is trivalent and hexavalent chromium that is toxic to the human body. Sources of chromium pollution include the combustion of oil and coal, pigment oxidizers, household

fertilizers, chromium steel and the drilling of oil wells. The effect of chromium on the human body depends on the dosage, exposure route, and exposure duration. Chromium compounds can act directly at the contact site—this is particularly the case with the skin—or be transported and accumulated in other tissues. Hexavalent chromium is a global environmental pathogen that increases the risk of cancer and nervous system disorders due to its neurotoxicity [55]. Some studies have shown that chronic occupational exposure to chromium can impair the olfactory function, increase the risk of motor neuron disease in cases of complex heavy metal poisoning, and promote schizophrenia, particularly in individuals with a psychiatric history as discussed by Ma *et al.* [56]. The authors highlight that high levels of chromium at the initial stages of schizophrenia may exacerbate serotonin synthesis, thereby contributing to the disease burden [57].

According to a study by Pavesi and Moreira [54], trivalent chromium circulates in the organic soil matter and as oxides, hydroxides, and sulphates. Studies of chromium exposed workers, a social group with a high risk of complications due to chromium exposure, show that they suffer from regular headaches, vertigo, and fatigue. However, there is no evidence on its neurological effects [58]. There is evidence of acute neurological complications in people with acute chromium poisoning following the ingestion of more than 8 mg of potassium dichromate. These complications include potentially lethal cerebral edema and necrotic lesions. Thus, the contaminated soil involves certain health hazards based on the range of heavy metals which exceed threshold levels. Given the wide range of pathways of heavy metal accumulation in the human body from the contaminated soil and the increasing number of industrial and agricultural sources of soil contamination with metals, this issue is still relevant for the healthcare systems of the developed countries worldwide. Table 1 summarizes the basic properties of the heavy metals discussed above for the diagnostic differentiation of their effects on the human nervous system.

Despite some common pathophysiological effects of heavy metals on the human nervous system, such as oxidative stress in the circulatory system and neuroglia, the disruption of calcium-dependent intracellular metabolism, and synaptic

transmission blocking in the multipolar CNS, particular heavy metals also have specific effects related to its valency and compounds. Further research on this issue should include studies of specific regions with contaminated soil, identification of the affected patient populations, and diagnosis of comorbidities that may lead to a complicated course of events.

CONCLUSION

Detailed studies of the chain of influence and the pathogenetic cascades involved in the development of nervous system disorders are important for developing the appropriate actions to prevent and protect from their chronic effects. Early exposure to toxic metal compounds can affect the fetal and early neurological development. The pathophysiological effects of heavy metals on cells and neuroglia in the human nervous system have some common properties, including the oxidative stress in the circulatory system and neurocytes; the inhibition of calcium-dependent intracellular metabolism, and the disruption of synaptic transmission in multipolar neuron systems. However, each metal has specific properties that facilitate a differentiated diagnosis. Primary prevention and the identification of high-risk populations are reasonable and cost-effective steps to prevent the effect of soil contaminated with heavy metals on critical organs and structures of the nervous system from a public health perspective.

ADDITIONAL INFO

Author contributions: Gulnara Batyrova: investigation, formal analysis, writing—original draft, writing—review & editing; Gulmira Umarova: investigation, formal analysis, writing—original draft; Saltanat Urazayeva: investigation, writing—original draft; Assel Issaldinova: investigation, formal analysis, writing—original draft, writing—review & editing; Umbetali Sarsembin, Gulaim Taskozhina, Zhamilia Issanguzhina, Yeskendir Umarov: investigation, formal analysis, writing—original draft, writing—review & editing. All authors confirm that their authorship meets the ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Funding sources: This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP26199833).

Table 1. Differentiated comparison of the main manifestations of soil heavy metals on the human nervous system

Manifestations	Cadmium	Lead	Mercury	Chromium
Influence on the prenatal development of the nervous system	Possible	Proven	Proven	Possible
Effect on the child's body	Possible	Proven	Proven	Possible
Disruption of the blood-brain barrier	Yes	Yes	Yes	Not typical
Mental disorders in metal poisoning	Yes	Yes	Not typical	Not typical
Disruption of synaptic transmission	Not typical	Typical	Typical	Typical
Neurological symptoms	Yes	Yes	Yes	Yes

Source: compiled by the authors.

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 study or article.

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. Г.А. Батырова — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; Г.А. Умарова — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; С.Т. Уразаева — сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; А. Исалдинова — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; У.К. Сарсембин, Г.Е. Таскожина, Ж.Х. Исангужина, Е.А. Умаров — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание

текста и редактирование статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источники финансирования. Данное исследование финансирует Комитет науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН № AP26199833).

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

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

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

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

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

REFERENCES | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Okerefor U, Makhatha M, Mekuto L, *et al.* Toxic metal implications on agricultural soils, plants, animals, aquatic life and human health. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(7):2204. doi: 10.3390/ijerph17072204
- Bhat SA, Hassan T, Majid S. Heavy metal toxicity and their harmful effects on living organisms — a review. *International Journal of Medical Science and Diagnosis Research*. 2019;3(1):106–122.
- Mitra S, Chakraborty AJ, Tareq AM, *et al.* Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University-Science*. 2022;34(3):101865. doi: 10.1016/j.jksus.2022.101865
- Shen X, Dai M, Yang J, *et al.* A critical review on the phytoremediation of heavy metals from environment: performance and challenges. *Chemosphere*. 2022;291(Pt 3):132979. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.132979
- Briffa J, Sinagra E, Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*. 2020;6(9):e04691. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04691
- Sall ML, Diaw AKD, Gningue-Sall D, *et al.* Toxic heavy metals: impact on the environment and human health, and treatment with conducting organic polymers, a review. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020;27(24):29927–29942. doi: 10.1007/s11356-020-09354-3
- Rahman Z, Singh VP. Bioremediation of toxic heavy metals (THMs) contaminated sites: concepts, applications and challenges. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020;27(22):27563–27581. doi: 10.1007/s11356-020-08903-0
- Zaynab M, Al-Yahyai R, Ameen A, *et al.* Health and environmental effects of heavy metals. *Journal of King Saud University-Science*. 2021;34(1):101653. doi: 10.1016/j.jksus.2021.101653
- Alengebawiy A, Abdelkhalek ST, Qureshi SR, Wang MQ. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: ecological risks and human health implications. *Toxics*. 2021;9(3):42. doi: 10.3390/toxics9030042
- Ahmad W, Alharthy RD, Zubair M, *et al.* Toxic and heavy metals contamination assessment in soil and water to evaluate human health risk. *Sci Rep*. 2021;11(1):17006. doi: 10.1038/s41598-021-94616-4
- Ijomone OM, Ifenatuoha CW, Aluko OM, *et al.* The aging brain: impact of heavy metal neurotoxicity. *Crit Rev Toxicol*. 2020;50(9):801–814. doi: 10.1080/10408444.2020.1838441
- Rehman Q, Rehman K, Akash MSH. Heavy metals and neurological disorders: from exposure to preventive interventions. In: MSH Akash, K Rehman, editors. *Environmental contaminants and neurological disorders. Emerging contaminants and associated treatment technologies*. Springer, Cham; 2021. doi: 10.1007/978-3-030-66376-6_4
- Mehta I, Verma M, Quasmi MN, *et al.* Emerging roles of histone modifications in environmental toxicants-induced neurotoxicity. *Toxicology*. 2025;515:154164. doi: 10.1016/j.tox.2025.154164
- Kumar P. Heavy metal contamination causes protein misfolding, leading to neurodegenerative disorders. In: *Protein Misfolding in Neurodegenerative Diseases*. Academic Press; 2025. P. 463–492. ISBN: 978-0443187162
- Ijomone OK, Ukwubile II, Aneke VO, *et al.* Glial perturbation in metal neurotoxicity: implications for brain disorders. *Neuroglia*. 2025;6(1):4. doi: 10.3390/neuroglia6010004
- Althomali RH, Abbood MA, Saleh EAM, *et al.* Exposure to heavy metals and neurocognitive function in adults: a systematic review. *Environ Sci Eur*. 2024;36(1):18. doi: 10.1186/s12302-024-00843-7
- Chen J, Chen J, Li M, *et al.* Probabilistic assessment of the cumulative risk from dietary heavy metal exposure in Chongqing, China using a hazard-driven approach. *Sci Rep*. 2025;15(1):2229. doi: 10.1038/s41598-024-83299-2
- Fu Z, Xi S. The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicol Mech Methods*. 2020;30(3):167–176. doi: 10.1080/15376516.2019.1701594
- Chen S, Zhao R, Sun X, *et al.* Toxicity and biocompatibility of liquid metals. *Adv Healthc Mater*. 2023;12(3):e2201924. doi: 10.1002/adhm.202201924
- Prasad S, Yadav KK, Kumar S, *et al.* Chromium contamination and effect on environmental health and its remediation: a sustainable approaches. *J Environ Manage*. 2021;285:112174. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112174
- Alvarez CC, Bravo Gómez ME, Hernández Zavala A. Hexavalent chromium: regulation and health effects. *J Trace Elem Med Biol*. 2021;65:126729. doi: 10.1016/j.jtemb.2021.126729
- Chen L, Zhou M, Wang J, *et al.* A global meta-analysis of heavy metal(loid)s pollution in soils near copper mines: evaluation of pollution level and probabilistic health risks. *Sci Total Environ*. 2022;835:155441. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155441

23. Long Z, Huang Y, Zhang W, *et al.* Effect of different industrial activities on soil heavy metal pollution, ecological risk, and health risk. *Environ Monit Assess.* 2021;193(1):20. doi: 10.1007/s10661-020-08807-z
24. Adimalla N, Chen J, Qian H. Spatial characteristics of heavy metal contamination and potential human health risk assessment of urban soils: a case study from an urban region of South India. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2020;194:110406. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110406
25. Wang M, Chen Z, Song W, *et al.* A review on cadmium exposure in the population and intervention strategies against cadmium toxicity. *Bull Environ Contam Toxicol.* 2021;106(1):65–74. doi: 10.1007/s00128-020-03088-1
26. WHO (2019). *Preventing disease through healthy environments: exposure to cadmium: a major public health concern.* World Health Organization; 2019. 6 p. URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/329480/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.3-eng.pdf>
27. Suhani I, Sahab S, Srivastava V, Singh RP. Impact of cadmium pollution on food safety and human health. *Current Opinion in Toxicology.* 2022;27:1–7. doi: 10.1016/j.cotox.2021.04.004
28. Rizwan M, Ali S, Rehman MZU, Maqbool A. A critical review on the effects of zinc at toxic levels of cadmium in plants. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2019;26(7):6279–6289. doi: 10.1007/s11356-019-04174-6
29. Wu J, Mock HP, Giehl RFH, *et al.* Silicon decreases cadmium concentrations by modulating root endodermal suberin development in wheat plants. *J Hazard Mater.* 2019;364:581–590. doi: 10.1016/j.jhazmat.2018.10.052
30. Andjelkovic M, Buha Djordjevic A, Antonijevic E, *et al.* Toxic effect of acute cadmium and lead exposure in rat blood, liver, and kidney. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(2):274. doi: 10.3390/ijerph16020274
31. Zhou R, Zhao J, Li D, *et al.* Combined exposure of lead and cadmium leads to the aggravated neurotoxicity through regulating the expression of histone deacetylase 2. *Chemosphere.* 2020;252:126589. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126589
32. Bi SS, Talukder M, Sun XT, *et al.* Cerebellar injury induced by cadmium via disrupting the heat-shock response. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2023;30(9):22550–22559. doi: 10.1007/s11356-022-23771-6
33. Branca JJV, Fiorillo C, Carrino D, *et al.* Cadmium-induced oxidative stress: focus on the central nervous system. *Antioxidants (Basel).* 2020;9(6):492. doi: 10.3390/antiox9060492
34. Chandravanshi L, Shiv K, Kumar S. Developmental toxicity of cadmium in infants and children: a review. *Environ Anal Health Toxicol.* 2021;36(1):e2021003-0. doi: 10.5620/eaht.2021003
35. Ruczaj A, Brzóska MM. Environmental exposure of the general population to cadmium as a risk factor of the damage to the nervous system: a critical review of current data. *J Appl Toxicol.* 2023;43(1):66–88. doi: 10.1002/jat.4322
36. Mubeena Mariyath PM, Shahi MH, Tayyab M, *et al.* Cadmium-induced neurodegeneration and activation of noncanonical sonic hedgehog pathway in rat cerebellum. *J Biochem Mol Toxicol.* 2019;33(4):e22274. doi: 10.1002/jbt.22274
37. Chouit Z, Djellal D, Haddad S, *et al.* Potentiation of the apoptotic signaling pathway in both the striatum and hippocampus and neurobehavioral impairment in rats exposed chronically to a low-dose of cadmium. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2021;28(3):3307–3317. doi: 10.1007/s11356-020-10755-7
38. Branca JJV, Maresca M, Morucci G, *et al.* Effects of cadmium on ZO-1 tight junction integrity of the blood brain barrier. *Int J Mol Sci.* 2019;20(23):6010. doi: 10.3390/ijms20236010
39. Ge Y, Song X, Chen L, *et al.* Cadmium induces actin cytoskeleton alterations and dysfunction in Neuro-2a cells. *Environ Toxicol.* 2019;34(4):469–475. doi: 10.1002/tox.22700
40. Polykretis P, Cencetti F, Donati C, *et al.* Cadmium effects on superoxide dismutase 1 in human cells revealed by NMR. *Redox Biol.* 2019;21:101102. doi: 10.1016/j.redox.2019.101102
41. Kumar A, Kumar A, M M S CP, *et al.* Lead toxicity: health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(7):2179. doi: 10.3390/ijerph17072179
42. Chandrasekhar C, Ray JG. Lead accumulation, growth responses and biochemical changes of three plant species exposed to soil amended with different concentrations of lead nitrate. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2019;171:26–36. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.12.058
43. Apte A, Bradford K, Dente C, Smith RN. Lead toxicity from retained bullet fragments: a systematic review and meta-analysis. *J Trauma Acute Care Surg.* 2019;87(3):707–716. doi: 10.1097/TA.0000000000002287
44. Naranjo VI, Hendricks M, Jones KS. Lead toxicity in children: an unremitting public health problem. *Pediatr Neurol.* 2020;113:51–55. doi: 10.1016/j.pediatrneurol.2020.08.005
45. Sawicki K, Czajka M, Matysiak-Kucharek M, *et al.* Toxicity of metallic nanoparticles in the central nervous system. *Nanotechnology Reviews.* 2019;8(1):175–200. doi: 10.1515/ntrev-2019-0017
46. Pacyna JM. Recent advances in mercury research. *Sci Total Environ.* 2020;738:139955. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139955
47. Kim H, Lee J, Woo HD, *et al.* Dietary mercury intake and colorectal cancer risk: a case-control study. *Clin Nutr.* 2020;39(7):2106–2113. doi: 10.1016/j.clnu.2019.08.025
48. Yang L, Zhang Y, Wang F, *et al.* Toxicity of mercury: Molecular evidence. *Chemosphere.* 2020;245:125586. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125586
49. Abbott LC, Nigussie F. Mercury Toxicity and neurogenesis in the mammalian brain. *Int J Mol Sci.* 2021;22(14):7520. doi: 10.3390/ijms22147520
50. Yawei S, Jianhai L, Junxiu Z, *et al.* Epidemiology, clinical presentation, treatment, and follow-up of chronic mercury poisoning in China: a retrospective analysis. *BMC Pharmacol Toxicol.* 2021;22(1):25. doi: 10.1186/s40360-021-00493-y
51. Zulaikhah ST, Wahyuwibowo J, Pratama AA. Mercury and its effect on human health: a review of the literature. *Int J Public Health.* 2020;9(2):103–114. doi: 10.1159/ijphs.v9i2.20416
52. Du B, Yin R, Fu X, *et al.* Use of mercury isotopes to quantify sources of human inorganic mercury exposure and metabolic processes in the human body. *Environ Int.* 2021;147:106336. doi: 10.1016/j.envint.2020.106336
53. Dórea JG. Neurotoxic effects of combined exposures to aluminum and mercury in early life (infancy). *Environ Res.* 2020;188:109734. doi: 10.1016/j.envres.2020.109734
54. Pavesi T, Moreira JC. Mechanisms and individuality in chromium toxicity in humans. *J Appl Toxicol.* 2020;40(9):1183–1197. doi: 10.1002/jat.3965
55. Ukhurebor KE, Aigbe UO, Onyancha RB, *et al.* Effect of hexavalent chromium on the environment and removal techniques: a review. *J Environ Manage.* 2021;280:111809. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111809
56. Ma J, Yan L, Guo T, *et al.* Association of typical toxic heavy metals with schizophrenia. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(21):4200. doi: 10.3390/ijerph16214200
57. Wise Jr JP, Young JL, Cai J, Cai L. Current understanding of hexavalent chromium [Cr(VI)] neurotoxicity and new perspectives. *Environ Int.* 2022;158:106877. doi: 10.1016/j.envint.2021.106877
58. Hossini H, Shafie B, Niri AD, *et al.* A comprehensive review on human health effects of chromium: insights on induced toxicity. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2022;29(47):70686–70705. doi: 10.1007/s11356-022-22705-6

AUTHORS' INFO

*** Gulnara A. Batyrova**, PhD;
address: 68 Maresyev st, Aktobe, Kazakhstan, 030019;
ORCID: 0000-0001-7970-4059;
eLibrary SPIN: 8584-5024;
e-mail: g.batyrova@zkm.kz

Gulmira A. Umarova, PhD;
ORCID: 0000-0001-7637-113X;
eLibrary SPIN: 9146-3959;
e-mail: uga_80@mail.ru

Saltanat T. Urazayeva, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-4773-0807;
e-mail: s.urazaeva@mail.ru

Umbetali K. Sarsembin, PhD;
ORCID: 0000-0002-0796-3737;
e-mail: umbetali_s.k@mail.ru

Assel N. Issaldinova,
Master of the Educational program;
ORCID: 0000-0003-4843-5823;
e-mail: aselisaldinova@gmail.com

Gulaim E. Taskozhina, PhD, Student;
ORCID: 0000-0003-3922-0054;
e-mail: g.taskozhina@zkm.kz

Zhamilia X. Issanguzhina, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-7557-8486;
e-mail: gamilia0452@gmail.com

Yeskendir A. Umarov,
Master of the Natural Sciences;
ORCID: 0000-0002-5661-4023;
e-mail: eskendir.um@gmail.com

ОБ АВТОРАХ

*** Батырова Гульнара Арыстангалиевна**, PhD;
адрес: Казахстан, 030019, Актобе, ул. Маресьева, д. 68;
ORCID: 0000-0001-7970-4059;
eLibrary SPIN: 8584-5024;
e-mail: g.batyrova@zkm.kz

Умарова Гульмира Арыстангалиевна, PhD;
ORCID: 0000-0001-7637-113X;
eLibrary SPIN: 9146-3959;
e-mail: uga_80@mail.ru

Уразаева Салтанат Тураковна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-4773-0807;
e-mail: s.urazaeva@mail.ru

Сарсембин Умбетали Куандыкович, PhD;
ORCID: 0000-0002-0796-3737;
e-mail: umbetali_s.k@mail.ru

Исалдинова Асель Нурлановна,
магистр образовательной программы;
ORCID: 0000-0003-4843-5823;
e-mail: aselisaldinova@gmail.com

Таскожина Гулайм Есенбаевна, докторант;
ORCID: 0000-0003-3922-0054;
e-mail: g.taskozhina@zkm.kz

Исангужина Жамиля Халимовна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-7557-8486;
e-mail: gamilia0452@gmail.com

Умаров Ескендир Арыстангалиевич,
магистр естественных наук;
ORCID: 0000-0002-5661-4023;
e-mail: eskendir.um@gmail.com

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

Динамика и прогноз показателей здоровья сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации, связанных с последствиями воздействия внешних причин

А.Г. Лихолетов¹, Е.Г. Ичитовкина^{1,2}, А.Г. Соловьев², С.В. Жернов³

¹ Департамент по материально-техническому и медицинскому обеспечению МВД России, Москва, Россия;

² Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия;

³ Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, Тамбов, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Травмы, отравления и иные последствия воздействия внешних причин (МКБ-10, класс XIX) продолжают занимать значительное место в структуре заболеваемости, временной утраты трудоспособности, инвалидизации и смертности среди сотрудников органов внутренних дел, что обуславливает необходимость анализа их динамики и разработки прогностических моделей в условиях изменяющейся служебной нагрузки.

Цель. Оценка динамики и прогнозирование показателей здоровья, связанных с последствиями воздействия внешних причин, сотрудников органов внутренних дел.

Материалы и методы. Проведён ретроспективный анализ временных рядов по показателям первичной заболеваемости, трудопотерь, смертности и первичной инвалидности, связанных с воздействием внешних причин (МКБ-10, класс XIX), среди сотрудников органов внутренних дел за 2008–2024 гг. Для прогноза на 2025–2028 гг. использовали модель авторегрессионной интегрированной скользящей средней (ARIMA), дополненной бинарным экзогенным фактором, отражающим участие в боевых действиях. Достоверность различий между моделями с учётом и без учёта внешнего воздействия оценивали методом дисперсионного анализа (ANOVA).

Результаты. Построенные прогнозные модели продемонстрировали достоверное влияние экзогенного фактора, отражающего участие в боевых действиях, на ключевые медико-статистические показатели. Учёт внешнего воздействия привёл к увеличению прогнозируемых значений первичной заболеваемости (в среднем на 2,1‰), числа случаев трудопотерь (на 3,8‰) и дней временной нетрудоспособности (более 270 на 1000 сотрудников ежегодно; $p < 0,001$). Напротив, показатели смертности и первичной инвалидности оказались ниже в модели с экзогенным фактором, что может отражать организационные особенности медицинской помощи и эвакуации в условиях повышенного риска. Полученные различия между моделями оказались статистически значимыми по всем параметрам, кроме инвалидности (ANOVA, $p < 0,05$).

Заключение. Включение экзогенного предиктора, отражающего участие сотрудников органов внутренних дел в боевых действиях, позволило повысить точность прогноза ключевых медико-демографических показателей, связанных с последствиями воздействия внешних причин. Полученные результаты подчёркивают необходимость системного внедрения механизмов медицинской эвакуации, этапной реабилитации и функционального мониторинга пострадавших для снижения потерь трудоспособности и продления профессионального долголетия личного состава.

Ключевые слова: сотрудники органов внутренних дел Российской Федерации; травматизм; заболеваемость от внешних причин; смертность; первичная инвалидность; профилактика; прогнозирование.

Как цитировать:

Лихолетов А.Г., Ичитовкина Е.Г., Соловьев А.Г., Жернов С.В. Динамика и прогноз показателей здоровья сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации, связанных с последствиями воздействия внешних причин // Экология человека. 2025. Т. 32, № 7. С. 460–468.

DOI: 10.17816/humeco643231 EDN: AUDEMФ

Trends and Forecast of Health Indicators of Russian Internal Affairs Officers Related to the Consequences of External Causes

Andrey G. Likholetov¹, Elena G. Ichitovkina^{1,2}, Andrey G. Soloviev², Sergey V. Zhernov³

¹ Department of material, technical and medical support, Ministry of Internal Affairs of Russia, Moscow, Russia;

² Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;

³ Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Injuries, poisonings, and other consequences of external causes (ICD-10, Chapter 19) continue to occupy a significant place in the structure of morbidity, temporary disability, permanent disability, and mortality among Internal Affairs officers. This necessitates an analysis of their trends and the development of predictive models under conditions of changing service-related workload.

AIM: The work aimed to assess the trends and forecast health indicators related to the consequences of external causes among officers of the Internal Affairs bodies.

METHODS: A retrospective time-series analysis was performed for primary morbidity, loss of work capacity, mortality, and primary disability caused by external causes (ICD-10, Chapter 19) among Internal Affairs officers from 2008 to 2024. Forecasts for 2025–2028 were generated using the autoregressive integrated moving average (ARIMA) model, supplemented with a binary exogenous factor reflecting participation in combat operations. The validity of differences between models with and without the external factor was assessed using analysis of variance (ANOVA).

RESULTS: The predictive models demonstrated a significant influence of the exogenous factor reflecting participation in combat operations on key medical-statistical indicators. Accounting for the external factor led to increased forecasted values for primary morbidity (by an average of 2.1‰), cases of loss of work capacity (by 3.8‰), and days of temporary disability (more than 270 per 1000 officers annually; $p < 0.001$). Conversely, mortality and primary disability indicators were lower in the model with the exogenous factor, which may reflect organizational features of medical assistance and evacuation under increased risk. The observed differences between models were statistically significant for all parameters except disability (ANOVA, $p < 0.05$).

CONCLUSION: The inclusion of an exogenous predictor reflecting participation of Internal Affairs officers in combat operations improved the accuracy of forecasting key medical-demographic indicators related to external causes. The results highlight the necessity of systematic implementation of medical evacuation mechanisms, staged rehabilitation, and functional monitoring of affected officers to reduce disability-related losses and prolong professional longevity.

Keywords: Russian Internal Affairs officers; injuries; morbidity due to external causes; mortality; primary disability; prevention; forecasting.

To cite this article:

Likholetov AG, Ichitovkina EG, Soloviev AG, Zhernov SV. Trends and Forecast of Health Indicators of Russian Internal Affairs Officers Related to the Consequences of External Causes. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(7):460–468. DOI: 10.17816/humeco643231 EDN: AUDEMf

俄罗斯联邦内务部工作人员因外因所致健康指标的动态与预测

Andrey G. Likholetov¹, Elena G. Ichitovkina^{1,2}, Andrey G. Soloviev², Sergey V. Zhernov³

¹ Department of material, technical and medical support, Ministry of Internal Affairs of Russia, Moscow, Russia;

² Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;

³ Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia

摘要

论证。创伤、中毒及其他外因（ICD-10第XIX类）在俄罗斯联邦内务机关工作人员的发病率、暂时丧失劳动能力、致残和死亡结构中依然占据显著比例。这凸显出在服役负荷不断变化的条件下，有必要对其动态进行分析并建立预测模型。

目的。评估俄罗斯联邦内务机关工作人员因外因所致健康指标的动态，并对其进行预测。

材料与方法。对2008 – 2024年俄罗斯联邦内务机关工作人员因外因（ICD-10，第XIX类）导致的初发发病率、劳动损失、死亡率和初发致残率的时间序列进行了回顾性分析。2025 – 2028年的预测采用自回归积分滑动平均模型（ARIMA），并引入一个二元外生变量以反映参战情况。通过方差分析（ANOVA）评估纳入与未纳入外部因素的模型之间的差异。

结果。预测模型显示，反映参战情况的外生变量对关键医学统计指标具有显著影响。纳入外部因素后，初发发病率预测值（平均增加2.1%）、劳动损失病例数（增加3.8%）以及暂时丧失劳动能力天数（每1000名工作人员每年增加超过270天； $p < 0.001$ ）均有所上升。相反，死亡率和初发致残率在含外生变量的模型中较低，这可能反映了在高风险条件下医疗救治与后送的组织特点。除致残率外，两类模型在所有指标上的差异均具有统计学意义（ANOVA, $p < 0.05$ ）。

结论。在预测模型中引入反映参战情况的外生预测因子，提高了与外因相关的关键医学—人口学指标预测的准确性。结果强调了系统性实施医疗后送、分阶段康复以及伤员功能监测机制的必要性，以减少劳动能力损失并延长内务机关工作人员的职业寿命。

关键词：俄罗斯联邦内务机关工作人员；创伤；外因相关发病率；死亡率；初发致残；预防；预测。

引用本文：

Likholetov AG, Ichitovkina EG, Soloviev AG, Zhernov SV. 俄罗斯联邦内务部工作人员因外因所致健康指标的动态与预测. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(7):460–468. DOI: 10.17816/humeco643231 EDN: AUDEMf

ОБОСНОВАНИЕ

Состояние здоровья сотрудников органов внутренних дел (ОВД) Российской Федерации является важнейшим фактором, определяющим эффективность выполнения служебных обязанностей и обеспечение общественного порядка и безопасности в стране [1]. В экстремальных условиях профессиональной деятельности у сотрудников ОВД возрастает риск получения травм, что отражается на профессиональной готовности и эффективности выполнения оперативно-служебных и боевых задач [2].

Анализ динамики здоровья сотрудников ОВД и прогнозирование заболеваемости имеют принципиальное значение для принятия управленческих решений, направленных на улучшение медицинского сопровождения и снижение трудопотерь среди личного состава [3]. Кроме того, решение вопроса профилактики профессиональных заболеваний и травм сотрудников ОВД, связанных с воздействием внешних причин, отражается на повышении устойчивости системы охраны здоровья сотрудников [4]. Исследование динамических показателей заболеваемости позволяет выявить ключевые проблемные области и разработать меры по улучшению системы обеспечения в медицинских организациях, подведомственных Министерству внутренних дел (МВД) России [5]. Сотрудники МВД России в условиях специальной военной операции (СВО) на прифронтовых территориях выполняют функции по обеспечению общественной безопасности, проводят оперативно-розыскные мероприятия, осуществляют контрразведывательную деятельность, направленную на нейтрализацию преступников, предотвращение диверсий и террористических актов, защиту ключевых объектов, и обеспечивают безопасность населения, осуществляя служебную деятельность в условиях чрезвычайных ситуаций. Современные формы вооруженного конфликта существенно отличаются от предыдущих опытов локальных военных действий, таких как в Афганистане, Сирии, на Северном Кавказе и в других горячих точках последних десятилетий. Использование противником технологий для дистанционного поражения личного состава силовых ведомств Российской Федерации представляет угрозу получения травм и ранений даже в глубоком тылу. Степень воздействия стрессовых факторов служебной деятельности сотрудников ОВД варьирует в зависимости от специфики исполнения функциональных обязанностей и оперативно-служебных задач. В структуру МВД России входят различные службы, такие как криминальная полиция, патрульно-постовая служба, транспортная полиция, миграционная служба и другие, которые тесно взаимодействуют для обеспечения охраны правопорядка и общественной безопасности граждан России и в равной степени подвергаются риску в период несения службы в чрезвычайных условиях профессиональной деятельности, вне мест постоянной дислокации. В современных социально-политических условиях

необходимо обеспечивать высокий уровень здоровья сотрудников ОВД, что является неотъемлемой частью поддержания общественного порядка и безопасности граждан России [6, 7].

Цель исследования. Оценка динамики и прогнозирование показателей здоровья, связанных с последствиями воздействия внешних причин, сотрудников ОВД.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В декабре 2024 года проведён анализ временных рядов по показателям здоровья сотрудников ОВД за 2008–2024 гг. по классу XIX МКБ-10: «Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин» (S00–T98). В качестве ключевых индикаторов рассматривали первичную заболеваемость (на 1000 сотрудников, ‰), уровень случаев трудопотерь (на 1000 сотрудников, ‰), уровень смертности (на 100 000 сотрудников), уровень первичной инвалидности (на 10 000 сотрудников). Источником данных служили агрегированные годовые отчёты, предоставленные системой медицинского обеспечения МВД России, охватывающие 17-летний временной интервал. Для построения прогноза показателей на 2025–2028 гг. использовали модель временных рядов на основе авторегрессионной интегрированной скользящей средней (ARIMA) с включением бинарного внешнего фактора, отражающего участие сотрудников ОВД в СВО. Для 2022, 2023 и 2024 гг. данному фактору присваивали значение 1, для остальных лет — 0. Это отражает повышение нагрузки и стресса в условиях угрозы жизни и здоровью сотрудников ОВД. Построение прогнозных моделей осуществляли по каждому показателю отдельно. Применяли модель ARIMA (1,1,1) с экзогенной переменной, реализованной в библиотеке statsmodels языка Python. Для каждого ряда проведён тест на стационарность (Augmented Dickey–Fuller), а также автоматический подбор параметров по критерию Акаике (AIC). Полученные значения AIC свидетельствуют об удовлетворительном качестве моделей: для показателя уровня случаев трудопотерь AIC=110,27, для смертности AIC=123,16, для первичной инвалидности AIC=47,68. Первичная заболеваемость (на 1000 сотрудников, ‰): AIC=107,93. Уровень дней трудопотерь (на 1000 сотрудников, ‰): AIC=142,89. Прогнозные значения сопровождаются 95% доверительными интервалами (95% ДИ), рассчитанными на основе стандартной ошибки прогноза. Модели позволили отразить общие тенденции и потенциальную нагрузку на систему ведомственной медицины при сохранении текущих условий службы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средний уровень первичной заболеваемости сотрудников ОВД по классу «Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин»

(S00–T98) за исследованный период составил 62,5% (63,41±4,97), что соответствует 11,7% в общей структуре первичной заболеваемости и занимает второе место по частоте встречаемости среди всех зарегистрированных случаев первичных заболеваний у сотрудников ОВД.

Уровень случаев трудопотерь, связанных с травмами, отравлениями и некоторыми другими последствиями воздействия внешних причин, у сотрудников ОВД достиг 60,5‰ (61,55±4,48) и сформировал 10,6% от общего количества случаев временной нетрудоспособности, что является третьим по частоте встречаемости результатом среди всех причин трудопотерь у исследуемого контингента. Среднегодовой уровень дней трудопотерь по классу S00–T98 у сотрудников ОВД достигает 1401 (1425±86), что составляет 19,0% от общей структуры дней временной нетрудоспособности и занимает второе место среди всех дней трудопотерь у исследуемого контингента.

Уровень первичной инвалидности в рассматриваемом классе заболеваний у сотрудников ОВД на 10 тыс. личного состава равен 2,16 (2,2±0,32) и занимает второе место в структуре первичной инвалидности и 32,6% от общей структуры инвалидности. Показатель среднемноголетнего уровня смертности сотрудников ОВД от причин класса S00–T98 составляет 48,15 (49,55±7,43) на 100 тыс. личного состава, а вклад в структуру общей смертности достигает

53,6% и занимает первое место в структуре смертности сотрудников ОВД от заболеваний.

Динамика медико-статистических показателей по классу XIX «Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин» (S00–T98) сотрудников ОВД за 2008–2024 гг. представлена в табл. 1.

За указанный период наблюдается устойчивое снижение всех основных показателей, отражающих травматизм и его последствия у сотрудников ОВД. Первичная заболеваемость значительно снизилась с 102,6‰ в 2008 г. до 51,9‰ в 2024 г. Уровень случаев трудопотерь и уровень дней трудопотерь демонстрируют снижение, что может свидетельствовать о незначительной тяжести травм, улучшений условий службы или совершенствовании системы медицинского обеспечения сотрудников ОВД. Уровень случаев трудопотерь снизился с 98,7‰ в 2008 г. до 51,6‰ в 2024 г., а уровень дней трудопотерь сократился с 2145‰ до 1465‰ за тот же период. Уровень смертности также сократился с 93,3‰ в 2008 г. до 21,7‰ в 2024 г., что указывает на улучшение мер по охране здоровья и безопасности сотрудников ОВД. Уровень первичной инвалидности значительно уменьшился — с 3,9‰ в 2008 г. до 0,7‰ в 2024 г.

В рамках проведённого исследования построена сравнительная прогностическая модель для оценки динамики первичной заболеваемости и производственных последствий, связанных с травмами и иными внешними

Таблица 1. Динамика медико-статистических показателей по классу XIX «Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин» (S00–T98) сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации за 2008–2023 гг., ‰

Table 1. Trends of medical and statistical indicators for ICD-10 Chapter 19 “Injury, Poisoning and Certain Other Consequences of External Causes” (S00–T98) among Internal Affairs officers of the Russian Federation, 2008–2023, ‰

Год	Первичная заболеваемость	Уровень случаев трудопотерь	Уровень дней трудопотерь	Уровень смертности	Уровень первичной инвалидности
2008	102,6	98,7	2145	93,3	3,9
2009	101,9	95,5	2062	109,2	4,5
2010	101,3	94,1	2088	113,6	6,6
2011	65,9	62,8	1365	62,8	2,7
2012	52,6	53,5	1194	46,8	2,4
2013	52,6	50,5	1163	40,6	2,6
2014	64,9	64,0	1461	49,1	2,8
2015	56,6	54,0	1247	40,2	1,9
2016	60,5	59,1	1337	35,8	2,3
2017	54,1	58,6	1337	32,4	1,6
2018	53,9	50,7	1192	34,4	1,8
2019	53,3	51,1	1204	28,3	1,2
2020	47,5	46,2	1225	28,4	0,9
2021	49,5	47,9	1202	27,5	0,9
2022	46,3	47,5	1248	29,6	0,8
2023	50,8	50,7	1329	20,9	0,6
2024	51,9	51,6	1465	21,7	0,7

воздействиями (МКБ-10, класс XIX), среди сотрудников ОВД на 2025–2027 гг. Ключевым элементом модели выступал экзогенный модифицирующий фактор — участие сотрудников ОВД в чрезвычайных ситуациях, связанных с обеспечением общественного порядка и безопасности вне мест постоянной дислокации, включая деятельность на прифронтовых территориях в СВО. Указанный предиктор отражает воздействие комплекса стрессогенных и опасных условий, сопряжённых с выполнением служебных задач в зоне прямой угрозы жизни и здоровью.

Сравнительный анализ прогнозных моделей (табл. 2) выявил статистически значимые различия по большинству ключевых показателей. В частности, включение внешнего фактора в модель прогнозирования привело к существенному росту уровня дней трудопотерь (среднегодовая разница превышает 270 у.е.; $F=81208,17$; $p<0,001$), при этом ДИ прогноза на 2027 г. составили от 1198,5 до 1721,9 дней на 1000 сотрудников без учёта внешнего воздействия и от 1441,0 до 2014,3 — при его наличии. Аналогично по количеству случаев трудопотерь выявлено увеличение в среднем на 3,8‰ ($F=14,60$; $p<0,001$); ДИ в 2027 г. составили 47,2–54,0 без учёта СВО и 50,7–58,4 при его учёте. Эти данные указывают на высокую чувствительность последствий травматических воздействий к условиям повышенной интенсивности профессиональных рисков в зоне СВО.

По показателю первичной заболеваемости, относящейся к травмам и отравлениям (S00–T98), также установлены достоверные отличия между моделями: при включении экзогенного предиктора ежегодный прирост составил около 2,1‰ ($F=4,34$; $p<0,001$). Прогнозируемые значения на 2027 г. составляли 50,8‰ (95% ДИ: 46,4–55,2) без учёта внешнего фактора и 52,9‰ (95% ДИ: 48,6–57,2) при его наличии.

Прогнозируется снижение уровня смертности (с 27,1 до 17,0 на 100 000 сотрудников к 2027 г.; $F=74,39$; $p=0,0026$), при этом ДИ для прогноза с учётом СВО составил 14,6–19,4, в то время как без учёта — 23,8–30,4. Показатель первичной инвалидности демонстрировал ежегодное снижение на 0,3‰ ($F=0,09$; $p<0,001$), с ДИ 0,4–0,8 (с СВО) против 0,7–1,1 (без СВО). Эти результаты могут

быть обусловлены как усилением мероприятий по медицинской эвакуации и наблюдению за личным составом в условиях СВО, так и возможным эффектом селективного отбора физически и психически устойчивых сотрудников для участия в боевых задачах.

ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях увеличения числа чрезвычайных ситуаций, включая участие сотрудников ОВД в обеспечении правопорядка на прифронтовых территориях и боевых действиях в зоне СВО, существенно возрастает физическая и психоэмоциональная нагрузка. Эти обстоятельства способствуют росту профессионального травматизма и ухудшению показателей временной нетрудоспособности. Современные угрозы, в том числе действия диверсионных групп, применение дистанционных поражающих средств, нестабильность обстановки, формируют качественно новые риски для здоровья сотрудников, особенно при выполнении задач вне мест постоянной дислокации. Полученные данные демонстрируют значимые изменения в показателях здоровья сотрудников ОВД в условиях нарастающей внешней и оперативной нагрузки в 2022–2024 гг. Прогноз на 2025–2028 гг., построенный с использованием моделей ARIMA с экзогенным фактором участия в СВО, указывает на тенденцию к повышению уровня первичной заболеваемости и трудопотерь, а также возможное сохранение на высоком уровне показателей инвалидности и смертности. Эти результаты подтверждают наблюдаемое в международной литературе влияние факторов экстремальной профессиональной среды на здоровье сотрудников правоохранительных структур.

Н.М. Tiesman и соавт. [8] при анализе данных о несмертельных травмах у сотрудников полиции в США за более чем 10-летний период показали рост травматизма на 21%, при этом большинство травм были связаны с участием в уличных беспорядках, массовых акциях и других мероприятиях с высокой степенью физического контакта. По их мнению, именно внезапное усиление оперативной активности связано с волнообразным ростом показателей

Таблица 2. Сравнительный прогноз показателей, связанных с последствиями воздействия внешних причин (МКБ-10, класс XIX), среди сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации на 2025–2027 гг. с учётом и без учёта участия в специальной военной операции, ‰

Table 2. Comparative forecast of indicators related to the consequences of external causes (ICD-10, Chapter 19) among Internal Affairs officers of the Russian Federation for 2025–2027, with and without accounting for participation in the Special Military Operation, ‰

Показатели	Прогноз без учёта экзогенного фактора			Прогноз с учётом экзогенного фактора			ANOVA	
	2025 г.	2026 г.	2027 г.	2025 г.	2026 г.	2027 г.	F	p
Первичная заболеваемость	49,94	49,98	49,99	52,04	52,06	52,06	4,34	0,001
Уровень случаев трудопотерь	47,85	47,89	47,86	51,73	51,62	51,71	14,60	0,001
Уровень дней трудопотерь	1201,90	1201,80	1201,70	1476,34	1486,89	1496,71	81208,17	0,001
Уровень смертности	27,11	27,14	27,14	20,15	18,60	17,05	74,39	0,002
Уровень первичной инвалидности	1,02	1,03	1,03	0,72	0,72	0,72	0,09	0,001

Примечание. F — критерий Фишера в дисперсионном анализе (ANOVA); значимость различий при $p<0,001$.

временной нетрудоспособности и последующей хронизацией травм, что сопоставимо с данными по ОВД Российской Федерации в 2022–2024 гг.

Исследование J.M. Violanti и соавт. [9] выявило, что сотрудники полиции, подвергавшиеся стрессогенным воздействиям (при патрулировании в условиях повышенной угрозы), имели достоверно выше уровень соматической заболеваемости, включая травмы, чем сотрудники административных служб. D.S. Weiss и соавт. [10] в многоцентровом обзоре по странам НАТО показали, что участие военнослужащих и сотрудников полиции в миротворческих и боевых операциях сопряжено с отложенным ростом показателей инвалидизации в пределах 1–3 лет после завершения активных фаз. Это согласуется с наблюдаемым ростом первичной инвалидности в прогнозе на 2025–2028 гг. у сотрудников ОВД, проходивших службу в зоне СВО.

Согласно C.R. Brewin и соавт. [11], в Великобритании в период после террористических актов 2017 г. была возвращена программа «Blue Light Wellbeing Framework», которая позволила на 17% снизить количество дней временной нетрудоспособности у сотрудников за счёт внедрения психологической поддержки и расширенной реабилитации. Отсутствие аналогичной унифицированной модели в ведомственной медицине МВД России создаёт дополнительные риски повышения травматизации и инвалидизации в ближайшие годы. Полученные данные согласуются с международными наблюдениями и подчёркивают необходимость комплексного подхода к снижению влияния боевого и оперативного стресса на здоровье сотрудников, а также к развитию ведомственных программ физической и психической реабилитации в постоперационном периоде.

Таким образом, результаты моделирования указывают на потенциальное нарастание нагрузки на систему ведомственного здравоохранения МВД России в ближайшие годы, особенно в части профилактики травматизма, поддержки функционального состояния личного состава и своевременной диагностики соматических и психических нарушений, возникающих в условиях СВО и других чрезвычайных ситуаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учётом характера прогностических данных и специфики анализируемых нарушений по классу XIX МКБ–10, охватывающему травмы, отравления и иные последствия внешнего воздействия, в рамках настоящего исследования сформулирован последовательный комплекс мероприятий, направленных на увеличение продолжительности жизни и трудового долголетия сотрудников ОВД.

Первостепенной задачей при работе с травмированными сотрудниками, особенно в условиях службы вне мест постоянной дислокации и участия в боевых действиях, является организация полноценной санитарной эвакуации. Необходимым шагом становится формирование структурированной системы медицинской эвакуации,

включающей оснащение территориальных подразделений специализированным транспортом, возможностью аэромедицинской доставки и развёртыванием мобильных пунктов стабилизации состояния пострадавших. Принципиально важно, чтобы эвакуация осуществлялась по типизированным маршрутам в кратчайшие сроки после получения повреждения, с фиксацией клинического диагноза, предварительной оценкой тяжести и регистрацией обстоятельств получения травмы.

Следующим этапом является организация профильного и специализированного лечения. Медицинская помощь должна оказываться с учётом нозологической специфики наиболее частых травматических повреждений — сочетанных, минно-взрывных, черепно-мозговых, проникающих и костно-суставных. Для этого целесообразно развитие ведомственных стационаров травматологического и нейрохирургического профилей, а также формирование межрегиональных центров специализированной помощи сотрудникам, получившим повреждения в условиях чрезвычайных ситуаций. В комплекс лечения должны быть включены оперативные вмешательства, медикаментозная коррекция болевого синдрома и воспаления, а также психофармакотерапия в случае сопутствующего острого стрессового расстройства.

После завершения основного этапа лечения сотрудник подлежит включению в программу медицинской реабилитации, ориентированной на восстановление утраченных функций и профилактику инвалидизации. Реабилитационные мероприятия должны проводиться по этапной схеме: от ранней активизации в условиях стационара до амбулаторной коррекции остаточных нарушений. Необходимым условием является внедрение стандартных маршрутов ведения травматических больных, включающих физиотерапию, лечебную физкультуру, ортопедическую коррекцию, трудотерапию и психологическую поддержку. Ведомственные реабилитационные центры должны быть обеспечены современной медицинской аппаратурой, тренажёрами, средствами имитационной терапии и оборудованием для объективного контроля восстановления двигательных функций.

Заключительным звеном становится организация непрерывного наблюдения за состоянием здоровья сотрудников, перенёсших травмы. В этой связи подлежит внедрению система замкнутого мониторинга функционального состояния, базирующаяся на применении автономных носимых устройств, фиксирующих параметры двигательной активности, биомеханической нагрузки, нарушений равновесия и адаптации. Устройства должны функционировать в рамках закрытого программно-технического контура, без подключения к сетям общего доступа, с передачей информации на защищённые медицинские терминалы для анализа в реальном времени. Это позволит осуществлять объективный контроль темпов восстановления, выявлять признаки хронической декомпенсации и при необходимости оперативно корректировать тактику ведения.

Внедрение данных мероприятий обеспечит снижение вторичной инвалидности и рисков хронизации травм, повысит функциональную готовность сотрудников к продолжению службы, сократит сроки временной нетрудоспособности и, как следствие, будет способствовать увеличению трудового долголетия и снижению потерь кадрового потенциала в системе МВД России.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.Г. Лихолетов — сбор и интерпретация первичных материалов, существенный вклад в подготовку первого варианта статьи; Е.Г. Ичитовкина — подготовка первого варианта статьи, существенный вклад в концепцию и дизайн исследования; А.Г. Соловьев — существенный вклад в концепцию исследования, окончательное структурирование и утверждение рукописи; С.В. Жернов — анализ и интерпретация данных. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Исследование одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО «СГМУ» Минздрава России (Архангельск, Россия), протокол № 25/2024 от 13.11.2024. Получено разрешение экспертной комиссии ДТ МВД России, на основании которого установлено, что сведения, содержащиеся в статье, не составляют государственную тайну и могут быть открыто опубликованы.

Источники финансирования. Отсутствуют.

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

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

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

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

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

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: A.G. Likholetov: investigation, data curation, writing—original draft; E.G. Ichitovkina: writing—original draft, conceptualization, methodology; A.G. Soloviev: conceptualization, writing—review & editing, supervision; S.V. Zhernov: formal analysis, data interpretation. 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 Ethics Committee of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education Northern State Medical University, Ministry of Health of Russia (Arkhangelsk, Russia), protocol No. 25/2024 dated November 13, 2024. Permission was obtained from the Expert Commission of the Department of Logistical and Medical Support of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, confirming that the information in the article does not constitute a state secret and may be published openly.

Funding sources: No funding.

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

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

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

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Aleksanin SS, Evdokimov VI, Bobrinev EV, Mukhina NA. Analysis of indicators of primary disability in employees of the Federal Fire Service of EMERCOM of Russia and the population of Russia aged 18–44 from 2006 to 2015. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2019;(1):5–28. doi: 10.25016/2541-7487-2019-0-1-05-28 EDN: CHFAIX
- Ivanov NM, Ichitovkina EG, Evdokimov VI, Liholeto AG. Analysis of morbidity indicators in the personnel of the Ministry of Internal Affairs of Russia. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2024;(2):14–38. doi: 10.25016/2541-7487-2024-0-2-14-38 EDN: NWWYJR
- Aleksanin SS, Bobrinev EV, Evdokimov VI, et al. Indicators of occupational traumatism and mortality in employees of Russian State Fire Service (1996–2015). *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2018;(3):5–25. doi: 10.25016/2541-7487-2018-0-3-05-25 EDN: YNGHBJ
- Lugovik VF, Surgutskov VI. Functions and tasks of the Russian Ministry of Internal Affairs: correlation and problems of concretization. *Scientific Bulletin of the Omsk Academy of the MIA of Russia*. 2023;29(4):354–357. doi: 10.24412/1999-625X-2023-491-354-357 EDN: SFYAKB
- Sidorenko VA, Rybnikov VYu, Nesterenko NV. Key indicators of health and morbidity structure of incidence of Police officers, Firemen and Servicemen of the Russian Federation. *Disaster Medicine*. 2021;(2): 11–15. doi: 10.33266/2070-1004-2021-2-11-15 EDN: LXGCMW
- Dvinskikh MV, Ichitovkina EG, Soloviev AG, Zhernov SV. Pre-disease detection of stress-associated disorders in combatants depending on professional activity profile. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2023;(4):83–89. doi: 10.25016/2541-7487-2023-0-4-83-89 EDN: PSASBT
- Kholmatova KK, Grijbovski AM. Panel- and trend studies in medicine and public health. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2016;23(9): 57–64. doi: 10.33396/1728-0869-2016-9-57-64 EDN: WQSIDR
- Tiesman HM, Gwilliam M, Konda S, et al. Nonfatal injuries to law enforcement officers: a rise in assaults. *Am J Prev Med*. 2018;54(4): 503–509. doi: 10.1016/j.amepre.2017.12.005
- Violanti JM, Owens SL, Fekedulegn D, et al. Law enforcement officer health and wellness: a conceptual framework. *Policing: An International Journal*. 2018;41(4):488–502. doi: 10.1108/PIJPSM-05-2017-0061
- Weiss DS, Brunet A, Best SR, et al. Posttraumatic stress disorder symptoms in World Trade Center responders 14 years after the attack. *JAMA Netw Open*. 2021;4(3):e213568. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2021.3568
- Brewin CR, DePierro J, Pirard P, et al. Mental health responses after terrorism: A review of evidence. *Eur J Psychotraumatol*. 2020;11(1):1704555. doi: 10.1080/2008198.2019.1704555

ОБ АВТОРАХ

*** Жернов Сергей Вячеславович**, канд. психол. наук;
адрес: Россия, 392036, Тамбов, ул. Интернациональная, д. 33;
ORCID: 0000-0002-6250-9123;
eLibrary SPIN: 6586-7769;
e-mail: sergern@rambler.ru

Лихолетов Андрей Геннадьевич;
ORCID: 0009-0003-9146-2461;
eLibrary SPIN: 7292-6220;
e-mail: oomp.mvd@mail.ru

Ичитовкина Елена Геннадьевна, д-р мед. наук,
доцент;
ORCID: 0000-0001-8876-669X;
eLibrary SPIN: 4333-0282;
e-mail: elena.ichitovckina@yandex.ru

Соловьев Андрей Горгоньевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-0350-1359;
eLibrary SPIN: 2952-0619;
e-mail: ASoloviev1@yandex.ru

AUTHORS' INFO

*** Sergey V. Zhernov**, Cand. Sci. (Psychology);
address: 33 International st, Tambov, Russia, 392036;
ORCID: 0000-0002-6250-9123;
eLibrary SPIN: 6586-7769;
e-mail: sergern@rambler.ru

Andrey G. Likholetov;
ORCID: 0009-0003-9146-2461;
eLibrary SPIN: 7292-6220;
e-mail: oomp.mvd@mail.ru

Elena G. Ichitovkina, MD, Dr. Sci. (Medicine),
Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-8876-669X;
eLibrary SPIN: 4333-0282;
e-mail: elena.ichitovckina@yandex.ru

Andrey G. Soloviev, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-0350-1359;
eLibrary SPIN: 2952-0619;
e-mail: ASoloviev1@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Влияние артериальной гипертензии на когнитивные функции в среднем возрасте на Европейском Севере России: исследование с применением метода потенциалов, связанных с событием Р300

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

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

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Артериальная гипертензия является фактором риска негативных когнитивных последствий. В каком возрасте она начинает влиять на состояние когнитивных функций, неизвестно.

Цель. Изучение влияния повышенного артериального давления на когнитивные функции у людей среднего возраста путём оценки слухового вызванного потенциала, связанного с событием Р300.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие люди в возрасте 45–59 лет с артериальной гипертензией ($n=102$) и без артериальной гипертензии ($n=100$), проживающие в Архангельске. Выделены три возрастных периода: 45–49 лет, 50–54 года, 55–59 лет. В каждом возрастном периоде выделено две группы: 1-я группа (контрольная) — лица, не имеющие артериальной гипертензии; 2-я группа — лица с артериальной гипертензией соответствующего возраста. Регистрацию компонентов Р300 и N2 проводили на электроэнцефалографе «Нейрон-Спектр-4/ВПМ» («Нейрософт», Россия), использовали парадигму oddball. Артериальное давление измеряли автоматическим тонометром OMRON Healthcare.

Результаты. В 45–49 лет у людей с артериальной гипертензией и её медианной длительностью 5 лет не наблюдалось различий в латентном времени N2 и Р300 и величине амплитуды Р300 по сравнению с контрольной группой. В 50–54 года у людей с артериальной гипертензией и её медианной длительностью 8 лет отмечалось снижение амплитуды Р300 в теменной (Р4) области справа по сравнению с контрольной группой данного возраста. В 55–59 лет у людей с артериальной гипертензией и её медианной длительностью 9,7 года наблюдалось снижение амплитуды Р300 в теменных (Р3, Р4), центральных (С3, С4), лобных (F3, F4) отделах головного мозга, увеличение латентного времени N2 в теменной (Р3) области слева, передневисочном (F7) отделе слева, лобном (F4) отделе справа.

Заключение. В среднем возрасте у людей с артериальной гипертензией с 50–54 лет отмечалось снижение ресурсов внимания, с 55–59 лет наблюдалось снижение ресурсов внимания и замедление скорости дифференцировки и опознания звукового стимула.

Ключевые слова: слуховые потенциалы, связанные с событиями; артериальная гипертензия; когнитивные функции; средний возраст.

Как цитировать:

Кривоногова Е.В., Кривоногова О.В., Поскотинова Л.В. Влияние артериальной гипертензии на когнитивные функции в среднем возрасте на Европейском Севере России: исследование с применением метода потенциалов, связанных с событием Р300 // Экология человека. 2025. Т. 32, № 7. С. 469–478. DOI: 10.17816/humeco686884 EDN: NEJJWY

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco686884>

EDN: NEJJWY

Impact of Hypertension on Cognitive Function in Middle Age in the European North of Russia: P300 Event-Related Potential Study

Elena V. Krivonogova, Olga V. Krivonogova, Liliya V. Poskotinova

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

ABSTRACT

BACKGROUND: Hypertension is a known risk factor for adverse cognitive outcomes. The age at which it begins to affect cognitive function remains unclear.

AIM: The work aimed to investigate the impact of elevated blood pressure on cognitive function in middle-aged adults by assessing the auditory P300 event-related potential.

METHODS: This study included residents of Arkhangelsk aged 45–59 years with hypertension ($n = 102$) and without hypertension ($n = 100$). Three age periods were defined: 45–49, 50–54, and 55–59 years. Each age period was divided into two groups: group 1 (control)—individuals without hypertension; group 2—individuals with hypertension of the corresponding age. P300 and N2 components were recorded using a Neuron-Spectrum-4/VPM electroencephalography system (Neurosoft, Russia) with an auditory oddball paradigm. Blood pressure was measured with an OMRON Healthcare automatic tonometer.

RESULTS: In the 45–49-year age range, individuals with hypertension of median duration 5 years showed no differences in N2 or P300 latency or in P300 amplitude compared with the control group. In the 50–54-year age range, individuals with hypertension of median duration 8 years showed reduced P300 amplitude in the right parietal (P4) region compared with corresponding controls. In the 55–59-year age range, individuals with hypertension of median duration 9.7 years showed reduced P300 amplitude in parietal (P3, P4), central (C3, C4), and frontal (F3, F4) regions, along with prolonged N2 latency in the left parietal (P3), left anterior temporal (F7), and right frontal (F4) regions.

CONCLUSION: Middle-aged individuals with hypertension demonstrated a decline in attentional resources beginning at 50–54 years, and by 55–59 years this was accompanied by both reduced attentional resources and slowed speed of auditory stimulus discrimination and recognition.

Keywords: event-related auditory potentials; hypertension; cognitive functions; middle age.

To cite this article:

Krivonogova EV, Krivonogova OV, Poskotinova LV. Impact of Hypertension on Cognitive Function in Middle Age in the European North of Russia: P300 Event-Related Potential Study. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(7):469–478. DOI: 10.17816/humeco686884 EDN: NEJJWY

Received: 07.07.2025

Accepted: 30.07.2025

Published online: 12.08.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco686884>

EDN: NEJJWY

动脉高血压对中年人群认知功能的影响：基于P300事件相关电位的研究

Elena V. Krivonogova, Olga V. Krivonogova, Liliya V. Poskotinova

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

摘要

论证。动脉高血压是认知功能受损的重要危险因素。它在何种年龄阶段开始对认知功能产生影响尚不明确。

目的。通过评估听觉事件相关电位P300，探讨中年人群动脉高血压对认知功能的影响。

材料与方法。研究对象为45–59岁人群，其中高血压患者（ $n=102$ ），无高血压者（ $n=100$ ），均居住在Arkhangelsk市。按照年龄分为三个阶段：45–49岁、50–54岁、55–59岁。在每个年龄阶段均划分为两组：第1组（对照组）为无动脉高血压者，第2组为相应年龄段的动脉高血压患者。使用«Neuron-Spectrum-4/VPM»（Neurosoft，俄罗斯）脑电图仪，采用oddball范式记录P300与N2成分。血压采用OMRON自动血压计测量。

结果。在45–49岁人群中，高血压组患者的中位病程为5年，与对照组相比，在N2与P300潜伏期及P300振幅上未见差异。在50–54岁人群中，高血压组患者的中位病程为8年，与同龄对照组相比，其右侧顶叶区（P4）的P300振幅显著降低。在55–59岁人群中，高血压组患者的中位病程为9.7年，与对照组相比，在顶叶（P3、P4）、中央区（C3、C4）、额叶（F3、F4）均出现P300振幅下降，并在左侧顶叶区（P3）、左侧额颞区（F7）、右侧额叶区（F4）观察到N2潜伏期延长。

结论。在中年人群中，自50–54岁起，动脉高血压患者已出现注意力资源减退；至55–59岁，不仅注意力资源减退，还出现声音刺激区分与识别速度减慢的现象。

关键词：听觉事件相关电位；动脉高血压；认知功能；中年期。

引用本文：

Krivonogova EV, Krivonogova OV, Poskotinova LV. 动脉高血压对中年人群认知功能的影响：基于P300事件相关电位的研究. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(7):469–478. DOI: 10.17816/humeco686884 EDN: NEJJWY

收到: 07.07.2025

接受: 30.07.2025

发布日期: 12.08.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Распространённость артериальной гипертензии (АГ) среди сердечно-сосудистых заболеваний остаётся лидирующей и демонстрирует устойчивую тенденцию к росту [1]. Она является фактором риска негативных когнитивных последствий [2]. Предполагается, что средний возраст является чувствительным периодом, в котором АГ оказывает негативное воздействие на мозг [3]. На Севере АГ возникает у лиц молодого возраста, имеет агрессивное течение и сопровождается ранним поражением органов-мишеней [4]. В настоящее время недостаточно изучено состояние когнитивных функций у пациентов среднего возраста с АГ [5]. Большинство исследований посвящены выявлению связи между АГ в среднем возрасте и состоянием когнитивных функций в пожилом и старческом возрасте [6]. Высокое артериальное давление (АД) в среднем возрасте увеличивает риск снижения когнитивных функций и возникновения деменции в пожилом возрасте [7]. Предполагается, что высокое систолическое АД (САД) среднего возраста является самым сильным предиктором частоты возникновения деменции [7]. Так, исследование АГ среднего возраста и когнитивных способностей показало, что высокое САД в среднем возрасте связано с большим снижением когнитивных способностей в течение 20 лет исследования [7]. САД в среднем возрасте больше 130 мм рт. ст. связано с повышенным риском когнитивных расстройств [8], при САД 160 мм рт. ст. и выше риск деменции возрастает в 4,8 раза [5]. В каком возрасте АГ влияет на состояние когнитивных функций, неизвестно [9], особенно на Севере. Имеются исследования, где показано, что развитие АГ до 55 лет связано с более низкими баллами в тестах на память [3]. В другом исследовании у пациентов с АГ в среднем возрасте 54 года, не получавших антигипертензивную терапию, средний балл в разделе, оценивающего ориентацию, краткой шкалы оценки психического статуса был статистически значимо ниже, чем в группе контроля [5].

Одним из неинвазивных методов, позволяющих объективизировать когнитивные функции, является метод потенциалов, связанных с событием. Этот метод позволяет оценить процессы памяти, скорость опознания и дифференцировки сигнала, принятия решений, концентрацию внимания [10]. Наличие когнитивных расстройств характеризуется удлинением периода латентности Р300 и уменьшением амплитуды Р300 [11].

Цель исследования. Анализ влияния повышенного АД на когнитивные функции у людей среднего возраста на Европейском Севере путём оценки слухового вызванного потенциала, связанного с событием Р300.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2024 г. проведено поперечное (одномоментное) исследование, соответствующее положению Хельсинкской

декларации и одобренное этическим комитетом Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаврёва Уральского отделения РАН (протокол № 4 от 10.02.2022). В составе группы были участники, ранее вошедшие в случайную популяционную выборку исследования «Узнай своё сердце» (2015–2017 гг.). Критерии исключения: клинически значимые неврологические заболевания (в том числе инсульт), более 14 баллов по шкале депрессии Бека, психические заболевания, снижение клубочковой фильтрации почек менее 60 мл/мин, фибрилляция предсердий, сахарный диабет. В выборку вошли 202 человека 45–59 лет ($n=102$) с АГ и без АГ ($n=100$; контрольная группа). Все они проживали в Архангельске. Исследуемая выборка состояла из 132 (65%) женщин и 70 (35%) мужчин. Были выделены три возрастных периода: 45–49 лет ($n=71$, из них 66% женщин), 50–54 года ($n=67$, из них 72% женщин), 55–59 лет ($n=64$, из них 57% женщин). В каждом возрастном периоде выделено две группы: 1-я группа — контрольная, состоящая из лиц, не имеющих АГ; 2-я группа — лица с АГ соответствующего возраста.

Данные о длительности АГ, приёме препаратов собраны путём опроса участников. САД и диастолическое АД (ДАД) регистрировали на плечевой артерии с помощью автоматического тонометра (OMRON Healthcare). Измерения САД и ДАД проводили трижды с 2-минутными интервалами. Индекс массы тела (ИМТ) рассчитывали как вес в килограммах, делённый на рост в квадрате в метрах. Для скрининга депрессии использовали шкалу Бека.

Слуховой вызванный потенциал Р300 регистрировали с помощью «Нейрон-Спектр-4/ВПМ» («Нейрософт», Россия) с закрытыми глазами. Для записи Р300 использовали парадигму oddball, в которой два типа слуховых стимулов предъявлялись в случайном порядке, при этом целевой стимул встречался редко, с вероятностью 20–30% общего количества стимулов [12]. Вызванный потенциал Р300 оценивали по 16 каналам ЭЭГ (Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6) с референтными электродами на мочках ушей (A1–A2) и с заземляющим электродом на лбу (FPz). Электроды на поверхности головы располагали согласно международной схеме «10–20». Сопротивление электродов поддерживали на уровне менее 10 кОм. Частота квантования сигнала электроэнцефалографа (ЭЭГ) составляла 500 Гц, в полосе регистрации — 0,5–35,0 Гц. Звуковые тоны поступали через колонки. Условия стимуляции: бинауральная, длительность стимула — 50 мс, интенсивность стимула была установлена на уровне 80 дБ, интервал между стимулами составлял 1 с, частота тона — 2000 Гц (целевой стимул) и 1000 Гц (частый стимул). Участникам предлагалось задание на различение двух тонов. Они должны были реагировать нажатием кнопки на редко встречающийся стимул (целевой стимул) и игнорировать часто встречающиеся стимулы. Число усреднений составляло от 15 до 25 для редких стимулов. Для устранения глазодвигательных

артефактов регистрировали электроокулограмму. Дополнительно артефакты выявляли путём визуального анализа записи. Кроме того, из усреднения вызванных потенциалов исключали сигналы, амплитуда которых превышала 100 мкВ.

Оценивали амплитудно-временные параметры ответа на значимые стимулы: амплитуду от пика до пика N2–P300 и латентное время N2 и P300. Учитывая выраженность слухового вызванного потенциала P300 в лобно-центрально-теменной и височной областях мозга [11, 12], анализ компонента P300 проводили в следующих отделах: лобных (F3, F4), центральных (C3, C4), теменных (P3, P4) и височных (F7, F8, T3, T4).

Статистическую обработку проводили с помощью программы Statistica 10 (StatSoft, США). Количественные показатели описаны медианой (Me), 25-м и 75-м перцентилями (25; 75). Результаты были обработаны с применением метода дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием повторных измерений. Для коррекции отклонений от сферичности использовали поправку Гринхауса–Гейсера (в результатах указаны скорректированный уровень значимости и исходное число степеней свободы). Оценивали влияние факторов «группа» ($n=2$; 1-я и 2-я группы), «возраст» ($n=3$; 45–49, 50–54, 55–59 лет), «локализация отведения» ($n=10$; F3, F4, C3, C4, P3, P4, F7, F8, T3, T4) и взаимодействие факторов. ИМТ и пол рассматривали как ковариаты. Апостериорные сравнения проводили с использованием теста Дункана для определения статистической значимости различий между группами в месте расположения каждого электрода. При анализе межгрупповых различий (1-я и 2-я группы) показателей САД, ДАД,

возраста, ИМТ в каждой возрастной группе применяли *U*-критерий Манна–Уитни при уровне значимости $p < 0,05$. Корреляционный анализ проводили по критерию Спирмена (*r*Spearman). Уровни статистической значимости принимали при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Провели сравнительный анализ АД (табл. 1). САД и ДАД во 2-й группе статистически значимо было выше по сравнению с контрольной группой во всех возрастных периодах. Выявлено значимое взаимодействие между факторами «группа», «возраст» и «локализация отведения» в латентном времени N2 ($F=1,89$, $df=18$, $p=0,026$). Дальнейший анализ показал, что латентное время N2 в возрастном периоде 55–59 лет удлинено в теменной области слева (P3, $p=0,019$), передневисочном слева (F7, $p=0,001$), лобном справа (F4, $p=0,049$) по сравнению с контрольной группой этого же возраста (рис. 1). В группах 45–49 и 50–54 лет значимых изменений латентного времени N2 по сравнению с контрольной группой не выявлено (табл. 2). Не выявлено значимого взаимодействия между факторами «группа», «возраст» и «локализация отведения» в латентном времени P300 ($F=1,56$, $df=18$, $p=0,105$), а также между факторами «возраст» и «локализация отведения» ($F=1,12$, $df=18$, $p=0,343$) и между факторами «группа» и «локализация отведения» ($F=0,53$, $df=9$, $p=0,761$). Таким образом, различий в латентном времени P300 между группами с АГ и контрольной группой не выявлено во всех исследуемых возрастных периодах. Анализ дисперсии (ANOVA) выявил значимое влияние фактора «группа»

Таблица 1. Показатели артериального давления, индекса массы тела, возраста у людей среднего возраста Европейского Севера России
Table 1. Blood pressure, body mass index, and age in middle-aged adults living in the European North of Russia

Показатель	Возраст, лет	1-я группа	2-я группа	p , критерий Манна–Уитни
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст.	45–49	120 (109; 127)	135 (121; 149)	0,001
	50–54	115 (105; 123)	132 (117; 140)	0,001
	55–59	116 (110; 127)	129 (123; 142)	0,001
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст.	45–49	77 (70; 82)	80 (74; 84)	0,001
	50–54	79 (71; 84)	84 (80; 98)	0,001
	55–59	79 (74; 82)	88 (79; 93)	0,001
Индекс массы тела, кг/м ²	45–49	24,4 (22,6; 27,1)	28,2 (23,2; 30,5)	0,014
	50–54	24,3 (23,1; 25,9)	28,4 (25,5; 33,1)	0,001
	55–59	24,7 (23,4; 27,5)	28,6 (26,2; 30,5)	0,004
Возраст, лет	45–49	47,5 (46; 48)	47 (46; 49)	0,703
	50–54	52 (51; 54)	52 (51; 53)	0,516
	55–59	58 (56; 58)	57 (56; 58)	0,911
Продолжительность артериальной гипертензии, лет	45–49	–	5 (2; 10)	–
	50–54	–	8 (4; 10)	–
	55–59	–	9,7 (5; 10)	–

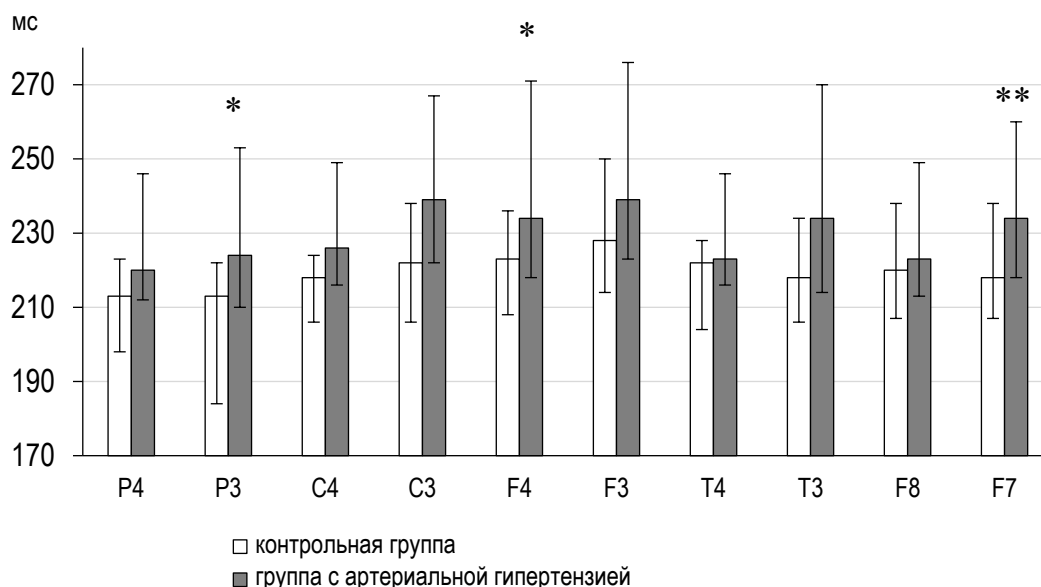


Рис. 1. Латентное время N2 слуховых вызванных потенциалов, связанных с событием P300, у людей 55–59 лет: Me (25; 75); * $p < 0,05$, ** $p < 0,001$ в сравнении с контрольной 1-й группой (тест Дункана).

Fig. 1. N2 latency of auditory P300 event-related potentials in individuals aged 55–59 years: Me (25; 75); * $p < 0.05$, ** $p < 0.001$ compared with control group 1 (Duncan's test).

($F=6,50$, $df=1$, $p=0,012$), взаимодействие между факторами «группа» и «локализация отведения» в отношении амплитуды P300 ($F=2,48$, $df=9$, $p=0,043$), взаимодействие между факторами «возраст» и «локализация отведения» на уровне тенденции ($F=1,86$, $df=18$, $p=0,06$). Дальнейший анализ показал, что в возрасте 45–49 лет не выявлено различий по амплитуде P300 у людей с АГ по сравнению с контрольной группой. Различия выявлены в возрасте 50–54 лет в теменной области справа (P4, $p=0,019$) в виде снижения амплитуды P300 (рис. 2). В возрасте 55–59 лет статистически значимо более низкая амплитуда в теменных (P4, $p=0,001$; P3, $p=0,003$), центральных (C4, $p=0,001$; C3, $p=0,001$), лобных (F4, $p=0,001$; F3, $p=0,001$) отделах головного мозга у людей с АГ по сравнению с контрольной группой соответствующего возраста (см. рис. 2). Выявлена отрицательная корреляционная связь САД и ДАД с амплитудой P300 в теменных P4 ($r=-0,19$, $p=0,006$, $r=-0,18$, $p=0,011$) и P3 ($r=-0,20$, $p=0,004$, $r=-0,15$, $p=0,035$) областях головного мозга, положительная корреляционная связь САД с латентным временем N2 в теменном отделе справа P4 ($r=0,14$, $p=0,047$) и на уровне тенденции положительная корреляционная связь ДАД с латентным временем N2 в теменном P4 ($r=0,13$, $p=0,067$) отделе справа.

ОБСУЖДЕНИЕ

Настоящее исследование направлено на изучение связи АГ с когнитивными функциями путём оценки слухового вызванного потенциала, связанного с событием P300, у людей среднего возраста Европейского Севера. При когнитивных расстройствах наблюдаются характерные изменения компонента P300 вызванных потенциалов,

связанных с событием: увеличение латентного периода P300 и снижение амплитуды [11]. В литературе имеются исследования, в которых показано увеличение латентности P300 и снижение его амплитуды у пациентов с АГ, где длительность АГ $6,3 \pm 1,5$ года и средний возраст — $47,9 \pm 6,4$ года [13]. В другом исследовании, где использовали метод потенциалов, связанных с событием P300, исследования проводили в возрастной группе 18–65 лет и получили в группе с АГ удлинение латентности P300 в центральных и лобных отделах [14]. В данных исследованиях стратификацию по возрастным периодам пациентов с АГ не проводили.

Результаты нашего исследования показали, что в 45–49 лет в группе с АГ с медианной длительностью АГ 5 лет не было выявлено различий по сравнению с контрольной группой. В 50–54 года в группе с АГ и с медианной длительностью АГ 8 лет наблюдалось снижение амплитуды P300. Снижение амплитуды P300 свидетельствует о снижении ресурсов внимания [15]. Изменения амплитуды P300 в данной возрастной группе отмечались в теменном отделе головного мозга справа. По литературным данным [16], теменная область головного мозга, в частности задняя теменная доля, участвует в целенаправленном контроле внимания. В 50–54 года у лиц с АГ не выявлено различий в латентном времени N2 и P300 по сравнению с контрольной группой. В 55–59 лет в группе с АГ с медианной длительностью АГ 9,7 года отмечалось снижение амплитуды P300 и увеличение латентного времени N2, что отражает снижение ресурсов внимания и увеличение времени первичного опознания и дифференцировки звукового сигнала [17] по сравнению с контрольной группой, при этом различий в скорости принятия решения

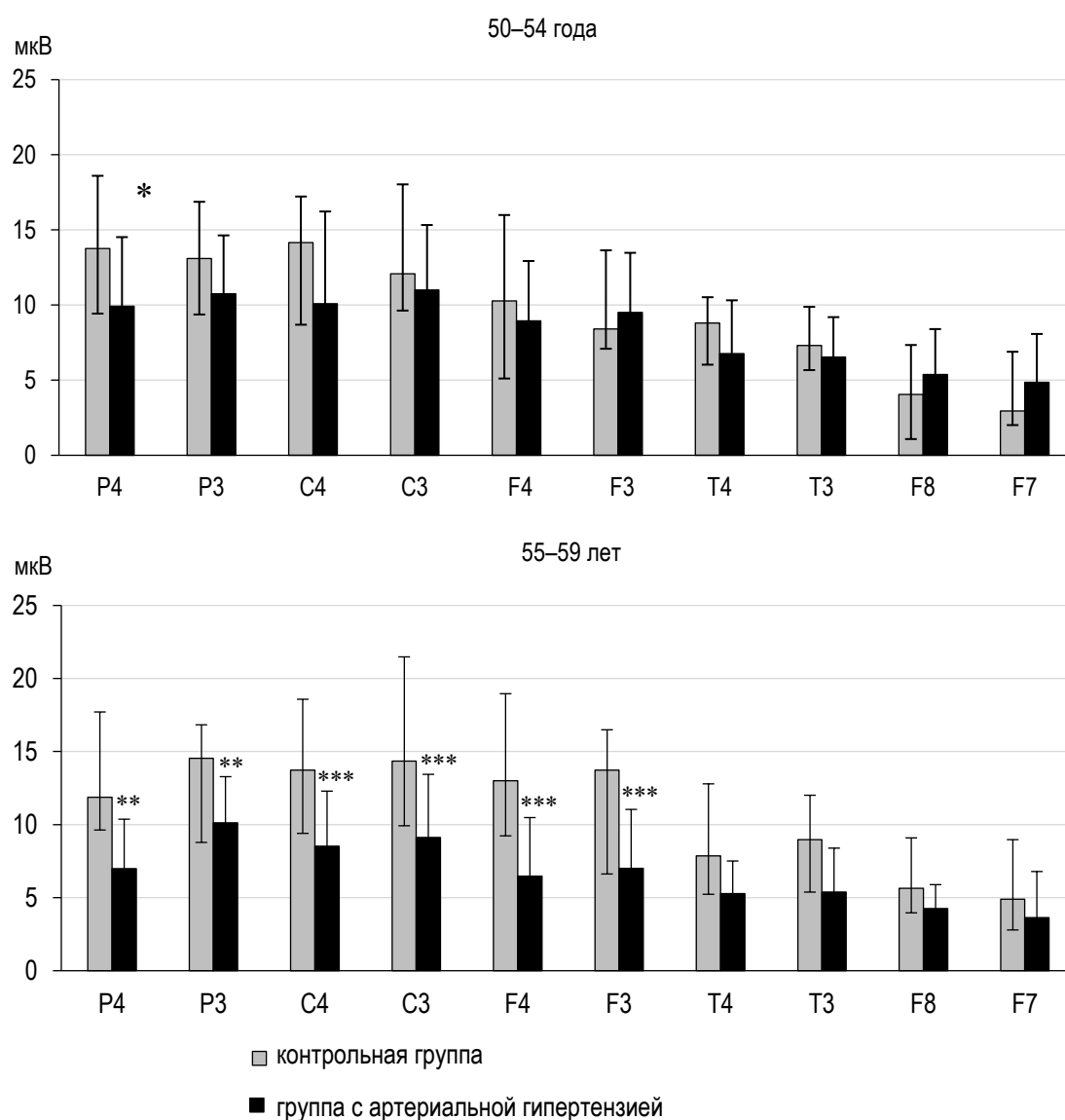


Рис. 2. Амплитуда P300 слуховых вызванных потенциалов, связанных с событием P300, у лиц в возрастных группах 50–54 и 55–59 лет: Me (25; 75); * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ в сравнении с контрольной 1-й группой (тест Дункана).

Fig. 2. P300 amplitude of auditory P300 event-related potentials in individuals aged 50–54 and 55–59 years: Me (25; 75); * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ compared with control group 1 (Duncan's test).

не отмечалось. Увеличение латентного времени N2 наблюдается в теменной области слева, передневисочном отделе слева, лобной области справа. В литературе ряд авторов предположили, что изменение латентности N2 P300 свидетельствует о ранних субклинических изменениях когнитивных функций, без явного снижения когнитивных способностей [18]. Снижение амплитуды P300 отмечалось в теменных, центральных, лобных отделах головного мозга. По данным литературы [19], АГ среднего возраста отрицательно влияет на память, исполнительную функцию, но не на внимание, что частично не согласуется с нашими результатами. АГ приводит к диффузным изменениям белого вещества, что может нарушать связи между корой и подкорковыми структурами, а также между различными областями коры, тем самым вызывая расстройства высших мозговых функций [20].

В нашем исследовании наблюдались положительные корреляции САД с латентным временем N2 в теменной области справа, ДАД с латентным временем N2 в теменной области справа на уровне тенденции, что свидетельствует о большем влиянии САД на категоризацию звукового стимула. Отмечались отрицательные корреляционные связи САД и ДАД с амплитудой P300 в теменных отделах, что свидетельствует о влиянии на внимание повышения как САД, так и ДАД.

Таким образом, в среднем возрасте с 50–54 лет отмечается снижение ресурсов внимания, с 55–59 лет — снижение ресурсов внимания и удлинение времени первичной дифференцировки сигнала. САД оказывает большее влияние на замедление дифференцировки и опознание стимулов, а на процессы внимания влияют как САД, так и ДАД.

Таблица 2. Латентность и амплитуда слуховых вызванных потенциалов, связанных с событием Р300**Table 2.** Latency and amplitude of auditory P300 event-related potentials

ЭЗГ-канал	Возраст, лет	Латентное время N2, мс		Латентное время Р300, мс		Амплитуда Р300, мкВ	
		1-я группа	2-я группа	1-я группа	2-я группа	1-я группа	2-я группа
Р4	45–49	213 (206; 228)	204 (198; 223)	327 (308; 346)	345 (322; 356)	11,9 (8,7; 15,0)	11,6 (7,8; 14,8)
	50–54	218 (194; 230)	215,5 (192,5; 235,5)	336 (320; 360)	337 (324; 369,5)	13,8 (9,4; 18,6)	9,9 (6,9; 14,5)*
	55–59	213 (198; 223)	220 (212; 238)	332 (312; 351)	351 (334; 376)	11,9 (9,6; 17,7)	6,9 (4,1; 10,4)**
Р3	45–49	214 (202; 228)	212 (198; 228)	329 (308; 346)	345 (328; 356)	12,4 (8,8; 16,8)	11,5 (7,7; 16,4)
	50–54	213 (196; 232)	220 (196; 241,5)	332 (314; 344)	337 (326; 358,5)	13,1 (9,4; 16,8)	10,8 (7,8; 14,6)
	55–59	213 (184; 222)	224 (210; 239)*	334 (313; 364)	351 (328; 372)	14,5 (8,8; 16,8)	10,1 (6,6; 13,3)**
С4	45–49	216 (206; 228)	214 (200; 220)	328,5 (313; 346)	340 (320; 356)	13,5 (8,4; 19,9)	13,7 (9,1; 17,4)
	50–54	218 (207; 230)	218 (202; 230)	335 (324; 361)	345 (325; 361)	14,2 (8,7; 17,2)	10,1 (6,5; 16,2)
	55–59	218 (206; 224)	226 (216; 239)	345 (324; 366)	352 (324; 372)	13,7 (9,4; 18,6)	8,5 (4,7; 12,3)***
С3	45–49	220 (208; 238)	214 (204; 230)	322 (308; 344)	344 (319; 361)	13,1 (9,7; 18,5)	12,9 (9,2; 16,9)
	50–54	218 (210; 236)	226 (206; 244)	332 (318; 356)	347 (324; 361,5)	12,1 (9,6; 18,1)	11,0 (8,1; 15,3)
	55–59	222 (206; 238)	239 (222; 250)	345 (324; 366)	356 (329; 374)	14,4 (9,9; 21,5)	9,1 (5,5; 13,4)***
F4	45–49	217 (206; 234)	218 (210; 239)	327 (310; 345)	336 (319; 356)	11,3 (7,9; 18,5)	11,9 (7,4; 15,2)
	50–54	224 (213; 236)	225 (216; 247)	340 (324; 356)	347,5 (327,5; 373)	10,3 (5,1; 15,9)	8,9 (4,3; 12,9)
	55–59	223 (208; 236)	234 (218; 255)*	340 (322; 366)	352 (329; 372)	13,0 (9,2; 18,9)	6,5 (4,3; 10,5)***
F3	45–49	218 (206; 244)	232 (216; 255)	330 (308; 342)	340 (314; 356)	11,1 (7,7; 15,9)	10,8 (8,8; 14,7)
	50–54	228 (218; 239)	236 (212; 263)	336 (316; 345)	348 (318,5; 368)	8,4 (7,1; 13,6)	9,5 (5,6; 13,4)
	55–59	228 (214; 250)	239 (223; 260)	340 (329; 364)	360 (335; 377)	13,7 (6,6; 16,5)	7,1 (3,7; 11,1)***
Т4	45–49	213 (206; 228)	213 (200; 223)	330,5 (308; 348)	334 (316; 351)	7,9 (4,8; 10,8)	7,6 (5,6; 9,6)
	50–54	218 (207; 228)	220 (203; 234)	338 (314; 350)	342,5 (323,5; 364,5)	8,8 (6,1; 10,5)	6,8 (4,4; 10,3)
	55–59	222 (204; 228)	223 (216; 239)	336 (310; 361)	340 (319; 367)	7,9 (5,2; 12,8)	5,3 (3,5; 7,5)
Т3	45–49	218 (207; 239)	222 (212; 234)	324 (306; 344)	338 (316; 356)	7,9 (6,5; 11,3)	7,6 (5,2; 10,3)
	50–54	223 (207; 234)	223 (202; 236,5)	335 (316; 346)	338 (323; 358)	7,3 (5,7; 9,8)	6,5 (4,2; 9,2)
	55–59	218 (206; 234)	234 (214; 250)	342 (316; 361)	340 (318; 361)	8,9 (5,4; 12,0)	5,4 (3,2; 8,4)
F8	45–49	218 (206; 232)	220(204; 228)	330,5 (312; 345)	335 (312; 361)	5,6 (3,1; 10,4)	4,6 (2,9; 8,5)
	50–54	218 (208; 234)	228 (215,5; 244)	335 (313; 354)	345,5 (319; 370)	4,8 (2,7; 7,6)	5,4 (3,2; 8,4)
	55–59	220 (207; 238)	223 (213; 239)	351 (324; 367)	345 (324; 367)	5,6 (3,9; 9,1)	4,3 (2,5; 5,9)
F7	45–49	218 (202; 244)	228 (218; 250)	313,5 (298; 345)	340 (313; 360)	5,3 (2,6; 7,2)	4,6 (2,9; 6,5)
	50–54	226 (213; 244)	226,5 (207; 250)	340 (324; 361)	348 (313,5; 372)	4,0 (2,6; 7,6)	4,9 (2,3; 8,1)
	55–59	218 (207; 238)	234 (218; 244)***	345 (319; 358)	346 (335; 372)	4,9 (2,8; 8,9)	3,6 (1,9; 6,8)

Примечание. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ в сравнении с 1-й группой (тест Дункана).

У исследования есть некоторые ограничения: поперечное исследование, небольшая выборка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В среднем возрасте 45–49 лет у лиц с АГ не наблюдалось изменений когнитивных функций при медианной длительности АГ 5 лет по данным метода потенциалов, связанных с событием. У людей 50–54 лет с АГ и медианной длительностью АГ 8 лет отмечалось снижение

ресурсов внимания, изменения фиксировались в теменной области справа. В 55–59 лет с медианной длительностью АГ 9,7 года наблюдалось снижение ресурсов внимания и скорости дифференцировки звукового сигнала в теменных, височных, лобных областях, передневисочном отделе слева. С учётом этих данных необходимо уделять повышенное внимание профилактике когнитивных нарушений у пациентов с АГ в возрасте 50 лет и старше.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лавёрова Уральского отделения РАН (протокол № 4 от 10.02.2022).

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

Источники финансирования. Исследование выполнено по программе фундаментальных научно-исследовательских разработок Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лавёрова Уральского отделения РАН (№ 125022002730-2).

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

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

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

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

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре.

В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

Благодарность. Авторы выражают благодарность А.В. Кудрявцеву за помощь в организации сбора первичного материала.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: E.V. Krivonogova, O.V. Krivonogova: conceptualization, methodology, investigation, data curation, formal analysis, writing—original draft; L.V. Poskotinova: resources, investigation, 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 N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (protocol No. 4, February 10, 2022).

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

Funding sources: The study was conducted under the Program of Fundamental Research of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (No. 125022002730-2).

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

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

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

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

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

Acknowledgments: The authors express their gratitude to A.V. Kudryavtsev for assistance in organizing the collection of primary material.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Isaykina OYu, Vekhova KA, Drobotov GS, et al. Association of cognitive impairment and arterial hypertension. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2023;15(6):4–9. doi: 10.14412/2074-2711-2023-6-4-9 EDN: ZUTFIP
2. Zúñiga Salazar G, Zúñiga D, Balasubramanian S, et al. The relation between arterial hypertension and cognitive impairment: a literature review. *Cureus*. 2024;16(1):e52782. doi: 10.7759/cureus.52782
3. de Menezes ST, Giatti L, Brant LCC, et al. Hypertension, prehypertension, and hypertension control: association with decline in cognitive performance in the ELSA-Brasil cohort. *Hypertension*. 2021;77(2):672–681. doi: 10.1161/hypertensionaha.120.16080
4. Khasnulin VI, Sevostyanova EV. Influence of pathologic meteosensitivity on development of arterial hypertension in the North. *University Proceedings. Volga Region. Medical Sciences*. 2013;1(1):92–101. EDN: PZZQCL
5. Ostroumova TM, Zakharov VV. Cognitive impairment in middle-aged patients with arterial hypertension. *Effective Pharmacotherapy*. 2020;16(23):6–12. doi: 10.33978/2307-3586-2020-16-23-6-12. EDN: CNXZIT
6. Ostroumova TM, Parfenov VA, Ostroumova OD. Hypertension and cognitive impairment: the standpoint of evidence-based medicine. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2017;9(4):70–76. doi: 10.14412/2074-2711-2017-4-70-76 EDN: ZXLDJ
7. Cheon EJ. Hypertension and cognitive dysfunction: a narrative review. *J Yeungnam Med Sci*. 2023;40(3):225–232. doi: 10.12701/jyms.2022.00605
8. Ou YN, Tan CC, Shen XN, et al. Blood pressure and risks of cognitive impairment and dementia: a systematic review and meta-analysis of 209 prospective studies. *Hypertension*. 2020;76(1):217–225. doi: 10.1161/hypertensionaha.120.14993
9. Ostroumova TM, Ostroumova OD. Cognitive impairments in patients with arterial hypertension: focus on middle-aged patients. *The Journal of General Medicine*. 2021;2(2):65–71. doi: 10.24412/2071-5315-2021-1232 EDN: JDBWBS
10. Waliszewska-Prośół M, Bladowska J, Budrewicz S, et al. The evaluation of Hashimoto's thyroiditis with event-related potentials and magnetic resonance spectroscopy and its relation to cognitive function. *Sci Rep*. 2021;11(1):2480. doi: 10.1038/s41598-021-82281-6
11. Gnezditskiy VV, Korepina OS, Chatskaya AV, Klochkova OI. Memory, cognition and the endogenous evoked potentials of the brain: the estimation of the disturbance of cognitive functions and capacity of working memory without the psychological testing. *Progress in Physiological Science*. 2017;48(1):3–23. EDN: YKVECX
12. Gnezditskiy VV., Korepina OS. Atlas of evoked brain potentials (a practical guide based on the analysis of specific clinical observations). Ivanovo: PresSto; 2011. 528 p. (In Russ.) EDN: QMBPWX

13. Zueva IB, Krivonosov DS, Buch AV. Assessment of cognitive functions using cognitive evoked potential in patients with arterial hypertension. *International Heart and Vascular Disease Journal*. 2017;5(13):10–16. EDN: YQEDLT
14. Gogisetti Y, Pathania M, Mittal S, et al. Assessment of cognition in hypertensives and normotensives: a comparative P300 study. *Cureus*. 2022;14(8):e28397. doi: 10.7759/cureus.28397
15. Polich J, Herbst KL. P300 as a clinical assay: rationale, evaluation, and findings. *Int J Psychophysiol*. 2000;38(1):3–19. doi: 10.1016/s0167-8760(00)00127-6
16. Shomstein S, Yantis S. Parietal cortex mediates voluntary control of spatial and nonspatial auditory attention. *J Neurosci*. 2006;26(2):435–439. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4408-05.2006
17. Dzhos YuS, Kalinina LP. Cognitive event-related potentials in neurophysiology research (review). *Journal of Medical and Biological Research*. 2018;6(3):223–235. doi: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.223 EDN: XZ0GBV
18. Cicconetti P, Ciotti V, Tafaro L, et al. Event related brain potentials in elderly patients with recently diagnosed isolated systolic hypertension. *Clin Neurophysiol*. 2007;118(4):824–832. doi: 10.1016/j.clinph.2006.11.001
19. Joyce OC, McHugh C, Mockler D, et al. Midlife hypertension is a risk factor for some, but not all, domains of cognitive decline in later life: a systematic review and meta-analysis. *J Hypertens*. 2024;42(2):205–223. doi: 10.1097/HJH.0000000000003614
20. Zaharov VV, Vahnina NV. Cognitive disorders in arterial hypertension. *Nervous Diseases*. 2013;(3):16–21. (In Russ.) EDN: RHTULZ

ОБ АВТОРАХ

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

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

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

AUTHORS' INFO

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

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

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

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Применение Триер-теста для оценки психосоциального стресса по показателям вариабельности сердечного ритма у юношей и девушек, обучающихся в высшем учебном заведении

С.Н. Толстогузов, К.А. Шикова, В.М. Грук, О.Н. Лепунова

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Исследование вариабельности сердечного ритма при краткосрочном экспериментально индуцированном психосоциальном стрессе важно для понимания механизмов вегетативной регуляции сердечной деятельности.

Цель исследования. Изучение динамики показателей вариабельности сердечного ритма при краткосрочном интенсивном влиянии факторов психосоциального стресса в условиях Триер-теста у юношей и девушек, обучающихся на 1–2-м курсах высшего учебного заведения.

Материалы и методы. Проведено проспективное исследование. Критерии включения: I или II группа здоровья; возраст — 19–22 лет; желание принять участие в исследовании и выраженная мотивация на высокий результат. Критерии исключения: ожирение любой степени; наличие в анамнезе хронических заболеваний сердечно-сосудистой или нервной системы. Сформировано две группы в зависимости от половой принадлежности: 1-я группа — девушки; 2-я группа — юноши. Провокацию острого психосоциального стресса проводили с использованием видеоизменённого варианта Триер-теста. На каждом его этапе регистрировали 5-минутный отрезок кардиоинтервалограммы с последующим расчётом вариабельности сердечного ритма.

Результаты. В исследовании приняли участие 79 добровольцев, обучающихся на 1–2-м курсах очной формы университета. Девушки включены в 1-ю группу ($n=41$), юноши — во 2-ю группу ($n=38$). Начиная с первой (контрольной) фазы Триер-теста, несмотря на невысокий уровень субъективных переживаний стресса, фиксировали различия показателей вариабельности сердечного ритма в группах. На втором этапе в обеих группах зафиксировано увеличение частоты сердечных сокращений и мощности спектра низкочастотного компонента, а также снижение средней длительности нормированного интервала RR и мощности высокочастотного компонента. Реактивные фазы характеризовались наибольшей выраженностью субъективных переживаний стресса и максимальными по сравнению с контрольной фазой изменениями вариабельности сердечного ритма. Отмечали увеличение частоты сердечных сокращений (особенно в 1-й группе во время самопрезентации), индекса централизации, индекса вагосимпатического взаимодействия, мощности спектра низкочастотного и очень низкочастотного компонентов, разности между максимальным и минимальным значениями кардиоинтервалов, а также стандартного отклонения полного массива кардиоинтервалов (преимущественно во 2-й группе). Кроме того, наблюдали снижение средней длительности нормированного интервала RR и мощности спектра высокочастотного компонента. В пятую фазу при сохранении умеренного субъективного уровня стресса отмечено возвращение симпато-парасимпатического регуляторного равновесия в обеих группах с некоторым симпатoadреналовым преобладанием по интегральным характеристикам вариабельности сердечного ритма.

Заключение. Таким образом, у юношей наблюдали трофотропный характер изменений активности регуляторных систем при умеренном торможении вагусных влияний на фоне симпатoadреналовой активации во время острого психосоциального стресса. В свою очередь, у девушек стресс-изменения вариабельности сердечного ритма носили более выраженный эрготропный характер.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма; Триер-тест; психосоциальный стресс; автономная регуляция сердца; юноши; девушки.

Как цитировать:

Толстогузов С.Н., Шикова К.А., Грук В.М., Лепунова О.Н. Применение Триер-теста для оценки психосоциального стресса по показателям вариабельности сердечного ритма у юношей и девушек, обучающихся в высшем учебном заведении // Экология человека. 2025. Т. 32, № 7. С. 479–493.

DOI: 10.17816/humeco678196 EDN: OUBYNM

Trier Social Stress Test for Assessing Psychosocial Stress Based on Heart Rate Variability Parameters in Male and Female Students of a Higher Educational Institution

Sergey N. Tolstoguzov, Ksenia A. Shikova, Vyacheslav M. Gruk, Olga N. Lepunova

University of Tyumen, Tyumen, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The study of heart rate variability under short-term experimentally induced psychosocial stress is important for understanding the mechanisms of autonomic regulation of cardiac activity.

AIM: The work aimed to investigate the changes of heart rate variability parameters during short-term intensive exposure to psychosocial stress factors using the Trier Social Stress Test in male and female first- and second-year students of a higher educational institution.

METHODS: It was a prospective study. Inclusion criteria: health group I or II; age 19–22 years; willingness to participate and strong motivation for high performance. Exclusion criteria: any degree of obesity; history of chronic cardiovascular or neurological diseases. Two groups were formed according to sex: group 1, females; group 2, males. Acute psychosocial stress was induced using a modified Trier Social Stress Test protocol. At each stage, a 5-minute segment of cardiointerval recording was obtained for subsequent heart rate variability analysis.

RESULTS: The study included 79 volunteers enrolled in the 1st–2nd years of full-time university education. Females and males were assigned to group 1 ($n = 41$) and group 2 ($n = 38$), respectively. From the first (control) phase of the Trier Social Stress Test, differences in heart rate variability parameters were observed between groups despite low subjective stress reports. In the second phase, both groups demonstrated increased heart rate and low-frequency spectral power, along with decreased normalized RR interval duration and high-frequency spectral power. Reactivity phase showed the highest subjective stress ratings and maximal heart rate variability alterations compared with the control stage. An increase in heart rate (especially in group 1 during self-presentation), centralization index, vagosympathetic interaction index, low- and very-low-frequency spectral power, the difference between maximum and minimum RR intervals, as well as the standard deviation of the full set of RR intervals (predominantly in group 2) was noted. In addition, a decrease in the mean duration of the normalized RR interval and in the high-frequency spectral power was observed. By the fifth phase, with moderate subjective stress persisting, sympatho-parasympathetic balance was largely restored in both groups, with some sympathetic predominance in integral heart rate variability measures.

CONCLUSION: Thus, males showed a trophotropic pattern of changes in the activity of regulatory systems, characterized by moderate inhibition of vagal influences along with sympathoadrenal activation during acute psychosocial stress. In females, stress-induced heart rate variability alterations were more pronounced and ergotropic in nature.

Keywords: heart rate variability; Trier Social Stress Test; psychosocial stress; cardiac autonomic regulation; male; female.

To cite this article:

Tolstoguzov SN, Shikova KA, Gruk VM, Lepunova ON. Trier Social Stress Test for Assessing Psychosocial Stress Based on Heart Rate Variability Parameters in Male and Female Students of a Higher Educational Institution. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(7):479–493. DOI: 10.17816/humeco678196
EDN: OUBYHM

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco678196>

EDN: OUBYHM

应用特里尔社会压力测试评估高等院校在读青年男女在心理社会压力下的心率变异性指标

Sergey N. Tolstoguzov, Ksenia A. Shikova, Vyacheslav M. Gruk, Olga N. Lepunova

University of Tyumen, Tyumen, Russia

摘要

论证。在短期实验性诱导的心理社会压力条件下研究心率变异性，对于理解心脏活动的自主神经调节机制具有重要意义。

目的。探讨在特里尔社会压力测试（Trier Social Stress Test）条件下，高等院校 1 - 2 年级青年男女在短期强烈心理社会压力作用下的心率变异性动态变化。

方法。开展横断面前瞻性研究。纳入标准：健康等级I或II；年龄19 - 22岁；自愿参加并具有强烈动机完成研究。排除标准：任何程度的肥胖；既往有心血管或神经系统慢性疾病。根据性别分组：第1组 — 女生；第2组 — 男生。采用改良的特里尔测试诱导急性心理社会压力。在测试的每个阶段记录5分钟心动间期图，并随后计算心率变异性指标。

结果。共纳入79名全日制大学1 - 2年级志愿者。女生（ $n=41$ ）纳入第1组，男生（ $n=38$ ）纳入第2组。从特里尔测试的第一（对照）阶段开始，尽管主观压力体验不高，心率变异性指标已显示组间差异。在第二阶段，两组均表现出心率加快、低频功率增加、标准化RR间期缩短及高频功率下降。反应阶段表现为最强烈的主观压力体验，以及相较于对照阶段最显著的心率变异性变化。在这一阶段观察到心率加快（尤其在第1组自我陈述环节）、中心化指数升高、迷走 - 交感相互作用指数升高、低频和极低频功率升高、心动间期最大 - 最小差值及心动间期标准差升高（主要见于第2组）。此外，还观察到标准化RR间期和高频功率下降。在第五阶段，在主观压力水平保持中等的情况下，两组均表现出交感 - 副交感调节平衡的恢复，同时心率变异性的综合特征显示出一定的交感 - 肾上腺优势。

结论。在急性心理社会压力下，男生表现出调节系统活动的营养型（trophotropic）变化特征，其特点是在交感 - 肾上腺系统激活背景下伴随轻度迷走作用抑制。相应地，女生的心率变异性变化则呈现出更加明显的能量型（ergotropic）特征。

关键词：心率变异性；特里尔社会压力测试；心理社会压力；心脏自主调节；男生；女生。

引用本文：

Tolstoguzov SN, Shikova KA, Gruk VM, Lepunova ON. 应用特里尔社会压力测试评估高等院校在读青年男女在心理社会压力下的心率变异性指标. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(7):479-493. DOI: 10.17816/humeco678196 EDN: OUBYHM

收到: 07.04.2025

接受: 01.08.2025

发布日期: 12.08.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Проблема поиска надёжных биомаркеров стресс-реакций человека и животных существует достаточно давно. В исследовательской и клинической практике наибольшую информативность демонстрируют данные биоэлектрической активности мозга [1, 2], характеристики нейроэндокринной регуляции функций [3], а также психофизиологические параметры эмоциональных состояний [4]. Важное место среди физиологических коррелятов стресс-реакций занимают показатели деятельности сердечно-сосудистой системы: артериального давления, частоты сердечных сокращений (ЧСС) и вариабельности сердечного ритма [5]. Автономную нервную и сердечно-сосудистую системы относят к наиболее чувствительным к стрессовым воздействиям окружающей среды и нарушениям гомеостатического равновесия, активно участвующим в реализации адаптационных механизмов [6].

Использование метода математического анализа вариабельности сердечного ритма для оценки воздействий неблагоприятных природных и социальных факторов окружающей среды на организм человека широко распространено [7, 8]. При этом исследования вегетативной регуляции сердечной деятельности в условиях краткосрочного экспериментально индуцированного стресса психосоциального генеза встречаются реже и имеют неоднозначные результаты [9, 10]. В связи с этим представляют интерес два аспекта изучения индуцированного стресса.

Во-первых, применение Триер-теста для искусственной лабораторной провокации острого психосоциального стресса. Триер-тест (Trier Social Stress Test, TSST), разработанный С. Kirschbaum и соавт. [11] в 1993 г., состоит из пяти фаз/этапов, три из которых являются стрессогенными. Первая фаза — фоновая, поскольку запись функциональных параметров организма у участника эксперимента происходит без действия раздражителя. Она же выступает в качестве контрольной при описании динамики психофизиологических показателей на следующих этапах Триер-теста. На второй, третьей и четвёртой фазах происходит психологическая индукция стресса различными факторами. В частности, во второй фазе участник готовит резюме-автобиографию для самопрезентации, в третьей — представляет его перед слушателями («комиссией») или/и под видеозапись, в четвёртой — выполняет вслух обратный счёт, начиная с четырёхзначного числа, уменьшая его на двузначное. Пятая фаза является периодом восстановления, в течение которого ожидается торможение стрессовых реакций. В реальных исследованиях возможны некоторые изменения в процедуре, что делает Триер-тест гибким в использовании. Важным условием его реализации служит выраженная мотивация участников на достижение высоких результатов прохождения теста, что обуславливает сильное психологическое

стресс-воздействие на реактивных (третьем и четвёртом) этапах. Триер-тест включает два главных стресс-фактора: исходная неопределённость предстоящей задачи и социальная оценка результатов, реализуемая на третьем и четвёртом этапах. Таким образом, появляется возможность в лабораторном эксперименте наблюдать этапы:

- инициации стресс-реакции (вторая и третья фазы);
- полноценного развития стресса (третья и четвёртая фазы);
- его угасания (пятая фаза).

Выделение отдельных фаз реакции на психосоциальные стрессоры представляется обоснованным, поскольку на протяжении всего Триер-теста активны различные психологические и физиологические механизмы обеспечения адекватного ответа на требования деятельности. При экспериментальном выделении отдельных фаз острой стрессовой реакции в хронологии Триер-теста исследователи обращают особое внимание на антиципирующую фазу (второй этап) как период, когда человек уже осознаёт предстоящее действие стрессора, но ещё не подвергается его прямому воздействию [12]. По данным А.А. Пашкова и соавт. [13], изменения физиологических параметров организма в процессе Триер-теста указывают на динамику активности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой и симпатoadреналовой систем, что, в свою очередь, позволяет говорить о способности данной методики индуцировать психосоциальный стресс в лабораторных условиях.

Во-вторых, использование характеристик вариабельности сердечного ритма для оценки состояния организма на каждом из этапов Триер-теста. Антиципирующая и реактивные фазы психологического стресса одновременно индуцируют различные физиологические сдвиги в организме человека. Активизация симпатического отдела вегетативной нервной системы отражает тревожный компонент, обеспечивающий немедленную мобилизацию по типу реакции «бей или беги», тогда как вовлечение гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой связано с реализацией отсроченных адаптационных эффектов. Симпатическую реакцию на острый стресс исследуют с помощью оценки низкочастотной мощности спектра вариабельности сердечного ритма, а парасимпатическое торможение — по высокочастотной мощности или среднеквадратичному отклонению разности между соседними интервалами RR за определённый отрезок времени [14]. R. Castaldo и соавт. [15] критически рассматривали применение мощностных характеристик вариабельности сердечного ритма для оценки стресс-реактивности при регистрации коротких временных отрезков кардиоинтервалограммы, поскольку на отрезках записи менее 300 с возможны эффекты «спектральной утечки» и симпатическую реакцию сердца на стресс невозможно надёжно оценить с использованием индекса вагосимпатического взаимодействия (IBV). По данным E. Tharion и соавт. [16], изменений мощностных характеристик вариабельности сердечного ритма

при стрессе психосоциального генеза не наблюдали, тогда как D. Lucini и соавт. [17] установили, что среднее значение мощности спектра низкочастотного компонента во время сеансов когнитивного стресса значительно ниже, чем при фоновом состоянии. Т. Pereira и соавт. [9] в условиях Триер-теста отметили низкий средний интервал RR , что свидетельствует о более высокой ЧСС во время когнитивной нагрузки (четвёртая фаза Триер-теста) в сравнении с контрольным состоянием, в то время как показатель, характеризующий степень преобладания парасимпатического звена регуляции над симпатическим, значительно выше в контрольном состоянии, чем в процессе умственной задачи. Кроме того, в условиях индуцированного стресса наблюдают снижение показателей, отражающих суммарный эффект вегетативной регуляции кровообращения и активность парасимпатического звена вегетативной регуляции [17].

Таким образом, вариабельность сердечного ритма при оценке функционального состояния организма человека отражает способность сердца реагировать на различные стресс-стимулы, при этом низкая вариабельность свидетельствует о нарушениях регуляторных и гомеостатических функций автономной нервной системы, что снижает способность организма справляться с внутренними и внешними стрессорами.

Кроме того, по данным метаанализа, проведённого H.G. Kim и соавт. [18], использование показателей вариабельности сердечного ритма и биомаркеров стресс-состояний характеризуется неоднозначностью, обусловленной фрагментарностью и несопоставимостью результатов различных исследований, описывающих стресс разного происхождения, интенсивности или стадии развития.

Цель исследования. Изучение динамики показателей вариабельности сердечного ритма при краткосрочном интенсивном влиянии факторов психосоциального стресса в условиях Триер-теста у юношей и девушек, обучающихся на 1–2-м курсах высшего учебного заведения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено проспективное исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения:

- I (здоровые) или II (практически здоровые) группа здоровья;
- возраст — 19–22 лет;
- желание принять участие в исследовании;
- выраженная мотивация на высокий результат.

Критерии исключения:

- ожирение любой степени при индексе массы тела ≥ 30 кг/м²;

- наличие в анамнезе хронических заболеваний сердечно-сосудистой или нервной системы;
- обострение любых заболеваний в последние две недели перед исследованием;
- устойчивая тахикардия (80 в минуту и более) и/или высокий уровень субъективной тревожности;
- ощущения стресса [4 балла и более из 10 по визуально-аналоговой шкале (ВАШ)] при отборочном исследовании.

Девушки принимали участие в исследовании в фолликулярную стадию менструального цикла.

Провокация острого психосоциального стресса

Провокацию острого психосоциального стресса проводили с использованием видеоизменённого варианта Триер-теста [11]. Участников эксперимента мотивировали на высокую результативность Триер-теста, сообщая, что результаты прохождения будут учитывать при выборе кафедры и научного руководителя.

На первом этапе фиксировали вариабельность сердечного ритма в спокойном состоянии (контроль).

На втором этапе просили участника эксперимента подготовить (обдумать) краткое резюме о себе для презентации потенциальному научному руководителю. На этом этапе он мог записывать в блокнот свои мысли, не совершая при этом активных движений.

На третьем этапе участник эксперимента должен был выступить с самопрезентацией «на камеру», избегая двигательной активности.

На четвёртом этапе участники исследования выполняли вслух обратный счёт, вычитая последовательно число 13 из числа 1022.

Пятый этап предполагал спокойное бодрствование.

Каждый из пяти этапов/фаз Триер-теста занимал 5 мин, в течение которых вели запись вариабельности сердечного ритма в положении сидя. Суммарная продолжительность эксперимента без учёта времени вводного инструктажа составляла 25 мин. Перерывов между этапами Триер-теста не делали.

Основной исход исследования

Оценка динамики показателей вариабельности сердечного ритма при краткосрочном интенсивном влиянии факторов психосоциального стресса в условиях Триер-теста.

Анализ в группах

Все участники исследования разделены на две группы в зависимости от половой принадлежности:

- 1-я группа — девушки;
- 2-я группа — юноши.

Методы регистрации исходов

Регистрацию кардиоинтервалограммы осуществляли с помощью аппаратно-программного комплекса

«Здоровье-экспресс» (Россия, ООО «МКС») с четырёх электродов, наложенных на конечности. Каждый этап Триер-теста соответствовал 5-минутному отрезку записи кардиоинтервалограммы с последующим анализом variability сердечного ритма. В качестве статистических показателей временного домена [19] использовали следующие характеристики variability сердечного ритма:

- AVNN — средняя длительность нормированного интервала RR , мс;
- SDNN — стандартное отклонение нормированных интервалов, мс;
- RMSSD — среднеквадратичное значение последовательных различий, квадратный корень из среднего значения квадратов последовательных различий между соседними нормированными интервалами, мс;
- pNN50 — доля последовательных нормированных интервалов, различающихся на 50 мс и более, %.

Геометрическими показателями описания variability сердечного ритма были вариационный размах и индекс напряжения регуляторных систем (стресс-индекс, индекс Р.М. Баевского [20]).

Вариационный размах ($MxDMn$):

$$MxDMn = RR_{Mx} - RR_{Mn} \quad (1)$$

где RR_{Mx} — максимальное значение RR интервала, мс; RR_{Mn} — минимальное значение RR интервала, мс.

Стресс-индекс (SI):

$$SI = \frac{AMo}{2 \times Mo \times MxDMn}, \quad (2)$$

где AMo — амплитуда моды, %; Mo — мода, мс; $MxDMn$ — вариационный размах, мс.

Кроме того, учитывали спектральные показатели плотности мощности в частотных диапазонах:

- высокой частоты (HF) — от 0,15 до 0,4 Гц;
- низкой частоты (LF) — от 0,04 до 0,15 Гц;
- очень низкой частоты (VLF) — от 0,003 до 0,04 Гц.

Рассчитывали индекс централизации (IC) и вагосимпатического взаимодействия (IBB):

$$IC = \frac{HF + LF}{VLF}, \quad (3)$$

где HF — мощность спектра высокочастотного компонента variability, $мс^2$; LF — мощность спектра низкочастотного компонента variability, $мс^2$; VLF — мощность спектра очень низкочастотного компонента variability, $мс^2$;

$$IBB = \frac{LF}{HF}, \quad (4)$$

где HF — мощность спектра высокочастотного компонента variability, $мс^2$; LF — мощность спектра низкочастотного компонента variability, $мс^2$.

Субъективное ощущение стресса участников эксперимента фиксировали на каждом этапе Триер-теста в соответствии с ВАШ в диапазоне от 1 до 10 баллов, где 1 балл — полное отсутствие стресс-переживаний, а 10 — максимальный стресс.

Измерения проводили в межсессионный период, в дневное время, в спокойной и комфортной обстановке.

Этическая экспертиза

Исследование проводилось с мая по ноябрь 2024 г. и было одобрено этическим комитетом Тюменского государственного университета (протокол № 3 от 11.09.2024). Участники эксперимента подписали добровольные информированные согласия на проведение исследования и обработку персональных данных.

Статистический анализ

Запланированный размер выборки составлял не менее 30 участников в каждой экспериментальной группе. Предварительных расчётов размера выборки не проводилось.

Статистические методы

Статистическую обработку проводили с использованием пакета программы Statistica 6.1 (StatSoft, Inc., Соединённые Штаты Америки). Результаты представлены в виде Me [Q25; Q75], где Me — медиана, Q25 и Q75 — 25-й и 75-й процентиля. Проверку нормальности распределения осуществляли с использованием критерия Шапиро-Уилка. Поскольку распределение показателей, характеризующих variability сердечного ритма, не всегда соответствовало нормальному, достоверность отличий определяли непараметрическими методами: по критерию Манна-Уитни для двух независимых групп при сравнении по полу, по критерию Вилкоксона для сравнения этапов Триер-теста. Распределение субъективных оценок стресса по ВАШ соответствовало нормальному, что позволило применить сравнение по средним значениям и t -критерию Стьюдента. Значимыми считали отличия при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристики выборки

В исследовании приняли участие 79 добровольцев, обучающихся на 1–2-м курсах очной формы Тюменского государственного университета. Средний возраст участников эксперимента составил $20,3 \pm 1,3$ года. Девушки включены в 1-ю группу ($n=41$), юноши — во 2-ю ($n=38$). В табл. 1 продемонстрировано субъективное переживание стресса в соответствии с ВАШ в группах в зависимости от фазы Триер-теста.

Основные результаты исследования

Начиная с первой (контрольной) фазы Триер-теста, на фоне низких субъективных переживаний стресса

Таблица 1. Динамика субъективного восприятия стресса по визуально-аналоговой шкале в группах в зависимости от фазы Триер-теста

Table 1. Changes of subjective stress perception on a visual analog scale in the groups depending on the Trier test phase

Фазы Триер-теста	Субъективное ощущение стресса, баллы	
	1-я группа, n=41	2-я группа, n=38
Первая (контроль)	2,68±0,08	2,28±0,11
Вторая	6,09±0,23*	4,55±0,17
Третья	7,34±0,24	6,21±0,24
Четвёртая	6,21±0,20	6,28±0,17
Пятая	4,90±0,19	4,86±0,15

Примечание. *Статистически значимые различия со 2-й группой ($p < 0,001$). Субъективное ощущение стресса по визуально-аналоговой шкале в диапазоне от 1 до 10 баллов, где 1 балл — полное отсутствие стресс-переживаний, а 10 — максимальный стресс.

по ВАШ (см. табл. 1) фиксировали различия в показателях, характеризующих вариабельность сердечного ритма, в группах. Так, в 1-й группе отмечены бо́льшая средняя длительность кардиоинтервалов (AVNN) при более высокой

вариабельности (RMSSD и pNN50; табл. 2), а также меньшие значения LF (табл. 3), IBB (рис. 1) и IC (рис. 2).

Во второй фазе субъективные тревожные переживания по ВАШ усилились у всех участников эксперимента (см. табл. 1). Тем не менее они были более выражены в 1-й группе. Существенные изменения на втором этапе отмечены практически по всем характеристикам вариабельности сердечного ритма. В обеих группах установлено увеличение ЧСС (рис. 3) и LF, снижение AVNN и HF (см. табл. 2, 3). При этом некоторые показатели, характеризующие вариабельность сердечного ритма, имели разнонаправленную динамику:

- увеличение SDNN и VLF во 2-й группе и отсутствие изменений в 1-й группе;
- снижение RMSSD и pNN50, увеличение IC, IBB и SI (рис. 4) в 1-й группе при стабильных значениях во 2-й.

Третья и четвёртая фазы Триер-теста сопровождались наибольшей выраженностью субъективных переживаний стресса (см. табл. 1) и максимальными по сравнению с контрольной фазой изменениями вариабельности

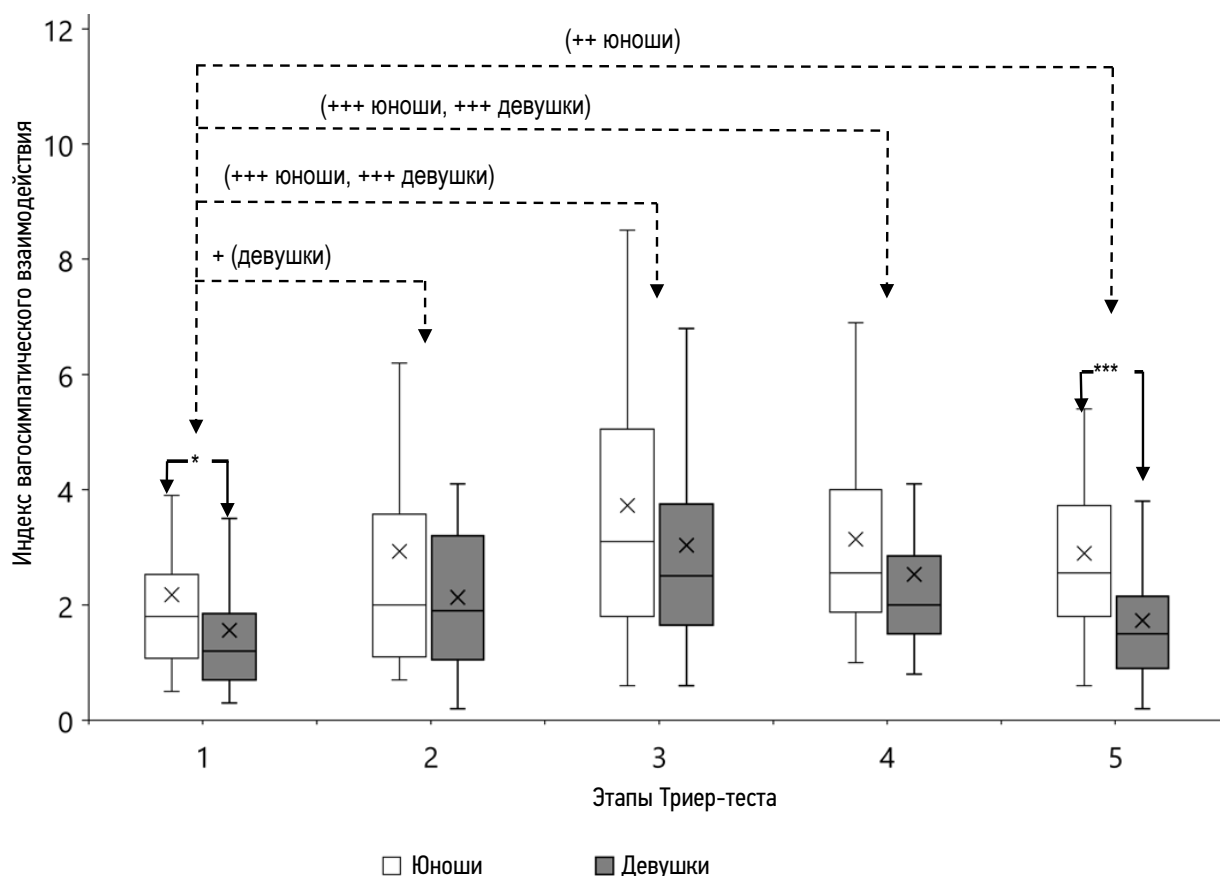


Рис. 1. Изменение значений индекса вегетосимпатического взаимодействия у юношей и девушек в зависимости от фазы Триер-теста: *** статистически значимые различия по полу при $p < 0,001$; * при $p < 0,05$ (критерий Манна-Уитни); +++ — статистически значимые различия с первым этапом (контроль) Триер-теста при $p < 0,001$; ++ — при $p < 0,01$; + — при $p < 0,05$ (критерий Вилкоксона); границы боксов соответствуют процентиллям Q25 и Q75; линия внутри бокса — медиана; крестик в боксе — средние, верхние и нижние отклонения (максимальные и минимальные значения).

Fig. 1. Changes in the vagosympathetic interaction index in males and females depending on the Trier test phase: *** statistically significant sex-related differences at $p < 0.001$; * at $p < 0.05$ (Mann-Whitney test); +++ statistically significant differences compared with the first phase (control) of the Trier test at $p < 0.001$; ++ at $p < 0.01$; + at $p < 0.05$ (Wilcoxon test); box boundaries correspond to the 25th and 75th percentiles; the line inside the box represents the median; the cross inside the box denotes the mean; whiskers indicate maximum and minimum values.

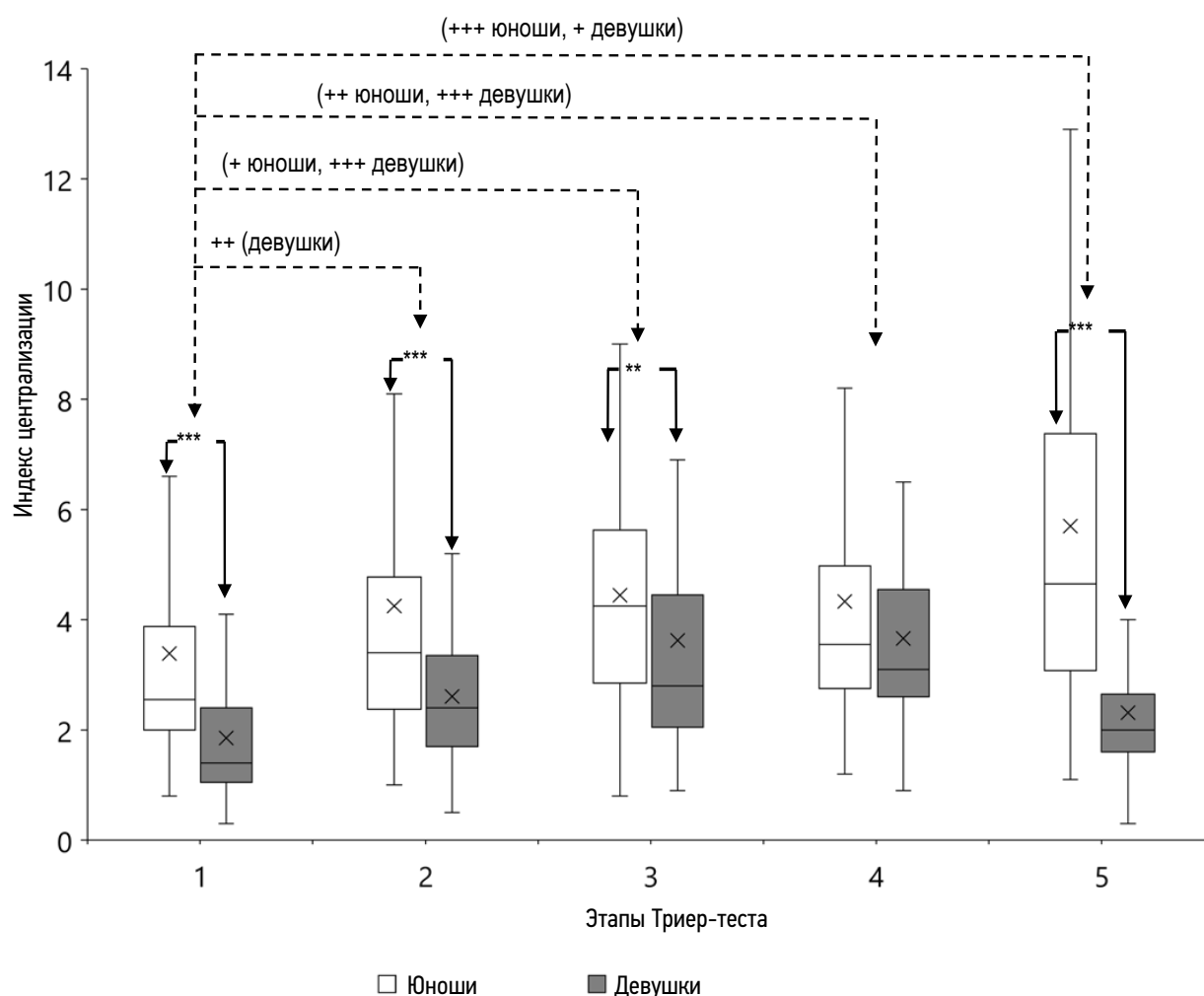


Рис. 2. Изменение значений индекса централизации у юношей и девушек в зависимости от фазы Тrier-теста: ***статистически значимые различия по полу при $p < 0,001$; **при $p < 0,01$ (критерий Манна–Уитни); +++ — статистически значимые различия с первым этапом (контроль) Тrier-теста при $p < 0,001$; ++ — при $p < 0,01$; + — при $p < 0,05$ (критерий Вилкоксона); границы боксов соответствуют процентиям Q25 и Q75; линия внутри бокса — медиана; крестик в боксе — средние, верхние и нижние отклонения (максимальные и минимальные) значения.

Fig. 2. Changes in the centralization index in males and females depending on the Trier test phase: *** statistically significant sex-related differences at $p < 0.001$; ** at $p < 0.01$ (Mann–Whitney test); +++ statistically significant differences compared with the first phase (control) of the Trier test at $p < 0.001$; ++ at $p < 0.01$; + at $p < 0.05$ (Wilcoxon test); box boundaries correspond to the 25th and 75th percentiles; the line inside the box represents the median; the cross inside the box denotes the mean; whiskers indicate maximum and minimum values.

сердечного ритма. Отмечали увеличение ЧСС (особенно в 1-й группе во время самопрезентации), IC, ИБВ, LF, VLF, МхDMn, SDNN (преимущественно во 2-й группе). Одновременно в этих реактивных фазах наблюдали снижение AVNN и HF. Значения SI превышали фоновые только в 1-й группе в фазе самопрезентации, тогда как в четвёртой фазе у участников обеих групп не отличались от исходных. При этом во 2-й группе показатели RMSSD и pNN50 в реактивные фазы Тrier-теста возрастали, тогда как в 1-й группе, напротив, существенно снижались, особенно в четвёртой когнитивной фазе (см. табл. 2).

В пятой фазе при исключении стрессорных воздействий субъективная оценка восприятия стресса по ВАШ несколько уменьшилась (см. табл. 1), однако превышала исходные фоновые значения. Восстановление показателей variability сердечного ритма до контрольных значений первой фазы наблюдали во 2-й (pNN50, HF, SI)

и в 1-й (AVNN, SDNN, RMSSD, МхDMn, HF, VLF, ИБВ) группах. При этом ЧСС и IC в период восстановления в обеих группах полностью к фоновым значениям не вернулись (см. рис. 2, 3).

Кроме того, обращает на себя внимание более широкий квартильный размах в 1-й группе по показателю ЧСС на всех этапах индуцированного стресса, а также расширение диапазона Q1–Q3 в 1-й группе по показателю SI в антиципирующей и реактивной фазах. Во 2-й группе квартильный размах в условиях эксперимента постадийно нарастал по показателям IC и ИБВ.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме результатов исследования

У молодых людей выявлен трофотропный характер

Таблица 2. Динамика статистических показателей вариабельности сердечного ритма по фазам Триер-теста**Table 2.** Changes of statistical parameters of heart rate variability across the Trier test phases

Группы	Фазы Триер-теста					Сравнения с фоновой записью ²
	Первая (фоновая)	Вторая	Третья	Четвёртая	Пятая	
Средняя длительность нормированного интервала RR, мс						
1-я группа	746,0 [682,7; 852,4]	671,1 [613,8; 731,2]	605,7 [585,9; 659,3]	626,3 [551,3; 685,3]	732,1 [681,1; 815,6]	2–4 (<i>p</i> <0,001)
2-я группа	822,1 [769,7; 851,8]	738,2 [710,1; 780,9]	683,3 [647,0; 717,0]	685,9 [628,3; 724,4]	750,4 [712,6; 801,5]	2–4 (<i>p</i> <0,001; 5 (<i>p</i> =0,003)
Сравнения ¹ по полу	<i>U</i> =574; <i>Z</i> =–2,01; <i>p</i> =0,044	<i>U</i> =457; <i>Z</i> =–3,15; <i>p</i> =0,002	<i>U</i> =353; <i>Z</i> =–4,17; <i>p</i> <0,001	<i>U</i> =490; <i>Z</i> =–2,83; <i>p</i> =0,005	<i>U</i> =697; <i>Z</i> =–0,80; <i>p</i> =0,421	—
Стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов, мс						
1-я группа	45,3 [32,3; 50,2]	39,0 [35,1; 43,6]	49,8 [38,0; 66,6]	44,6 [38,6; 55,8]	41,3 [31,2; 56,5]	3 (<i>p</i> =0,004)
2-я группа	41,0 [37,1; 44,9]	55,3 [41,0; 71,8]	61,4 [53,3; 88,8]	69,4 [45,3; 87,0]	57,3 [48,6; 71,9]	2–5 (<i>p</i> <0,001)
Сравнения по полу ¹	<i>U</i> =602; <i>Z</i> =1,73; <i>p</i> =0,082	<i>U</i> =450; <i>Z</i> =–3,22; <i>p</i> =0,001	<i>U</i> =455; <i>Z</i> =–3,17; <i>p</i> =0,002	<i>U</i> =319; <i>Z</i> =–4,50; <i>p</i> <0,001	<i>U</i> =411; <i>Z</i> =–3,61; <i>p</i> <0,001	—
Среднеквадратичное значение последовательных различий кардиоинтервалов, мс						
1-я группа	38,6 [35,6; 47,1]	26,3 [24,0; 35,1]	42,2 [31,2; 49,2]	28,9 [26,0; 35,6]	39,0 [23,5; 48,4]	2, 4 (<i>p</i> <0,001)
2-я группа	33,8 [31,6; 36,1]	33,7 [26,9; 39,2]	41,0 [33,1; 44,3]	38,4 [30,1; 45,4]	35,3 [31,4; 39,7]	3 (<i>p</i> =0,001); 4 (<i>p</i> =0,009); 5 (<i>p</i> =0,037)
Сравнения по полу ¹	<i>U</i> =383; <i>Z</i> =3,88 <i>p</i> <0,001	<i>U</i> =556; <i>Z</i> =–2,18; <i>p</i> =0,029	<i>U</i> =717; <i>Z</i> =0,60; <i>p</i> =0,540	<i>U</i> =406; <i>Z</i> =3,65; <i>p</i> <0,001	<i>U</i> =772; <i>Z</i> =–0,06; <i>p</i> =0,951	—
Число пар кардиоинтервалов с разностью более 50 мс к общему числу кардиоинтервалов в массиве, %						
1-я группа	18,0 [11,0; 28,0]	6,6 [4,5; 12,0]	7,4 [3,5; 11,6]	7,0 [5,0; 11,0]	14,0 [8,0; 19,0]	2–4 (<i>p</i> <0,001); 5 (<i>p</i> =0,009)
2-я группа	11,3 [10,3; 13,0]	12,7 [6,5; 15,5]	16,6 [11,4; 22,3]	15,7 [9,0; 25,8]	10,9 [6,6; 14,2]	3, 4 (<i>p</i> <0,001)
Сравнения по полу ¹	<i>U</i> =257; <i>Z</i> =4,13; <i>p</i> <0,001	<i>U</i> =441; <i>Z</i> =–1,96 <i>p</i> =0,049	<i>U</i> =246; <i>Z</i> =–4,26; <i>p</i> <0,001	<i>U</i> =212; <i>Z</i> =–4,66; <i>p</i> <0,001	<i>U</i> =420; <i>Z</i> =2,21; <i>p</i> =0,027	—

Примечание. Результаты представлены в виде Ме [Q25; Q75], где Ме — медиана, Q25 и Q75 — 25-й и 75-й процентиля.

¹ по критерию Манна–Уитни; ² по критерию Вилкоксона.

изменений активности регуляторных систем с умеренным снижением вагусных влияний на фоне симпатoadренальной активации в условиях острого психосоциального стресса. У девушек, по сравнению с юношами, стресс-индуцированные изменения вариабельности сердечного ритма имели более выраженный эрготропный характер.

Интерпретация результатов исследования

Безусловно, показатели вариабельности сердечного ритма отражают регуляторные механизмы деятельности сердца со стороны центральной нервной системы, а также активность вегетативной нервной системы. Большая часть характеристик вариабельности сердечного ритма (статистические, геометрические, спектральные) так или иначе указывает на вовлечённость симпатической и/или парасимпатической нервной систем в регуляцию сердечной деятельности. Интерес в данном случае вызывает вопрос: насколько показатели, характеризующие

вариабельность сердечного ритма, могут служить индикаторами острого стресса психосоциального генеза и можно ли выделить некоторые специфические маркеры её динамики в ответ на конкретные стимулы при провокации (искусственной организации) стресса. Поиск и описание типового стресс-паттерна изменений характеристик вариабельности сердечного ритма под воздействием стандартизированных лабораторных стимуляций в условиях Триер-теста имеют важное значение для понимания структуры адаптационного ответа организма на психологические угрозы и вызовы, возникающие при необходимости срочных действий в ситуации «здесь и сейчас». Именно для решения этой задачи определены критерии включения и исключения участников эксперимента, в частности введено требование нейтрального психоэмоционального состояния на входе (субъективное переживание стресса по ВАШ на первом этапе Триер-теста не более 3 баллов).

Тем не менее уже в фоновом состоянии стресс-теста,

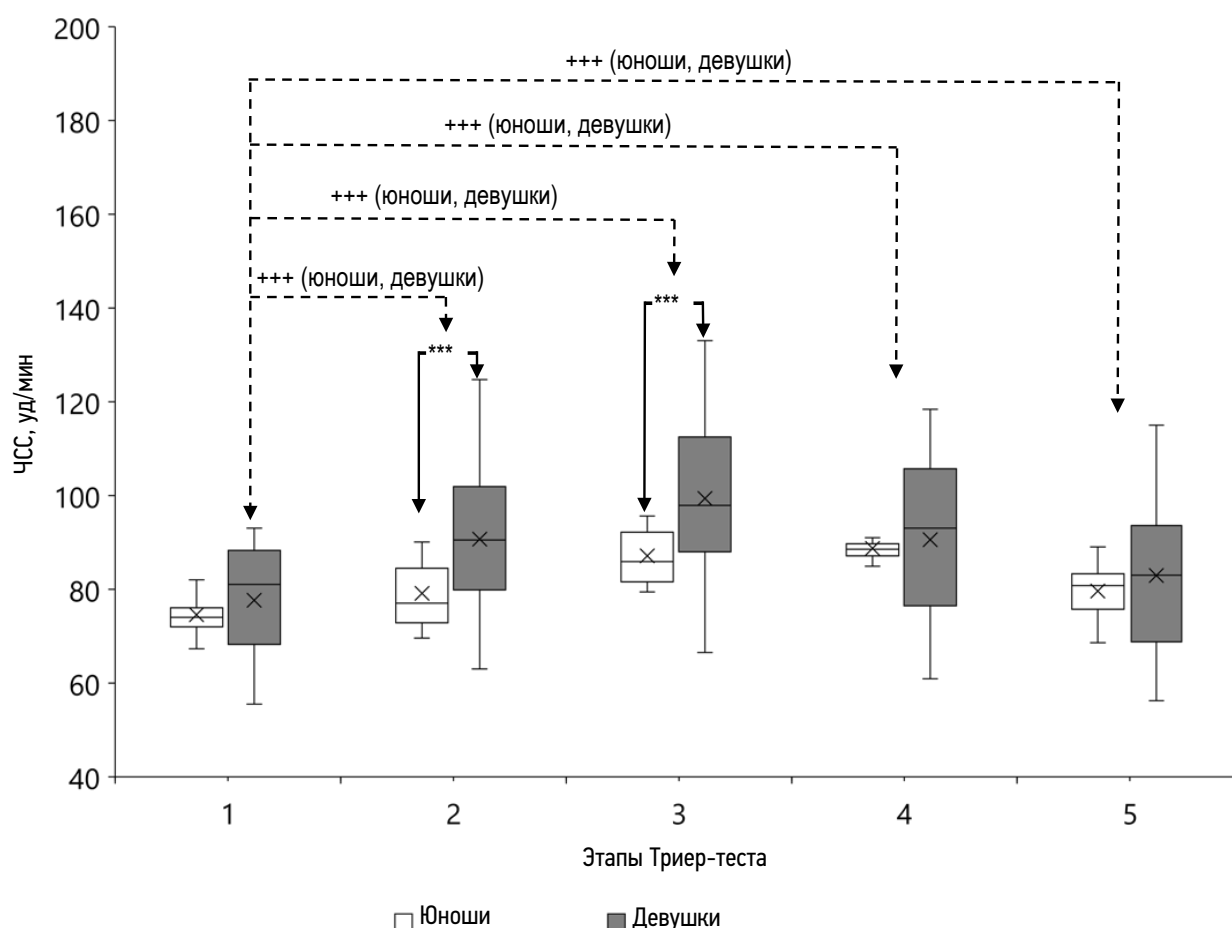


Рис. 3. Изменение частоты сердечных сокращений (ЧСС) у юношей и девушек в зависимости от фазы Тrier-теста: *** статистически значимые различия по полу при $p < 0,001$ (критерий Манна–Уитни); +++ — статистически значимые различия с первым этапом (контроль) Тrier-теста, $p < 0,001$ (критерий Вилкоксона); границы боксов соответствуют процентильм Q25 и Q75; линия внутри бокса — медиана; крестик в боксе — средние, верхние и нижние отклонения (максимальные и минимальные значения).

Fig. 3. Changes in heart rate in males and females depending on the Trier test phase: *** statistically significant sex-related differences at $p < 0.001$ (Mann–Whitney test); +++ statistically significant differences compared with the first phase (control) of the Trier test at $p < 0.001$ (Wilcoxon test); box boundaries correspond to the 25th and 75th percentiles; the line inside the box represents the median; the cross inside the box denotes the mean; whiskers indicate maximum and minimum values.

до начала действия экспериментальных раздражителей у девушек, по сравнению с юношами, при меньшей величине AVNN мы отметили более выраженное парасимпатическое влияние на сердечный ритм по динамическому ряду RMSSD и pNN50. У девушек это также сопровождалось пониженной мощностью низкочастотной составляющей спектра, что указывало на снижение активности симпатического отдела вегетативной нервной системы. Стоит отметить, что аналогичные половые особенности вариабельности сердечного ритма зарегистрировали И.Г. Кретьова и соавт. [21] на выборке студентов 19–22 лет. Известно, что вазомоторные волны или медленные волны первого порядка характеризуют симпатическую активацию, а связанная с их величиной характеристика IBB указывает на баланс симпатoadреналовых и вагусных влияний в регуляции сердечного ритма. Таким образом, в нашем исследовании у девушек на старте Тrier-теста фиксировали некоторое преобладание активностей анергической [22] или трофотропной системы.

Некоторые авторы используют значения AVNN [23] и/или SI [6] для кластеризации выборки участников эксперимента по критерию преобладающего типа вегетативной регуляции сердечного ритма:

- на симпатотоников (AVNN ≤ 700 мс; SI ≥ 151);
- нормотоников (AVNN в диапазоне 700–900 мс; SI в диапазоне 50–150);
- ваготоников (AVNN ≥ 900 мс; SI ≤ 49).

В нашем исследовании по критериям средней длины кардиоинтервала и стресс-индексу участники эксперимента на входе (первый этап Тrier-теста) имели нормотонические признаки вегетативной регуляции, что способствовало достижению целей эксперимента, поскольку первая фаза стресс-теста выступала в качестве контрольной.

Во второй предупреждающей фазе Тrier-теста, когда испытуемые получили задание на подготовку презентации и кратко ознакомлены с задачами и процедурой эксперимента, даже на фоне снижения неопределённости

Таблица 3. Динамика геометрических и спектральных показателей variability сердечного ритма по фазам Тrier-теста**Table 3.** Dynamics of geometric and spectral parameters of heart rate variability by Trier test phases

Группы	Фазы Триер-теста					Сравнения с фоновой записью ²
	Первая (фоновая)	Вторая	Третья	Четвёртая	Пятая	
Разность между максимальными и минимальными значениями кардиоинтервалов, мс						
1-я группа	199,0 [175,0; 231,0]	201,0 [188,0; 242,0]	245,0 [229,0; 290,0]	201,0 [189,0; 225,0]	210,3 [158,0; 257,0]	3 (<i>p</i> <0,001)
2-я группа	196,5 [188,0; 222,0]	260,5 [179,0; 331,0]	271,0 [221,3; 336,5]	245,0 [200,3; 349,5]	246,0 [224,3; 297,5]	2–5 (<i>p</i> <0,001)
Сравнения по полу ¹	<i>U</i> =726; <i>Z</i> =–0,52; <i>p</i> =0,603	<i>U</i> =625; <i>Z</i> =–1,51; <i>p</i> =0,130	<i>U</i> =679; <i>Z</i> =–0,97; <i>p</i> =0,328	<i>U</i> =451; <i>Z</i> =–3,21; <i>p</i> =0,001	<i>U</i> =491; <i>Z</i> =–2,82; <i>p</i> =0,004	—
Мощность спектра высокочастотного компонента вариабельности, мс ²						
1-я группа	773,0 [721,0; 922,0]	333,5 [189,6; 452,0]	632,0 [518,0; 881,0]	381,0 [309,5; 754,0]	520,6 [286,9; 645,2]	2, 5 (<i>p</i> <0,001); 3 (<i>p</i> =0,023); 4 (<i>p</i> =0,001)
2-я группа	750,2 [436,2; 880,5]	385,7 [271,8; 475,1]	592,7 [401,3; 823,7]	390,4 [216,4; 583,1]	692,7 [467,6; 1001,6]	2 (<i>p</i> <0,001); 4 (<i>p</i> =0,001)
Сравнения по полу ¹	<i>U</i> =657; <i>Z</i> =1,19; <i>p</i> =0,231	<i>U</i> =683; <i>Z</i> =–0,94; <i>p</i> =0,346	<i>U</i> =640; <i>Z</i> =1,36 <i>p</i> =0,172	<i>U</i> =679; <i>Z</i> =0,98; <i>p</i> =0,326	<i>U</i> =494; <i>Z</i> =–2,79; <i>p</i> =0,005	—
Мощность спектра низкочастотного компонента вариабельности, мс ²						
1-я группа	394,0 [268,1; 574,1]	571,0 [455,0; 784,2]	1567,0 [983,0; 1987,0]	1314,2 [876,7; 1747,0]	665,5 [412,9; 784,6]	2 (<i>p</i> =0,001); 3–5 (<i>p</i> <0,001)
2-я группа	720,8 [492,1; 865,9]	778,4 [584,7; 1031,0]	2161,7 [1555,0; 3000,4]	1903,5 [1384,6; 2311,9]	848,7 [649,3; 1166,2]	2 (<i>p</i> =0,035); 3, 4 (<i>p</i> <0,001); 5 (<i>p</i> =0,017)
Сравнения по полу ¹	<i>U</i> =364; <i>Z</i> =4,08 <i>p</i> <0,001	<i>U</i> =478; <i>Z</i> =2,94; <i>p</i> =0,003	<i>U</i> =466; <i>Z</i> =3,06; <i>p</i> =0,002	<i>U</i> =510; <i>Z</i> =2,63; <i>p</i> =0,008	<i>U</i> =508; <i>Z</i> =2,65; <i>p</i> =0,008	—
Мощность спектра очень низкочастотного компонента вариабельности, мс ²						
1-я группа	231,0 [153,9; 411,0]	289,0 [137,5; 741,8]	296,4 [187,8; 742,0]	257,8 [169,0; 476,0]	256,4 [153,9; 481,0]	3 (<i>p</i> =0,013)
2-я группа	222,0 [143,9; 296,2]	254,8 [117,9; 539,2]	371,2 [254,9; 576,8]	293,4 [225,6; 555,7]	229,6 [138,8; 625,5]	2 (<i>p</i> =0,041); 3 (<i>p</i> <0,001); 4 (<i>p</i> =0,001); 5 (<i>p</i> =0,015)
Сравнения по полу ¹	<i>U</i> =682; <i>Z</i> =–0,95; <i>p</i> =0,341	<i>U</i> =720; <i>Z</i> =–0,57; <i>p</i> =0,562	<i>U</i> =712; <i>Z</i> =0,65 <i>p</i> =0,511	<i>U</i> =666; <i>Z</i> =1,11; <i>p</i> =0,267	<i>U</i> =749; <i>Z</i> =0,28; <i>p</i> =0,772	—

Примечание. Результаты представлены в виде Me [Q25; Q75], где Me — медиана, Q25 и Q75 — 25-й и 75-й процентиля.

¹ по критерию Манна–Уитни; ² по критерию Вилкоксона.

и до начала действия фактора социальной оценки отмечено серьёзное повышение субъективных стресс-ощущений, особенно выраженное у девушек. Такое повышение тревожных переживаний сопровождалось смещением вегетативного равновесия в сторону симпатической нервной системы по показателям средней длины кардиоинтервала и мощности вазомоторных волн. Д.А. Дмитриев и соавт. [9] рассматривали AVNN в качестве наиболее надёжного и информативного показателя симпатовегетативного баланса при психологических нагрузках, который, согласно их данным, имеет тенденцию к симпатическому сокращению в экспериментах с индуцированным стрессом. В нашем исследовании стресс-индекс — интегральный показатель геометрических характеристик вариационной пульсометрии — в упреждающей фазе

возрастал у девушек и оставался неизменным у юношей. При этом квартильный размах показателей SI у девушек, как и ЧСС, был существенно больше, что, на наш взгляд, свидетельствовало о большей гетерогенности психофизиологических характеристик участниц исследования. Выраженное смещение вегетативного баланса в регуляции сердечной деятельности в сторону симпатической нервной системы, а также активацию регуляторных механизмов со стороны центральной нервной системы в упреждающей фазе девушки продемонстрировали и по интегральным мощностным характеристикам — ИВВ и IC. В целом можно отметить, что подготовка к действию стрессоров социальной оценки вызывала большие изменения в организме девушек, что отразилось и в резком снижении у них показателей variability ритма

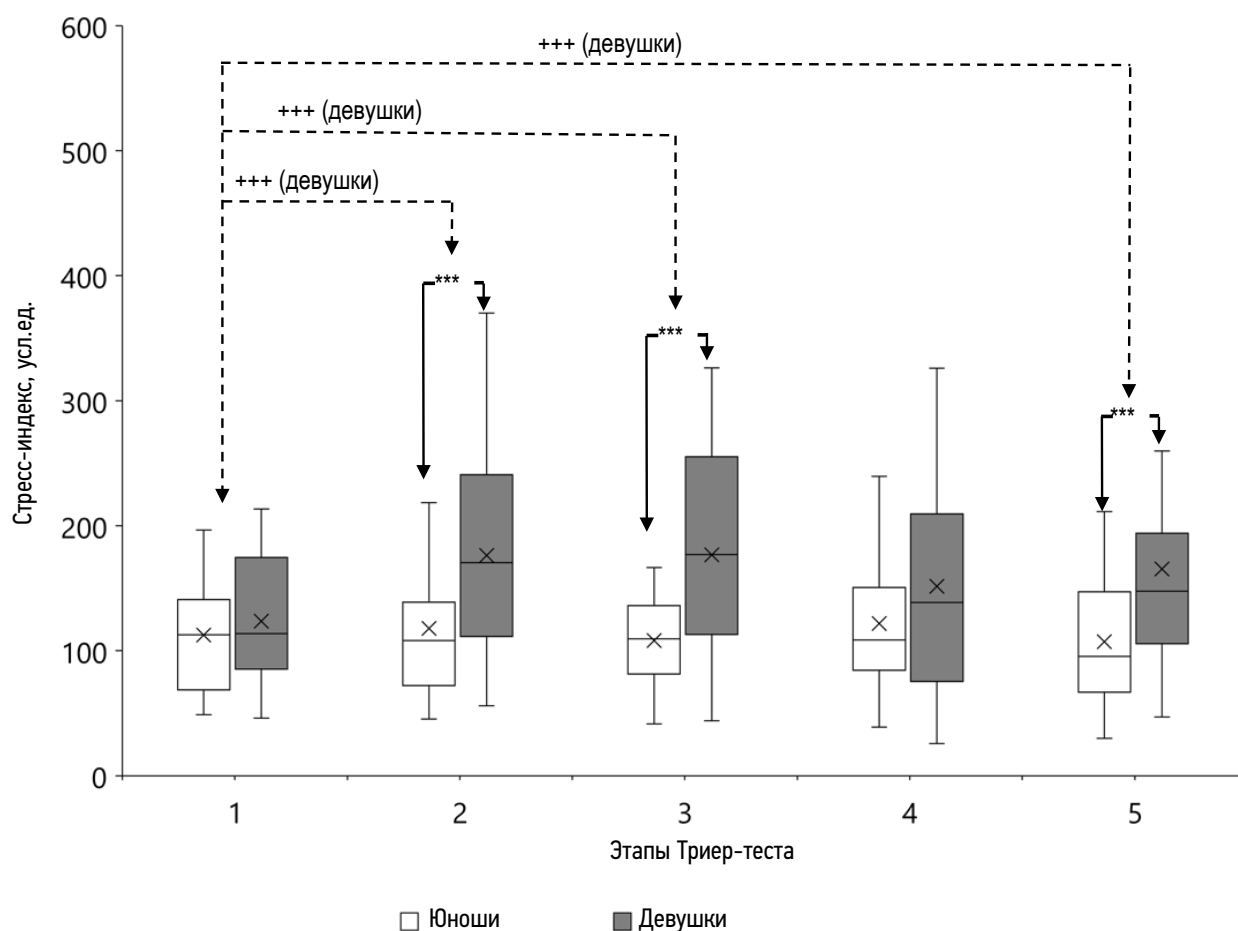


Рис. 4. Изменение значений стресс-индекса у юношей и девушек в зависимости от фазы Триер-теста: *** статистически значимые различия по полу при $p < 0,001$ (критерий Манна-Уитни); +++ — статистически значимые различия с первым этапом (контроль) Триер-теста, $p < 0,001$ (критерий Вилкоксона); границы боксов соответствуют процентильм Q25 и Q75; линия внутри бокса — медиана; крестик в боксе — средние, верхние и нижние отклонения (максимальные и минимальные значения).

Fig. 4. Changes in the stress index in males and females depending on the Trier test phase: *** statistically significant sex-related differences at $p < 0.001$ (Mann–Whitney test); +++ statistically significant differences compared with the first phase (control) of the Trier test at $p < 0.001$ (Wilcoxon test); box boundaries correspond to the 25th and 75th percentiles; the line inside the box represents the median; the cross inside the box denotes the mean; whiskers indicate maximum and minimum values.

(SDNN, RMSSD и pNN50) во второй фазе Триер-теста.

Реактивные этапы Триер-теста (третий и четвёртый) имели в обеих группах преимущественно сходную динамику характеристик variability сердечного ритма. Как в фазе самопрезентации, так и в фазе обратного счёта максимально возрастала активность симпатического отдела вегетативной нервной системы. При этом, рассматривая показатели мощности очень низкочастотных волн, можно предполагать изменения в надсегментарном уровне регуляции, тесно связанном с аффективными переживаниями и функциональным состоянием коры больших полушарий головного мозга [20]. Значение VLF в качестве маркера активации церебральных эрготропных влияний служит характеристикой интенсивности метаболических процессов и указывает на уровень энергодефицитности в определённом функциональном состоянии человека. Повышение мощности медленных волн второго порядка, зафиксированное в нашем исследовании в реактивных

фазах Триер-теста (особенно третьей), свидетельствовало о гиперреактивных реакциях организма и повышении влияния корковых структур на стволовые центры регуляции сердечно-сосудистой системы. Однако аналогично предупреждающей (антиципирующей) фазе привлекают внимание половые отличия в динамике показателей variability, которые характеризуют вагусные влияния на сердечный ритм. Так, у девушек в реактивных стадиях отмечено снижение variability и вклада блуждающего нерва, тогда как у юношей, напротив, максимальные значения парасимпатической активности отмечены на фоне наибольших субъективных переживаний стресса по ВАШ в третьей и четвёртой фазах Триер-теста. У юношей такая реакция variability сердечного ритма позволяет предполагать проявления акцентированного антагонизма в симпатических и парасимпатических взаимодействиях на пике острого индуцированного психосоциального стресса.

В пятой фазе при сохранении умеренного

субъективного уровня стресса мы наблюдали возвращение симпато-парасимпатического регуляторного равновесия у юношей и девушек с некоторым симпато-адреналовым преобладанием по интегральным характеристикам variability сердечного ритма, что, в свою очередь, могло являться последствием пиковой активации гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси на предыдущих этапах Триер-теста, а также сопровождаться длительным периодом восстановления, занимающим более 5 мин.

Описывая половые особенности реакций сердечно-сосудистой системы на психосоциальный стресс, мы учитывали, что фактор пола сам по себе является определяющим для формирования картины variability сердечного ритма. S. Sammito и соавт. [24] считают, что характерные признаки variability сердечного ритма у женщин ассоциированы со спецификой нейроэндокринной регуляции организма, изменяющейся по стадиям менструального цикла. В нашем исследовании мы попытались частично нивелировать влияние макроритмов женского организма на variability сердечного ритма и психическую реактивность, включая в исследование девушек на фолликулярной стадии менструального цикла.

При интерпретации результатов реактивных этапов Триер-теста следует учитывать и тот факт, что, как и в работах Д.А. Дмитриева и соавт. [9], С. Spellenberg и соавт. [10], в нашем исследовании самопрезентация и обратный счёт сопровождались активными дыхательными движениями, обусловленными речевой активностью участников эксперимента. При этом острый психосоциальный стресс способен вызывать изменения ритма и глубины дыхания, а также характера кардиореспираторного взаимодействия даже в «молчаливых» фазах Триер-теста. Следовательно, изменение паттернов дыхания в период острого психосоциального стресса, особенно в реактивных «речевых» фазах, могло внести свой вклад и повлиять на характеристики variability сердечного ритма.

На всех этапах Триер-теста у девушек отмечен более широкий квартильный размах значений ЧСС и SI, что указывает на гетерогенность физиологических реакций участниц исследования. Известно, что режим автономного контроля variability сердечного ритма может варьировать в зависимости от природы стрессора. Так, H.G. Kim и соавт. [18] установили, что реакция на ортостатическую пробу характеризовалась минимальными индивидуальными отличиями, тогда как психогенные стимулы приводили к широкому разбросу индивидуальных показателей variability сердечного ритма. В нашем исследовании динамика её показателей при психосоциальном стрессе в целом соответствовала паттернам, наблюдаемым при остром стрессе, индуцированном физической нагрузкой [25]. Это не позволяет выделить отдельные маркерные компоненты

variability сердечного ритма, однозначно отражающие влияние именно психологических стрессоров на сердечную деятельность.

Ограничения исследования

В качестве ограничений настоящего исследования можно отметить отсутствие определения типа высшей нервной деятельности (темперамента) и дифференциации испытуемых на группы с учётом особенностей свойств нервной системы, экстраверсии и нейротизма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, у молодых людей наблюдали трофотропный характер изменений активности регуляторных систем при умеренном торможении вагусных влияний на фоне симпатоадреналовой активации во время острого психосоциального стресса. В свою очередь, у девушек стресс-изменения variability сердечного ритма имели более выраженный эрготропный характер.

Кроме того, следует отметить, что динамика характеристик variability сердечного ритма в лабораторных условиях острого индуцированного психосоциального стресса информативно отражает функциональное состояние организма и изменения симпато-парасимпатической регуляции сердечной деятельности юношей и девушек. При этом выделение маркеров, специфичных для острого психосоциального стресса и отличных от изменений variability сердечного ритма, возникающих под воздействием стрессоров иной природы (например, физической нагрузки), затруднено и требует дальнейших, более детальных исследований.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. С.Н. Толстогузов — формулирование и развитие идеи, основной цели и задач исследования, участие в исследовательском процессе: проведение экспериментов, сбор данных, сбор и анализ образцов биологических тканей и жидкостей, лабораторные исследования, инструментальная диагностика, разработка или проектирование методологии исследования; создание моделей, общий контроль и руководство планированием и осуществлением исследовательской деятельности, включая наставничество, подготовка, создание и/или представление опубликованной работы, в частности написание первоначального черновика рукописи (включая основной перевод, если применимо); К.А. Шикова — участие в исследовательском процессе: проведение экспериментов, сбор данных, сбор и анализ образцов биологических тканей и жидкостей, лабораторные исследования, инструментальная диагностика, управление процессами и координация планирования и проведения исследования; В.М. Грук — участие в исследовательском процессе: проведение экспериментов, сбор данных, сбор и анализ образцов биологических тканей и жидкостей, лабораторные исследования, инструментальная диагностика; О.Н. Лепунова — участие в исследовательском процессе: проведение экспериментов, сбор данных, сбор и анализ образцов биологических тканей и жидкостей, лабораторные исследования, инструментальная диагностика, применение статистических, математических, вычислительных или других формальных методов для анализа или обобщения данных исследования. 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. Исследование одобрено этическим комитетом Тюменского государственного университета (протокол № 3 от 11.09.2024).

Согласие на публикацию. Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом.

Источники финансирования. Отсутствуют.

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

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

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима.

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: S.N. Tolstoguzov: conceptualization, investigation, methodology, supervision, data curation, writing—original draft; K.A. Shikova: investigation, project administration; V.M. Gruk: investigation; O.N. Lepunova: investigation, formal analysis. 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 was approved by the Ethics Committee of Tyumen State University (Protocol No. 3, September 11, 2024).

Consent to publication: All participants provided written informed consent, which had been approved by the Ethics Committee as part of the study protocol.

Funding sources: No funding.

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

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

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work.

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. Badr Y, Tariq U, Al-Shargie F, et al. A review on evaluating mental stress by deep learning using EEG signals. *Neural Computing and Applications*. 2024;36(21):12629–12654. doi: 10.1007/s00521-024-09809-5 EDN: INCXIW
2. Bhatnagar S, Khandelwal S, Jain S, Vyawahare H. A deep learning approach for assessing stress levels in patients using electroencephalogram signals. *Decision Analytics Journal*. 2023;7:100211. doi: 10.1016/j.dajour.2023.100211 EDN: WAGXAJ
3. Langer K, Jentsch VL, Wolf OT. Effects of acute stress on cognitive emotion regulation and underlying neuroendocrine mechanisms. *Psychoneuroendocrinology*. 2024;160:106722. doi: 10.1016/j.psyneuen.2023.106722 EDN: QMDCBJ
4. Kausche FM, Carsten HP, Sobania KM, Riesel A. Fear and safety learning in anxiety- and stress-related disorders: an updated meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2025;169:105983. doi: 10.1016/j.neubiorev.2024.105983 EDN: QEZEKG
5. Gellisch M, Bablok M, Brand-Saberi B, Schäfer T. Neurobiological stress markers in educational research: a systematic review of physiological insights in health science education. *Trends in Neuroscience and Education*. 2024;37:100242. doi: 10.1016/j.tine.2024.100242 EDN: FGIMMY
6. Demin DB. Response of the cardiovascular system to heart rate variability biofeedback intervention in adolescents with different autonomic nervous tone living in northern and southern regions. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(5):375–384. doi: 10.17816/humeco321968 EDN: IHVBQW
7. Krivonogova EV, Krivonogova OV, Poskotinova LV. Individual-typological features of the reactivity of EEG rhythms, cardiovascular system and lactoferrin level in the conditions of general air cooling of a person. *Human Physiology*. 2021;47(5):67–76. doi: 10.31857/S0131164621040068 EDN: MXAAAL
8. Dimitriev DA, Saperova EV, Dimitriev AD, Salimov ER. The use of nonlinear parameters of heart rate variability for stress detection. *Journal of Medical and Biological Research*. 2021;9(3):265–274. doi: 10.37482/2687-1491-Z064 EDN: FZKHBC
9. Pereira T, Almeida PR, Cunha JPS, Aguiar A. Heart rate variability metrics for fine-grained stress level assessment. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2017;148:71–80. doi: 10.1016/j.cmpb.2017.06.018 EDN: YFWBRL
10. Spellenberg C, Heusser P, Büssing A, et al. Binary symbolic dynamics analysis to detect stress-associated changes of nonstationary heart rate variability. *Scientific Reports*. 2020;10(1):1–10. doi: 10.1038/s41598-020-72034-2 EDN: RXXBTC
11. Kirschbaum C, Pirke KM, Hellhammer DH. The 'Trier social stress test' — a tool for investigating psychobiological stress responses in a laboratory setting. *Neuropsychobiology*. 1993;28(1-2):76–81. doi: 10.1159/000119004
12. Vanhollenbeke G, De Smet S, De Raedt R, et al. The neural correlates of psychosocial stress: a systematic review and meta-analysis of spectral analysis EEG studies. *Neurobiology of Stress*. 2022;18:100452. doi: 10.1016/j.ynstr.2022.100452 EDN: QOCFUG
13. Pashkov AA, Dakhtin IS, Kharisova NS. Electroencephalographic biomarkers of experimentally induced stress. *Bulletin of the South Ural State University: series "Psychology"*. 2017;10(4):68–82. doi: 10.14529/psy170407 EDN: YKYSPO
14. Frisch JU, Häusser JA, Mojzisch A. The Trier social stress test as a paradigm to study how people respond to threat in social interactions. *Frontiers in Psychology*. 2015;6:14. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00014
15. Castaldo R, Montesinos L, Melillo P, et al. Ultra-short term HRV features as surrogates of short term HRV: a case study on mental stress detection in real life. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2019;19(1):1–13. doi: 10.1186/s12911-019-0742-y EDN: TSGZHU
16. Tharion E, Parthasarathy S, Neelakantan N. Short-term heart rate variability measures in students during examinations. *National Medical Journal of India*. 2009;22(2):63–66.
17. Lucini D, Norbiato G, Clerici M, Pagani M. Hemodynamic and autonomic adjustments to real life stress conditions in humans. *Hypertension*. 2002;39(1):184–188. doi: 10.1161/hy0102.100784
18. Kim HG, Cheon EJ, Bai DS, et al. Stress and heart rate variability: a meta-analysis and review of the literature. *Psychiatry Investigation*. 2018;15(3):235–245. doi: 10.30773/pi.2017.08.17

19. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task force of the European Society of cardiology and the North American Society of pacing and electrophysiology. *European Heart Journal*. 1996;17:354–381. Available from: <https://www.escardio.org/static-file/Escardio/Guidelines/>
20. Baevsky RM, Ivanov GG, Chireikin LV, et al. Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems (methodological recommendations). *Journal of Arrhythmology*. 2001;(24):65–87. (In Russ.) Available from: <http://www.vestiar.ru/atts/1267/24baevsky.pdf>
21. Kretova IG, Vedyasova OA, Komarova MV, Shiryaeva OI. Analysis and forecasting of reserve capabilities of the organism of students according to indices of heart rate variability. *Hygiene and Sanitation*. 2019;96(6):556–561. doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-6-556-561 EDN: ZAPEEB
22. Bek AT, Emeri G. *Anxiety disorders and phobias: A cognitive approach*. Saint Petersburg: Dialektika; 2020. (In Russ.) ISBN: 978-5-907203-51-8 Available from: <https://djvu.online/file/w8vyYRLn11kQ?ysclid=mdylwz3hle331630133>
23. Spitsin AP, Spitsina TA. Heart rate variability under conditions of neuropsychic stress. *Hygiene and Sanitation*. 2011;(4):65–68. EDN: ODSMYN
24. Sammito S, Böckelmann I. Factors influencing heart rate variability. *International Cardiovascular Forum Journal*. 2016;6:18–22. doi: 10.17987/icfj.v6i0.242
25. Storniole JL, Correale L, Buzzachera CF, Peyré-Tartaruga LA. Editorial: New Perspectives and Insights on Heart Rate Variability in Exercise and Sports. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2025;7:1574087. doi: 10.3389/fspor.2025.1574087 EDN: KUNSLA

ОБ АВТОРАХ

*** Толстогузов Сергей Николаевич**, канд. биол. наук;
адрес: Россия, 625003, Россия, Тюмень, ул. Володарского, д. 6;
ORCID: 0000-0003-2332-7543;
eLibrary SPIN: 8187-1821;
e-mail: s.n.tolstoguzov@utmn.ru

Шикова Ксения Алексеевна;
ORCID: 0009-0004-4270-2390;
eLibrary SPIN: 8734-1071;
e-mail: stud0000193319@utmn.ru

Грук Вячеслав Михайлович;
ORCID: 0009-0004-9584-2987;
e-mail: stud0000279574@utmn.ru

Лепунова Ольга Николаевна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0001-5809-5805;
eLibrary SPIN: 4898-7014;
e-mail: o.n.lepunova@utmn.ru

AUTHORS' INFO

Sergey N. Tolstoguzov, Cand. Sci. (Biology);
address: 6 Volodarskogo st, Tyumen, Russia, 625003;
ORCID: 0000-0003-2332-7543;
eLibrary SPIN: 8187-1821;
e-mail: s.n.tolstoguzov@utmn.ru

Ksenia A. Shikova;
ORCID: 0009-0004-4270-2390;
eLibrary SPIN: 8734-1071;
e-mail: stud0000193319@utmn.ru

Vyacheslav M. Gruk;
ORCID: 0009-0004-9584-2987;
e-mail: stud0000279574@utmn.ru

Olga N. Lepunova, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0001-5809-5805;
eLibrary SPIN: 4898-7014;
e-mail: o.n.lepunova@utmn.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco676787>

EDN: FPVIGB

Pregnancy and Alcohol: Parameters of Endogenous Intoxication Depending on Blood Phosphatidylethanol Levels

Natalya V. Semenova, Elizaveta A. Novikova, Olga A. Nikitina, Anait Yu. Maranian, Anastasia N. Karacheva, Sergey I. Kolesnikov, Tatyana A. Bairova, Aleksey V. Belskikh, Elena V. Belyaeva, Alexandra Yu. Sambyalova, Oksana A. Ershova, Natalia V. Protopopova, Lubov I. Kolesnikova

Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Endotoxycosis is a multifactorial pathophysiological process that can significantly affect the mother–placenta–fetus system during gestation. Alcohol consumption is a potential aggravating factor for maternal health, associated with biochemical disturbances both in the mother and the fetus, and may increase the risk of endotoxycosis.

AIM: The work aimed to assess endogenous intoxication in women at different stages of pregnancy by measuring the concentration of middle molecules in venous blood and its association with serum phosphatidylethanol (PEth) levels.

METHODS: Endogenous intoxication was evaluated by middle molecules levels in pregnant women ($n=163$). In accordance with PEth 16:0/18:1 concentrations, groups of women were identified according to alcohol consumption levels: group 1 with PEth ≤ 8 ng/mL (non-drinkers, control); group 2 with 8–45 ng/mL (drinking less than one dose); group 3 with ≥ 45 ng/mL (drinking more than one dose). Measurements were performed at 6–12, 18–22, 28–32, and 38–40 weeks of gestation. Plasma samples were used for analysis. Middle molecules were determined at $\lambda=238, 254, 260$, and 280 nm, followed by calculation of distribution coefficients (238/260, 238/280, 280/254).

RESULTS: Compared with controls, significant reductions in middle molecules levels ($\lambda=238$ nm) were observed in alcohol-consuming women at 28–32 weeks in both group 2 ($p=0.013$) and group 3 ($p=0.003$). Before delivery, middle molecules levels were lower in group 3 compared with controls ($p=0.004$). A significant decrease in middle molecules levels ($\lambda=280$ nm) was detected in group 3 compared with group 2 ($p=0.017$). In alcohol-consuming women, regardless of PEth 16:0/18:1 levels, significantly lower values of the peptide–nucleotide distribution coefficient 238/260 ($p=0.007$ and $p<0.001$ in groups 2 and 3, respectively) and aromaticity coefficient 238/280 ($p=0.002$ and $p<0.001$ in groups 2 and 3, respectively) were observed compared with controls at 28–32 weeks. Before delivery, decreases in these coefficients were noted only in group 2 ($p=0.006$ for 238/260; $p=0.015$ for 238/280). The 280/254 distribution coefficient was higher in alcohol-consuming women at 28–32 weeks compared with controls ($p=0.003$ and $p=0.014$ in groups 2 and 3, respectively).

CONCLUSION: The findings indicate reduced levels of specific fractions of middle-molecular toxins reflecting both anabolic and catabolic pools in alcohol-consuming women, which may be associated with serious metabolic disturbances in the mother–placenta–fetus system. Distribution coefficients proved to be sensitive markers for monitoring endogenous intoxication in pregnant women, suggesting a predominance of catabolic processes with accumulation of catabolic products and a possible increased risk of preterm delivery, regardless of alcohol dose.

Keywords: endogenous intoxication; middle molecules; phosphatidylethanol; pregnancy at different stages.

To cite this article:

Semenova NV, Novikova EA, Nikitina OA, Maranian AY, Karacheva AN, Kolesnikov SI, Bairova TA, Belskikh AV, Belyaeva EV, Sambyalova AY, Ershova OA, Protopopova NV, Kolesnikova LI. Pregnancy and Alcohol: Parameters of Endogenous Intoxication Depending on Blood Phosphatidylethanol Levels. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(7):494–503. DOI: 10.17816/humeco676787 EDN: FPVIGB

Received: 03.03.2025

Accepted: 21.07.2025

Published online: 12.08.2025

Беременность и алкоголь: параметры эндогенной интоксикации в зависимости от уровня фосфатидилэтанола в крови

Н.В. Семёнова, Е.А. Новикова, О.А. Никитина, А.Ю. Марьянн, А.Н. Карачева, С.И. Колесников, Т.А. Баирова, А.В. Бельских, Е.В. Беляева, А.Ю. Самбялова, О.А. Ершова, Н.В. Протопопова, Л.И. Колесникова

Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека, Иркутск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Эндотоксикоз — многогранный патофизиологический процесс, способный оказать большое влияние на систему «мать—плацента—плод» во время гестации. Злоупотребление спиртосодержащими продуктами — вероятный отягчающий фактор для здоровья беременных, который может сопровождаться биохимическими нарушениями как у матери, так и у плода, в том числе повышать риск развития эндотоксикоза.

Цель. Оценить эндогенную интоксикацию у женщин в разные сроки беременности по содержанию молекул средней массы в венозной крови и её зависимость от уровня сывороточного фосфатидилэтанола (PEth).

Материалы и методы. Оценивали уровень эндогенной интоксикации по содержанию молекул средней массы у беременных ($n=163$). В зависимости от концентрации PEth 16:0/18:1 были выделены группы женщин, употребляющих разные дозы алкоголя: 1-я группа — значение PEth ≤ 8 нг/мл (непьющие, контроль); 2-я группа — от 8 до 45 (пьющие менее одной дозы); 3-я группа — ≥ 45 (пьющие более одной дозы). Показатели 4 раза оценивали на сроках гестации 6–12, 18–22, 28–32, 38–40 недель. В качестве материала для исследования использовали плазму крови. Уровень молекул средней массы определяли при $\lambda=238, 254, 260$ и 280 нм с последующим расчётом коэффициентов распределения (238/260, 238/280, 280/254).

Результаты. По сравнению с контролем установлено достоверное снижение уровня молекул средней массы ($\lambda=238$ нм) у беременных, употребляющих алкоголь на сроке 28–32 недели как во 2-й ($p=0,013$), так и в 3-й ($p=0,003$) группе. Перед родами отмечается более низкий уровень молекул средней массы в 3-й группе по сравнению с контролем ($p=0,004$). Выявлено достоверное снижение уровня молекул средней массы ($\lambda=280$ нм) в 3-й группе беременных по сравнению со 2-й группой ($p=0,017$). У женщин, употребляющих алкоголь, независимо от уровня PEth 16:0/18:1, достоверно значимо более низкие значения пептидно-нуклеотидного коэффициента распределения 238/260 ($p=0,007$ и $p<0,001$ во 2-й и 3-й группах соответственно) и коэффициента ароматичности 238/280 нм ($p=0,002$ и $p<0,001$ во 2-й и 3-й группах соответственно) по сравнению с контрольной группой на 28–32-й неделе беременности. Перед родами снижение данных коэффициентов отмечено только во 2-й группе ($p=0,006$ для 238/260 и $p=0,015$ для 238/280). В группах пьющих женщин коэффициент распределения 280/254 нм был выше на сроке 28–32 недели по сравнению с контролем ($p=0,003$ и $p=0,014$ во 2-й и 3-й группах соответственно).

Заключение. Полученные результаты указывают на снижение содержания отдельных фракций среднемолекулярных токсинов, отображающих как анаболический, так и катаболический пулы, в группе женщин, употребляющих алкоголь, что может быть связано с развитием серьёзных метаболических нарушений в системе «мать—плацента—плод». Коэффициенты распределения оказались чувствительными маркерами для отслеживания уровня эндогенной интоксикации в группах беременных, свидетельствуя о превалировании катаболических процессов с накоплением продуктов катаболизма и возможным риске преждевременных родов при употреблении алкоголя независимо от дозы.

Ключевые слова: эндогенная интоксикация; молекулы средней массы; фосфатидилэтанол; беременность разных сроков.

Как цитировать:

Семёнова Н.В., Новикова Е.А., Никитина О.А., Марьянн А.Ю., Карачева А.Н., Колесников С.И., Баирова Т.А., Бельских А.В., Беляева Е.В., Самбялова А.Ю., Ершова О.А., Протопопова Н.В., Колесникова Л.И. Беременность и алкоголь: параметры эндогенной интоксикации в зависимости от уровня фосфатидилэтанола в крови // Экология человека. 2025. Т. 32, № 7. С. 494–503. DOI: 10.17816/humeco676787 EDN: FPGVGB

妊娠与饮酒：血液中磷脂酰乙醇水平与内源性中毒参数的关系

Natalya V. Semenova, Elizaveta A. Novikova, Olga A. Nikitina, Anait Yu. Marianian, Anastasia N. Karacheva, Sergey I. Kolesnikov, Tatyana A. Bairova, Aleksey V. Belskikh, Elena V. Belyaeva, Alexandra Yu. Sambyalova, Oksana A. Ershova, Natalia V. Protopopova, Lubov I. Kolesnikova

Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russia

摘要

论证。内源性中毒是一种多方面的病理生理过程，在妊娠期间可能对“母体-胎盘-胎儿”系统产生显著影响。饮酒是危害孕妇健康的潜在加重因素，可能伴随母体和胎儿的生化紊乱，并增加内源性中毒发生的风险。

目的。目的：根据静脉血中中分子物质的含量，评估不同妊娠阶段女性的内源性中毒水平，并探讨其与血清磷脂酰乙醇（phosphatidylethanol, PEth）水平的关系。

材料与方法。通过检测孕妇（ $n=163$ ）静脉血中中分子物质的含量来评估内源性中毒水平。根据PEth 16:0/18:1浓度，将孕妇划分为饮酒剂量不同的三组：第1组为PEth ≤ 8 ng/mL（不饮酒，对照组），第2组为8–45 ng/mL（饮酒量少于1个剂量单位），第3组为 ≥ 45 ng/mL（饮酒量多于1个剂量单位）。在妊娠6–12、18–22、28–32和38–40周四个阶段，对中分子物质进行了四次评估。研究材料为血浆。在 $\lambda=238$ 、254、260和280 nm下测定中分子物质的水平，随后计算分布系数（238/260、238/280、280/254）。

结果。与对照组相比，孕28–32周时饮酒孕妇在第2组（ $p=0.013$ ）和第3组（ $p=0.003$ ）均表现为 $\lambda=238$ nm中分子物质水平显著降低。临产前，第3组中分子物质水平低于对照组（ $p=0.004$ ）。发现第3组孕妇的中分子物质水平（ $\lambda=280$ nm）较第2组显著降低（ $p=0.017$ ）。在孕28–32周时，饮酒孕妇无论PEth 16:0/18:1水平高低，其肽-核苷酸分布系数238/260（第2组 $p=0.007$ ，第3组 $p<0.001$ ）和芳香性分布系数238/280（第2组 $p=0.002$ ，第3组 $p<0.001$ ）均较对照组显著降低。临产前，仅在第2组观察到这些系数的下降（238/260的 $p=0.006$ ，238/280的 $p=0.015$ ）。在饮酒组中，孕28–32周时280/254分布系数高于对照组（第2组 $p=0.003$ ；第3组 $p=0.014$ ）。

结论。结果显示，饮酒孕妇中分子毒素的某些馏分反映合成代谢与分解代谢库，其含量降低，这可能与“母体-胎盘-胎儿”系统发生严重代谢紊乱有关。分布系数对内源性中毒水平的监测较为敏感，表明分解代谢过程占主导并导致分解产物积累，而饮酒无论剂量大小均可能增加早产风险。

关键词：内源性中毒；中分子物质；磷脂酰乙醇；不同孕期。

引用本文：

Semenova NV, Novikova EA, Nikitina OA, Marianian AY, Karacheva AN, Kolesnikov SI, Bairova TA, Belskikh AV, Belyaeva EV, Sambyalova AY, Ershova OA, Protopopova NV, Kolesnikova LI. 妊娠与饮酒：血液中磷脂酰乙醇水平与内源性中毒参数的关系. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(7):494–503. DOI: 10.17816/humeco676787 EDN: FPGVGB

BACKGROUND

The development of normal pregnancy is accompanied by a series of adaptive responses aimed at maintaining dynamic homeostasis at all levels to ensure healthy fetal growth [1]. Functional changes in free radical homeostasis and neuroendocrine regulation play a significant role in this process, which may lead to alterations in middle molecule (MM) levels, serving as markers of endogenous intoxication [2]. MMs are biologically active peptide substances, including polyhydric alcohols, aminoglycans, and non-regulatory oligopeptides, depending on the type of diseases and complications; their concentrations increase with enhanced protein catabolism [3–5]. MMs are involved in microcirculatory disturbances, carbohydrate and energy metabolic disorders, and they also inhibit mitochondrial respiration and DNA synthesis. By exacerbating processes, they act as secondary toxins and can be considered prognostic factors of metabolic disorders [6]. MMs have diverse origins: alimentary (from food), from intestinal microbiota metabolites, and endogenous (protein proteolysis products). Due to their varied biological activities—disruption of biomembrane ion permeability, inhibition of enzymatic systems, and binding of essential proteins—they contribute significantly to endotoxiosis [7, 8].

Endotoxiosis is a complex and multifaceted pathophysiological process that profoundly affects the mother–placenta–fetus system during gestation. Pregnancy induces hemodynamic adaptations and alters the lipid profile with the predominance of unsaturated fatty acids and cholesterol, potentially aggravating endogenous intoxication. One of the key pathophysiological mechanisms underlying endotoxiosis is the activation of lipid peroxidation processes triggered by oxygen radicals, along with increased phospholipase system activity. Progression of endotoxiosis in pregnant women is further promoted by hormonal imbalance, diabetes mellitus, liver diseases, and impaired detoxification systems [9, 10]. These disturbances may occur in the context of maternal alcohol consumption. Ethanol, even at low doses, exerts detrimental effects on the embryo. Several fetal neurophysiological pathologies induced by ethanol are now collectively recognized as fetal alcohol syndrome, observed in approximately half of children born to women with alcohol dependence. During pregnancy, ethanol exposure may lead to oligohydramnios, placental aging, severe toxicosis, and accumulation of toxic metabolites in the amniotic fluid [11]. It has been shown that levels of lipid peroxidation intermediates are significantly higher in alcohol-consuming women compared with controls [12].

It is believed that MMs can penetrate the placental barrier and exert adverse effects on the fetus, causing various multiorgan disturbances [13]. The risk of impaired development of the fetus and placenta increases during critical periods of pregnancy because of hormonal insufficiency (6–12 weeks), the development of isthmic–cervical insufficiency, as well as gestational diabetes mellitus and pre-eclampsia (18–22

weeks), late gestosis, placental insufficiency, and premature placental abruption (28–32 weeks). Therefore, it is of particular interest to assess the levels of these factors at these specific time points. In addition, from week 38, the maternal organism undergoes intensive preparation for the upcoming delivery; this period is extremely important because fetal development is fully completed [14].

Known alcohol biomarkers are considerably variable in sensitivity and specificity [15]. The most reliable marker for the detection of ethanol intoxication is phosphatidylethanol (PEth), the determination of which in biological fluids is considered a promising method for diagnosing episodic alcohol intake and chronic alcohol intoxication. PEth is a glycerophospholipid formed from phosphatidylcholine in various tissues in the presence of ethanol. Because of its long half-life after alcohol consumption, PEth accumulates in the blood and can be detected for up to 28 days after alcohol intake [16, 17]. To date, 48 PEth homologues have been identified, among which PEth 16:0/18:1 is the most informative [18].

The study aimed to assess endogenous intoxication by the concentration of MMs in venous blood of women depending on serum phosphatidylethanol levels at different stages of pregnancy.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted from 2021 to 2024 in accordance with the Declaration of Helsinki of the World Medical Association (1964, amended 2013) and was approved by the Biomedical Ethics Committee of the Scientific Center for Family Health and Human Reproduction (meeting extract No. 2 of March 4, 2021). The written informed consent was obtained from all participants.

A prospective study included 163 pregnant women receiving care at Irkutsk City Clinical Hospital No. 8. The sample size was not pre-determined. Inclusion criteria: current pregnancy; age 18–40 years; signed informed consent; regular follow-up at the medical facility. Non-inclusion criteria: HIV infection; viral hepatitis; diabetes mellitus; exacerbation of chronic diseases; acute respiratory viral infection; COVID-19; participation in an in vitro fertilization program; sexually transmitted infections; arterial hypertension. Exclusion criteria: withdrawal of consent, protocol violations, technical problems with samples, gestational diabetes mellitus, pre-eclampsia, and thyrotoxicosis. The parameters were evaluated according to gestational age at 6–12, 18–22, 28–32, and 38–40 weeks of pregnancy. The exclusion criteria and deliveries before 38 weeks of gestation resulted in a subset of women unable to provide biological samples at all four time points.

The group distribution was as follows:

- 6–12 weeks of gestation: group 1, $n = 62$; group 2, $n = 66$; group 3, $n = 35$;
- 18–22 weeks of gestation: group 1, $n = 53$; group 2, $n = 57$; group 3, $n = 35$;

- 28–32 weeks of gestation: group 1, $n = 43$; group 2, $n = 49$; group 3, $n = 28$;
- 38–40 weeks of gestation: group 1, $n = 34$; group 2, $n = 35$; group 3, $n = 14$.

Based on PEth concentrations, groups of women were identified according to alcohol consumption levels: group 1 with PEth ≤ 8 ng/mL (non-drinkers, control); group 2 with 8–45 ng/mL (drinking less than one dose); group 3 with ≥ 45 ng/mL (drinking more than one dose) [12].

Fasting blood samples were collected from the median cubital vein according to standard procedures. The quantitative determination of the direct alcohol biomarker PEth 16:0/18:1 in plasma was performed using High-Performance Liquid Chromatography–Mass Spectrometry on Shimadzu LCMS-8060 system (Japan). The validated lower limit of quantification for PEth 16:0/18:1 was 1 ng/mL.

MM levels were measured at four wavelengths (238, 254, 260, and 280 nm) using SF-2000 spectrophotometer (Russia) [19]. MM fractions were expressed in arbitrary units (AU) of optical density. Distribution coefficients (238/260, 238/280, 280/254) were also calculated.

Statistical analysis was performed using STATISTICA 10.0 software (StatSoft Inc, USA). The normality of distribution for continuous variables was assessed with the Lilliefors-corrected Kolmogorov–Smirnov test and the Shapiro–Wilk test. Because the data were normally or near-normally distributed, results were presented as means and standard deviations ($m \pm SD$). Intergroup differences were assessed using the parametric Student *t*-test with Bonferroni correction; differences were considered statistically significant at $p \leq 0.017$.

RESULTS

MM levels at different stages of pregnancy in the study groups are shown in Table 1. At 28–32 weeks, a decrease in MM levels ($\lambda = 238$ nm) was observed in alcohol-consuming pregnant women compared with controls, regardless of PEth blood levels ($p = 0.013$ and $p = 0.003$ in groups 2 and 3, respectively). Before delivery, MM levels were lower in group 3 compared with controls ($p = 0.004$). A significant decrease in MM levels ($\lambda = 280$ nm) was detected in group 3 compared with group 2 ($p = 0.017$).

The calculation of distribution coefficients showed that, compared with controls, alcohol-consuming women, regardless of the PEth 16:0/18:1 concentration, had significantly lower values of the 238/260 distribution coefficient ($p = 0.007$ and $p < 0.001$ in Groups 2 and 3, respectively) and the 238/280 distribution coefficient ($p = 0.002$ and $p < 0.001$ in Groups 2 and 3, respectively) at 28–32 weeks of gestation (Table 2). Before delivery, decreases in these coefficients were noted only in group 2 ($p = 0.006$ for 238/260; $p = 0.015$ for 238/280). The 280/254 distribution coefficient was higher in alcohol-consuming women at 28–32 weeks compared with controls ($p = 0.003$ and $p = 0.014$ in Groups 2 and 3, respectively).

DISCUSSION

The mechanisms of biochemical adaptation in normal pregnancy and in obstetric diseases involve changes in the placental metabolic regulation. The development of pregnancy are characterized by improved oxygen delivery to the fetus and placenta due to thinning of the placental membrane, which facilitates the transfer of MMs across the placental barrier and their effects on the fetus [20, 21].

More intensive catabolic processes in the third trimester of normal pregnancy, compared with alcohol-consuming women, are indicated by higher levels of peptide substances absorbing at 238 nm. The increased production of reactive oxygen species occurs due to the enhanced metabolism, high oxygen consumption, and fatty acid utilization. During the third trimester, insulin resistance increases, fat catabolism and release of free fatty acids intensify, leading to the increased hydrogen peroxide production [22]. The MM238 includes catabolic products, natural degradation products of cells and tissues, and microbial particles [23]. Lower values of these parameters in the third trimester in alcohol-consuming pregnant women may indicate lower catabolic activity and immunogenesis during this period, which, together with reduced anabolic intensity, adversely affects the mother–placenta–fetus system.

It is known that MM280 reflects the anabolic pool and demonstrates activation of reparative and synthetic processes in cells and tissues. At this wavelength, phenols, tyrosine, tryptophan, and phenylalanine—important for neuronal processes—have maximal absorption. Several studies have demonstrated the impaired synthesis and metabolism of aromatic amino acids with alcohol consumption. Altered metabolism of these amino acids leads to central nervous system neurotransmitter imbalance, which underlies psychiatric and neurological disorders in alcoholism [24].

Endogenous intoxication may result both from elevated concentrations of certain substances and from the disruption of equilibrium between components of homeostatic processes. For this reason, calculation of coefficients provides an additional meaningful characteristic of the development and severity of pathologic processes. The peptide-to-nucleotide coefficient at 238/260 nm reflects the ratio of peptide content shifts, whereas the aromaticity coefficient at 238/280 nm reflects the ratio of aromatic to nonaromatic chromophores [25].

A decrease in aromaticity coefficient with alcohol consumption, regardless of dose, beginning at 28 weeks of gestation may indicate increased cellular synthesis of biologically active compounds promoting labor activity and potentially contributing to pre-term birth. A decrease in the peptide-to-nucleotide coefficient in these groups suggests accumulation of toxic metabolic products (incomplete protein breakdown products and hydrophobic toxins), which may result from consumption of ethanol-containing products.

The ratio of the 280/254 fractions in Groups 2 and 3 was higher than in controls. An increase in this parameter

Table 1. Level of middle molecules (MM) at different stages of pregnancy in the studied groups of women (M±SD)

Gestational age	Group 1	Group 2	Group 3	Significance level
MM238				
6–12 weeks	0.30±0.21	0.27±0.12	0.24±0.16	–
18–22 weeks	0.27±0.14	0.29±0.15	0.29±0.13	–
28–32 weeks	0.34±0.17	0.26±0.13	0.22±0.12	$p_{1-2}=0.013$ $p_{1-3}=0.003$
38–40 weeks	0.33±0.16	0.27±0.16	0.19±0.09	$p_{1-3}=0.004$
MM254				
6–12 weeks	0.23±0.16	0.19±0.09	0.21±0.12	–
18–22 weeks	0.21±0.09	0.22±0.09	0.22±0.10	–
28–32 weeks	0.23±0.11	0.20±0.07	0.20±0.07	–
38–40 weeks	0.23±0.10	0.21±0.07	0.18±0.04	–
MM260				
6–12 weeks	0.22±0.10	0.21±0.08	0.22±0.12	–
18–22 weeks	0.25±0.29	0.23±0.09	0.23±0.10	–
28–32 weeks	0.23±0.11	0.22±0.06	0.21±0.07	–
38–40 weeks	0.23±0.11	0.23±0.06	0.19±0.05	–
MM280				
6–12 weeks	0.28±0.12	0.25±0.08	0.27±0.13	–
18–22 weeks	0.26±0.10	0.29±0.10	0.29±0.10	–
28–32 weeks	0.30±0.13	0.29±0.10	0.28±0.08	–
38–40 weeks	0.31±0.12	0.30±0.07	0.24±0.06	$p_{2-3}=0.017$

Table 2. Distribution coefficients at different stages of pregnancy in the studied groups of women (M±SD)

Gestational age	Group 1	Group 2	Group 3	Significance level
238/260				
6–12 weeks	1.38±0.72	1.41±0.90	1.09±0.66	–
18–22 weeks	1.31±0.62	1.27±0.54	1.29±0.54	–
28–32 weeks	1.48±0.62	1.15±0.54	0.99±0.47	$p_{1-2}=0.007$ $p_{1-3}<0.001$
38–40 weeks	1.51±0.63	1.13±0.48	1.04±0.57	$p_{1-2}=0.006$
238/280				
6–12 weeks	1.11±0.64	1.18±0.98	0.87±0.50	–
18–22 weeks	1.07±0.52	1.02±0.43	1.01±0.39	–
28–32 weeks	1.15±0.47	0.86±0.41	0.76±0.38	$p_{1-2}=0.002$ $p_{1-3}<0.001$
38–40 weeks	1.12±0.47	0.86±0.39	0.82±0.44	$p_{1-2}=0.015$
280/254				
6–12 weeks	1.33±0.29	1.34±0.27	1.37±0.25	–
18–22 weeks	1.30±0.22	1.38±0.27	1.35±0.23	–
28–32 weeks	1.33±0.21	1.48±0.25	1.47±0.25	$p_{1-2}=0.003$ $p_{1-3}=0.014$
38–40 weeks	1.41±0.27	1.45±0.19	1.39±0.16	–

may indicate intensified catabolic processes, more active lipid peroxidation, and enhanced immunogenesis. Previous studies have shown that even minimal alcohol intake in the first trimester of pregnancy activates lipid peroxidation processes [12].

The processes occurring during ethanol metabolism promote oxidation of proteins and lipids, DNA destruction, and mitochondrial dysfunction, all of which ultimately lead to apoptosis and cellular injury. The disruption of key placental functions occurs as a result of destructive and proliferative changes induced by the toxic effects of alcohol. Chronic alcohol intoxication leads to reduced placental mass and dystrophic and necrotic changes in the chorionic epithelium, which may subsequently manifest as chronic fetoplacental insufficiency, fetal hypoxia, and growth restriction [26, 27].

Elevated levels of progesterone, cortisol, prolactin, estradiol, and other hormones are characteristic of the hormonal shift during gestation [28], which, in turn, may intensify free radical oxidation processes [29, 30] and alter the pool of middle-mass peptides. It has been shown that the harmful effects of ethanol involve stimulation of the hypothalamic–pituitary–adrenal system, with the potential for overstrain and failure of compensatory mechanisms, leading to imbalance in redox status [31]. In addition, women with the laboratory-confirmed alcohol consumption in early gestation are significantly more likely to experience intrauterine growth restriction, anemia, and pre-term birth [11], which may be associated with the involvement of imbalance in the prooxidant–antioxidant system and alterations in the pool of middle-molecular peptides.

This study has several limitations. First, not all pregnant women were able to provide biological material for analysis at all gestational time points because of the exclusion criteria. Second, alcohol consumption by each woman at all stages of pregnancy was not assessed, which precluded longitudinal observation of changes in middle-molecular fractions across gestational ages in the same participant. Future studies are planned to define groups of women and investigate changes in MM concentrations longitudinally, depending on alcohol consumption in different trimesters of pregnancy.

CONCLUSION

The findings indicate reduced levels of specific fractions of middle-molecular toxins reflecting both anabolic and catabolic pools in alcohol-consuming women, which may be associated with serious metabolic disturbances in the mother–placenta–fetus system. Distribution coefficients proved to be sensitive markers for monitoring endogenous intoxication in pregnant women, suggesting a predominance of catabolic processes with accumulation of catabolic products and a possible increased risk of pre-term delivery, regardless of alcohol dose.

The problem of alcohol use in the modern stage of social development remains one of the most urgent issues, the

resolution of which may reduce the risk of gestational complications and fetal malformations. Monitoring the levels of middle-molecular toxin fractions may help in decision-making regarding pharmacologic correction or educational interventions for pregnant women.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: N.V. Semenova: conceptualization, methodology, formal analysis, writing—original draft; A.N. Karacheva, T.A. Bairova, A.V. Belskikh, E.V. Belyaeva, A.Yu. Sambyalova, O.A. Ershova, N.V. Protopenova: investigation; E.A. Novikova: source search and analysis; O.A. Nikitina: data curation, formal analysis; A.Yu. Marianian: methodology; S.I. Kolesnikov, L.I. Kolesnikova: 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 Federal State Budgetary Scientific Institution Scientific Center for Family Health and Human Reproduction Problems (protocol No. 2 dated March 4, 2021).

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

Funding sources: The study was carried out under research project No. 123051600012-7.

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

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

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

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

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

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Н.В. Семёнова — концепция и дизайн исследования, написание текста, статистическая обработка; А.Н. Карачева — сбор и обработка материала; Е.А. Новикова — анализ литературных источников; О.А. Никитина — обработка и анализ материала; А.Ю. Марьян — дизайн исследования; С.И. Колесников — редактирование статьи; Т.А. Баирова, А.В. Бельских, Е.В. Беляева, А.Ю. Самбялова, О.А. Ершова, Н.В. Протопопова — сбор и обработка материала; Л.И. Колесникова — редактирование статьи, утверждение окончательного варианта рукописи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека» (протокол № 2 от 04.03.2021).

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

Источники финансирования. Исследование проведено в рамках НИР № 123051600012-7.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими

лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

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

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

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

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

REFERENCES | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Florensov VV, Protopopova NV, Kolesnikova LI. Lipoperoxidation and aintioxidizing system атне pregnant women at uncomplicated pregnancy and placental insufficiency. *Journal of Obstetrics and Womans Diseases*. 2005;54(2):44–49. EDN: HVGQBX
2. Semenova NV, Nikitina OA, Novikova EA, et al. Indicators of endogenous intoxication in uncomplicated pregnancy. Medium-weight molecules and lipid peroxidation products. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2025;178:643–646. doi: 10.1007/s10517-025-06390-2
3. Vitkina TI. Middle molecular substances in assessing the level of endogenous intoxication chronic nonobstructive bronchitis. *Health. Medical ecology. Science*. 2014;(2):70–72. EDN: SIELKN
4. Todoriko LD, Yremenchuk IV, Batranovskaia SA, Shapovalov VP. Dynamics of endogenous intoxication parameters in multidrug-resistant destructive pulmonary tuberculosis. *Actual infectology*. 2014;(4):55–58. EDN: THKNCD
5. Darenskaya MA, Chugunova EV, Kolesnikov SI, et al. Indicators of endogenous intoxication and lipid peroxidation in the dynamics of treatment with α -lipoic acid in men with diabetic nephropathy at the stage of microalbuminuria. *Clinical Nephrology*. 2021;13(3):38–43. doi: 10.18565/nephrology.2021.3.38-43 EDN: SORFTP
6. Prokofieva TV, Polunina OS, Polunina EA, et al. Assessment of endogenous intoxication based on the study of medium and low molecular weight substances in patients with myocardial infarction against a background of chronic obstructive pulmonary disease. *Medical Council*. 2022;16(17):106–115. doi: 10.21518/2079-701X-2022-16-17-106-115 EDN: VVAIUA
7. Brown GC. The endotoxin hypothesis of neurodegeneration. *J Neuroinflammation*. 2019;16(1):180. doi: 10.1186/s12974-019-1564-7
8. Babinets LS, Zemlyak OS, Halabitska IM, et al. Dependence of pancreas functional capacity at chronic pancreatitis on endotoxemia and other metabolic factors. *Wiad Lek*. 2021;74(4):869–873.
9. Liu H, Nguyen HH, Hwang SY, Lee SS. Oxidative mechanisms and cardiovascular abnormalities of cirrhosis and portal hypertension. *Int J Mol Sci*. 2023;24(23):16805. doi: 10.3390/ijms242316805
10. Karimi P, Farhangi MA, Sarmadi B, et al. The therapeutic potential of resistant starch in modulation of insulin resistance, endotoxemia, oxidative stress and antioxidant biomarkers in women with type 2 diabetes: a randomized controlled clinical trial. *Ann Nutr Metab*. 2016;68(2):85–93. doi: 10.1159/000441683
11. Marianian AYU, Kalkova AN, Rashidova MA, et al. Assessment of the course of the gestational process using survey method and depending on the laboratory confirmed prenatal alcohol use (cross-section study). *Acta Biomedica Scientifica*. 2023;8(4):49–58. doi: 10/29413/ABC.2023-8.4.6 EDN: WCYRBL
12. Novikova EA, Semenova NV, Karacheva AN, et al. Lipid peroxidation products and superoxide dismutase activity in women depending on the phosphatidylethanol level in the first trimester of pregnancy. *Acta Biomedica Scientifica*. 2024;9(6):130–137. doi: 10.29413/ABS.2024-9.6.13 EDN: EIMCEY
13. Nikolskaya VA, Danilchenko YuD., Memetova ZN. Biochemical aspects of the consideration of the role of high molecular mass in the body. *Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. Series: Biology, Chemistry*. 2013;26(1):139–145. EDN: VEBBNJ
14. Parisi F, Fenizia C, Introini A, et al. The pathophysiological role of estrogens in the initial stages of pregnancy: molecular mechanisms and clinical implications for pregnancy outcome from the periconceptional period to end of the first trimester. *Hum Reprod Update*. 2023;2(6):699–720. doi: 10.1093/humupd/dmad016
15. Andresen-Streichert H, Müller A, Glahn A, et al. Alcohol biomarkers in clinical and forensic contexts. *Dtsch Arztebl Int*. 2018;115(18):309–315. doi: 10/3238/arztebl.2018.0309
16. Perilli M, Toselli F, Franceschetto L, et al. Phosphatidylethanol (PEth) in blood as a marker of unhealthy alcohol use: a systematic review with novel molecular insights. *Int J Mol Sci*. 2023;24(15):12175. doi: 10/3390/ijms241512175
17. Petukhov AE, Nadezhdin AV, Bogstrand ST, et al. The comparative analysis of the methods for the determination of phosphatidylethanol in blood as a biological marker of alcohol abuse. *Forensic Medical Expertise*. 2017;60(5):23–26. doi: 10.17116/sudmed201760523-26 EDN: ZGZMTR
18. Hahn JA, Murnane PM, Vittinghoff E, et al. Factors associated with phosphatidylethanol (PEth) sensitivity for detecting unhealthy alcohol use: An individual patient data meta-analysis. *Alcohol Clin Exp Res*. 2021;45(6):1166–1187. doi: 10.1111/acer.14611
19. Konev SV, Aleynikova OV, Bidula MM, et al. Assessment of body intoxication by imbalance between accumulation and binding of toxins in blood plasma. *Clinical Laboratory Diagnostics*. 1999;(2):13–17. (In Russ.)
20. Adamo KB, Goudreau AD, Corson AE, et al. Physically active pregnancies: insights from the placenta. *Physiol. Rep*. 2024;12(11):e16104. doi: 10.14814/phy2.16104
21. Vornic I, Buciu V, Furau CG, et al. Oxidative stress and placental pathogenesis: a contemporary overview of potential biomarkers and emerging therapeutics. *Int J Mol Sci*. 2024;25(22):12195. doi: 10.3390/ijms252212195
22. Hussain T, Murtaza G, Metwally E, et al. The role of oxidative stress and antioxidant balance in pregnancy. *Mediators Inflamm*. 2021;2021:9962860. doi: 10.1155/2021/9962860
23. Belskaya LV, Kosenok VK, Massard Zh, Zav'yalov AA. Status indicators of lipid peroxidation and endogenous intoxication in lung cancer patients. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2016;71(4):313–322. doi: 10.15690/vramn712 EDN: WNAELT
24. Shaposhnikov AM, Khalchitsky SE. Pathochemistry of metabolic processes in alcoholic illness: phenylalanine hydroxylase system of the liver. *Medical Sciences*. 2007;(3):58–64. (In Russ.) EDN: JUFHFX
25. Yudakova OV, Grigoryev EV. The intensity of lipid peroxidation and antioxidant activity, the level of medium-weight molecules as indicators of endogenous intoxication in common peritonitis. *Clinical Laboratory Diagnostics*. 2004;(10):20–22. EDN: MXXIJM
26. Guthertz OR, Deyssenroth M, Li Q, et al. Potential roles of imprinted genes in the teratogenic effects of alcohol on the placenta, somatic growth, and the developing brain. *Exp Neurol*. 2022;347:113919. doi: 10.1016/j.expneurol.2021.113919
27. Burd L, Roberts D, Olson M, Odendaal H. Ethanol and the placenta: a review. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2007;20(5):361–375. doi: 10.1080/14767050701298365
28. Morton A, Teasdale S. Physiological changes in pregnancy and their influence on the endocrine investigation. *Clin Endocrinol*. 2022;96(1):3–11. doi: 10.1111/cen.14624
29. Kornakova NV, Kolesnikova LI, Labigina AV, et al. Characteristic of the processes of lipid peroxidation — antioxidant protection in women with

- sterility against the background of hyperprolactinemia. *Bulletin of the East Siberian Scientific Center SB RAMS*. 2007;(1):78–80. EDN: KVMICL
30. Jakovljevic B, Novakov-Mikic A, Brkic S, et al. Lipid peroxidation in the first trimester of pregnancy. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2012;25(8):1316–1318. doi: 10.3109/14767058.2011.632038

AUTHORS' INFO

* **Natalya V. Semenova**, Dr. Sci. (Biology);
address: 16 Timiryazev st, Irkutsk, Russia, 664003;
ORCID: 0000-0002-6512-1335;
eLibrary SPIN: 6606-0160;
e-mail: natkor_84@mail.ru

Anastasia N. Karacheva;
ORCID: 0000-0002-7626-020X;
eLibrary SPIN: 3082-0796;
e-mail: kalkova_nastya@mail.ru.

Elizaveta A. Novikova;
ORCID: 0009-0001-1207-3309;
eLibrary SPIN: 2734-2998;
e-mail: yelizaveta_novikova_2001@bk.ru

Olga A. Nikitina, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0003-1926-9694;
eLibrary SPIN: 1799-4973;
e-mail: olga_tolpygina@mail.ru.

Anait Yu. Marjanian, MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-9544-2172;
eLibrary SPIN: 2584-6861;
e-mail: anait_24@mail.ru

Sergey I. Kolesnikov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor,
Academician of the Russian Academy of Sciences;
ORCID: 0000-0003-2124-6328;
eLibrary SPIN: 1752-6695;
e-mail: iphr@sbamsr.irk.ru

Tatyana A. Bairova, MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-3704-830X;
eLibrary SPIN: 2039-3728;
e-mail: tbairova38@mail.ru

Aleksey V. Belskikh, Cand. Sci. (Chemistry);
ORCID: 0000-0003-3678-7274;
eLibrary SPIN: 2004-1578;
e-mail: alex590750@yandex.ru

Elena V. Belyaeva, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0001-6050-5287;
eLibrary SPIN: 7865-3241;
e-mail: belyeva_irk@mail.ru

Alexandra Yu. Sambyalova;
ORCID: 0000-0001-5790-6282;
eLibrary SPIN: 3435-5028;
e-mail: sambialova95@mail.ru

Oksana A. Ershova, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0003-0690-4636;
eLibrary SPIN: 3002-7757;
e-mail: oksana111088@mail.ru

31. Lonappan DK, Kuruvalli G, Shaik AH, et al. Alcohol-induced hormonal and metabolic alterations in plasma and erythrocytes-a gender-based study. *Toxicol Mech Methods*. 2024;34(4):350–358.
doi: 10.1080/15376516.2023.2290071

ОБ АВТОРАХ

* **Семёнова Наталья Викторовна**, д-р биол. наук;
адрес: Россия, 664003, Иркутск, ул. Тимирязева, д. 16;
ORCID: 0000-0002-6512-1335;
eLibrary SPIN: 6606-0160;
e-mail: natkor_84@mail.ru

Карачева Анастасия Николаевна;
ORCID: 0000-0002-7626-020X;
eLibrary SPIN: 3082-0796;
e-mail: kalkova_nastya@mail.ru.

Новикова Елизавета Анатольевна;
ORCID: 0009-0001-1207-3309;
eLibrary SPIN: 2734-2998;
e-mail: yelizaveta_novikova_2001@bk.ru

Никитина Ольга Андреевна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0003-1926-9694;
eLibrary SPIN: 1799-4973;
e-mail: olga_tolpygina@mail.ru.

Марянян Анаит Юрьевна, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0002-9544-2172;
eLibrary SPIN: 2584-6861;
e-mail: anait_24@mail.ru

Сергей Иванович Колесников, д-р мед. наук, профессор,
академик РАН;
ORCID: 0000-0003-2124-6328;
eLibrary SPIN: 1752-6695;
e-mail: iphr@sbamsr.irk.ru

Баирова Татьяна Ананьевна, д-р мед. наук, ;
ORCID: 0000-0003-3704-830X;
eLibrary SPIN: 2039-3728;
e-mail: tbairova38@mail.ru

Бельских Алексей Владимирович, канд. хим. наук;
ORCID: 0000-0003-3678-7274;
eLibrary SPIN: 2004-1578;
e-mail: alex590750@yandex.ru

Беляева Елена Владимировна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0001-6050-5287;
eLibrary SPIN: 7865-3241;
e-mail: belyeva_irk@mail.ru

Самбялова Александра Юрьевна;
ORCID: 0000-0001-5790-6282;
eLibrary SPIN: 3435-5028;
e-mail: sambialova95@mail.ru

Ершова Оксана Александровна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0003-0690-4636;
eLibrary SPIN: 3002-7757;
e-mail: oksana111088@mail.ru

Natalia V. Protopopova, MD, Dr. Sci. (Medicine),
Professor;
ORCID: 0000-0002-1740-228X;
eLibrary SPIN: 7622-3480;
e-mail: doc_protopopova@mail.ru

Lubov I. Kolesnikova, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor,
Academician of the Russian Academy of Sciences;
ORCID: 0000-0003-3354-2992;
eLibrary SPIN: 1584-0281;
e-mail: iphr@sbamsr.irk.ru

Протопопова Наталья Владимировна, д-р мед. наук,
профессор;
ORCID: 0000-0002-1740-228X;
eLibrary SPIN: 7622-3480;
e-mail: doc_protopopova@mail.ru

Колесникова Любовь Ильинична, д-р мед. наук, профессор,
академик РАН;
ORCID: 0000-0003-3354-2992;
eLibrary SPIN: 1584-0281;
e-mail: iphr@sbamsr.irk.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

Самооценка уровней воздействия вредных производственных факторов на рабочих местах шахтёров

Е.В. Зибарев¹, С.М. Вострикова¹, О.К. Кравченко¹, А.К. Бессонова¹, С.М. Никонова²

¹ Научно-исследовательский институт медицины труда им. акад. Н.Ф. Измерова, Москва, Россия;

² Всероссийский научно-исследовательский институт труда, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Методика специальной оценки условий труда не в полной мере позволяет провести на рабочих местах шахтёров объективную идентификацию вредных и (или) опасных производственных факторов, учесть их реальные уровни, а также специфику трудовой деятельности, связанной с особенностями условий добычи, климатом региона, интенсивностью труда на определённом этапе технологического процесса. Анкетный опрос позволяет дополнить представление об условиях труда, использовать эти данные для идентификации вредных и (или) опасных производственных факторов в рамках специальной оценки условий труда и оценить восприятие отдельным работником тех условий, в которых он осуществляет постоянную трудовую деятельность.

Цель. Оценить объективность идентификации вредных и (или) опасных производственных факторов и их уровни на рабочем месте шахтёров, установить особенности труда и отдыха, а также медицинского обеспечения по данным анкетного опроса.

Материалы и методы. Проведено поперечное исследование с одномоментной оценкой распространённости производственных факторов и особенностей условий труда по данным анкетного опроса 257 работников одной из шахт Кемеровской области. Сформирована и проанализирована база данных, включающая сведения о потенциальных уровнях воздействия при контакте с вредными и (или) опасными производственными факторами на рабочем месте, применяемом инструменте и оборудовании, режимах труда и отдыха, санитарно-бытовых условиях и состоянии здоровья работников. Установлена значимость отдельных вредных и (или) опасных производственных факторов в труде шахтёров, проведено их ранжирование и влияние на состояние здоровья.

Результаты. По степени выраженности и влиянию на состояние здоровья шахтёров вредные и (или) опасные производственные факторы ранжированы следующим образом: аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (3,4 балла), тяжесть трудового процесса (3,4 балла), шум (3,3 балла), микроклимат (3,1 балла), вибрация локальная (2,9 балла), напряжённость (2,9 балла), общая вибрация (2,6 балла), химический фактор (2,2 балла). Наиболее неблагоприятные условия труда выявлены у проходчиков и горнорабочих очистного забоя; 73,1% шахтёров отметили, что выполняемая работа ухудшает состояние здоровья, среди которых у 23% оно удовлетворительное, а у 20% – тяжёлое и очень тяжёлое.

Заключение. Полученные результаты представляют научный и практический интерес, так как содержат современные данные о реально идентифицируемых вредных производственных факторах на рабочих местах, выявленных различными профессиональными группами шахтёров. В исследовании обоснована важность персонализированных гигиенических и медико-биологических профилактических мероприятий для снижения устранимых факторов профессиональных рисков, выбора приоритетных направлений превентивной работы.

Ключевые слова: анкетный опрос; шахтёры; вредные производственные факторы; профессиональный риск; состояние здоровья; медицинский осмотр.

Как цитировать:

Зибарев Е.В., Вострикова С.М., Кравченко О.К., Бессонова А.К., Никонова С.М. Самооценка уровней воздействия вредных производственных факторов на рабочих местах шахтёров // Экология человека. 2025. Т. 32, № 7. С. 504–516. DOI: 10.17816/humeco685787 EDN: SUPTRD

Self-Assessment of Exposure Levels to Harmful Occupational Factors at the Workplaces of Miners

Evgeny V. Zibarev¹, Svetlana M. Vostrikova¹, Olga K. Kravchenko¹,
Anna K. Bessonova¹, Sofia M. Nikonova²

¹ Scientific Research Institute of Occupational Health n.a. academician N.F. Izmerov, Moscow, Russia;

² All-Russian Research Institute of Labor, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The current methodology of special assessment of working conditions does not fully ensure objective identification of hazardous and/or harmful occupational factors in miners' workplaces, nor does it adequately reflect their actual exposure levels or the specifics of work activities associated with mining conditions, regional climate, and labor intensity at different technological stages. Questionnaire surveys make it possible to supplement the understanding of working conditions, to use these data for identifying hazardous and/or harmful occupational factors as part of workplace assessment, and to assess the individual workers' appraisals of the conditions in which they perform their regular work.

AIM: To evaluate the objectivity of identifying hazardous and/or harmful occupational factors and their levels at miners' workplaces, and to determine specific features of work and rest regimes and medical care based on questionnaire survey data.

METHODS: A cross-sectional study was conducted with a one-time assessment of the prevalence of occupational factors and work environment characteristics using a questionnaire survey of 257 miners from a coal mine in the Kemerovo region. A database was compiled and analyzed, including information on potential exposure levels to hazardous and/or harmful occupational factors at the workplace, tools and equipment used, work and rest regimes, sanitary and welfare conditions, and workers' health status. The significance of individual hazardous and/or harmful occupational factors in miners' work was determined, and their ranking and impact on health were evaluated.

RESULTS: By degree of severity and impact on miners' health, hazardous and/or harmful occupational factors were ranked as follows: aerosols with predominantly fibrogenic effect (3.4 points), workload severity (3.4), noise (3.3), microclimate (3.1), local vibration (2.9), work intensity (2.9), whole-body vibration (2.6), chemical exposure (2.2). The most unfavorable working conditions were observed in shaft sinkers and longwall miners. Overall, 73.1% of miners reported that their work negatively affected their health; among them, 23% rated their health as satisfactory, and 20% as poor or very poor.

CONCLUSION: The findings are of scientific and practical interest, as they provide current data on harmful occupational factors actually identified in miners' workplaces by different professional groups. The study substantiates the importance of personalized general hygienic and biomedical preventive measures to mitigate modifiable occupational risks and to guide priority areas for preventive interventions.

Keywords: questionnaire survey; miners; harmful occupational factors; occupational risk; health status; medical examination.

To cite this article:

Zibarev EV, Vostrikova SM, Kravchenko OK, Bessonova AK, Nikonova SM. Self-Assessment of Exposure Levels to Harmful Occupational Factors at the Workplaces of Miners. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(7):504–516. DOI: 10.17816/humeco685787 EDN: SUPTRD

矿工工作场所有害生产因素作用水平的自我评估

Evgeny V. Zibarev¹, Svetlana M. Vostrikova¹, Olga K. Kravchenko¹,
Anna K. Bessonova¹, Sofia M. Nikonova²

¹ Scientific Research Institute of Occupational Health n.a. academician N.F. Izmerov, Moscow, Russia;

² All-Russian Research Institute of Labor, Moscow, Russia

摘要

论证。劳动条件特别评估方法并不能充分、客观地识别矿工工作场所中的有害和（或）危险生产因素，难以全面考虑其实际水平以及与采矿条件、区域气候和某一阶段劳动强度相关的工作特性。问卷调查能够补充对劳动条件的认识，可将所得数据用于在劳动条件特别评估框架下识别有害和（或）危险生产因素，并可用于评估个体劳动者对其长期工作环境的感知。

目的。评估矿工工作场所有害和（或）危险生产因素的识别客观性及其水平，并根据问卷调查结果明确劳动与休息制度的特点，以及医疗保障状况。

材料与方法。开展了一项横断面研究，对来自Kemerovo area某矿山的257名工人进行了问卷调查，并在同一时间点评估生产因素的普遍性和劳动条件的特征。建立并分析了数据库，其中包括以下内容：在工作场所接触有害和（或）危险生产因素时的潜在作用水平、所使用的工具和设备、劳动与休息制度、卫生与生活条件以及工人的健康状况。进一步确定了矿工劳动中各类有害和（或）危险生产因素的重要性，对其进行了排序，并评估了其对健康的影响。

结果。根据其严重程度及对健康影响的程度排序，有害和（或）危险生产因素依次为：以成纤维作用为主的气溶胶（3.4分）、劳动过程强度（3.4分）、噪声（3.3分）、微气候（3.1分）、局部振动（2.9分）、紧张度（2.9分）、全身振动（2.6分）、化学因素（2.2分）。最不利的劳动条件出现在掘进工和综采工中。73.1%的矿工表示工作对其健康产生不良影响，其中23%自评健康状况为尚可，20%为重度或极重度。

结论。本研究结果具有科学和实践意义，提供了关于矿工不同职业群体在工作场所中实际可识别的有害生产因素的最新数据。研究强调了制定个体化的卫生学与医学预防措施的重要性，以降低可避免的职业风险，并为选择预防性工作的优先方向提供依据。

关键词：问卷调查；矿工；有害生产因素；职业风险；健康状况；医学检查。

引用本文：

Zibarev EV, Vostrikova SM, Kravchenko OK, Bessonova AK, Nikonova SM. 矿工工作场所有害生产因素作用水平的自我评估. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(7):504–516. DOI: 10.17816/humeco685787 EDN: SUPTRD

ОБОСНОВАНИЕ

Условия труда работников, занятых подземной добычей угля на разных шахтах, отличаются большим разнообразием производственных факторов, обусловленных горно-геологическими особенностями условий добычи [1–3], организацией техпроцесса [2, 4, 5], климатическим регионом [2, 6]. Это может затруднять корректную идентификацию вредных и (или) опасных производственных факторов (ВОПФ) на рабочих местах и оценку степени их выраженности. Так, например, труд работников, относящихся к одним и тем же профессиональным группам, в наклонных или глубоких шахтах по сравнению с условиями труда работающих в пологих шахтах неглубокого заложения может отличаться более высокой тяжестью и напряжённостью труда, связанного с увеличением продолжительности переходов и доставки к рабочему месту, количеством подъёмов и спусков, неудобной рабочей позой, повышенной опасностью обрушений пород и т.п. [2]. В этих случаях мнение работников о значимости отдельных ВОПФ в условиях труда может представлять несомненную ценность для построения программы исследований при проведении специальной оценки условий труда (СОУТ) или производственного контроля и учёта всех рабочих операций, отличающихся наиболее выраженными производственными воздействиями. Значимость корректной оценки условий труда связана не только с необходимостью разработки профилактических мероприятий в случае выявления отклонений уровней ВОПФ от допустимых значений, но и с прогнозированием вероятных нарушений здоровья у работников в зависимости от специфики факторного воздействия, их источников и локализации [5–9]. Такая подробная информация часто бывает необходима при решении экспертных вопросов о профессиональной обусловленности нарушений здоровья у горняков, работающих в подземных условиях.

Известно, что профессии шахтёров относят к числу наиболее тяжёлых, вредных и опасных, в которых труд характеризуется комплексным воздействием практически всех известных производственных факторов значительной степени выраженности. Это определяет более высокие риски развития не только профессиональной патологии, но и хронических неинфекционных заболеваний и преждевременной смерти, по сравнению с работающими других профессиональных групп и мужского населения в целом [10–12]. В то же время результаты полноценной гигиенической оценки условий труда на рабочих местах шахтёров, основанные на результатах собственных измерений авторов непосредственно в подземных условиях добычи, в забоях, в научной литературе встречаются редко [13], в основном опираются на результаты СОУТ [14, 15], санитарно-гигиенические характеристики [3]. Этот факт связан с труднодоступностью таких исследований и ограничениями по технике безопасности. Анкетирование о состоянии условий труда на рабочем месте в дополнение

к результатам СОУТ позволяет получить более полную картину воздействия ВОПФ на шахтёров в процессе работы, однако в научной литературе при анкетировании основное внимание уделяется социально-бытовым аспектам жизни работников [1, 16] и крайне редко состоянию условий труда [17]. В работе J. Strzemecka и соавт. [17] отмечено, что 80% опрошенных шахтёров считают, что риски для их здоровья создают шум и запылённость на рабочем месте, более 50% — микроклимат (влажность и температура воздуха), 50% — вибрация и плохое освещение. Представленные в статье данные недостаточно информативны. В связи с этим настоящее исследование с изучением мнения работников различных профессиональных групп шахтёров об условиях труда во взаимосвязи с состоянием здоровья представляется актуальным как в научном, так и в практическом плане.

Цель исследования. Оценить объективность идентификации ВОПФ и их уровни на рабочем месте шахтёров, установить особенности труда и отдыха, а также медицинского обеспечения по данным анкетного опроса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено поперечное исследование с одномоментной оценкой распространённости ВОПФ на рабочих местах шахтёров, их уровней, применяемом инструменте и оборудовании, режимов труда и отдыха, санитарно-бытовых условиях и состоянии здоровья по данным анкетного опроса 257 работников одной из шахт Кемеровской области. Для реализации цели исследования была разработана анкета, включающая 54 вопроса, сгруппированных по пяти блокам: общая информация с указанием пола, возраста, образования, стажа работы, наличия категории (вопросы 1–5); режимы труда и отдыха (вопросы 6–20); санитарно-бытовые условия (вопросы 21–24); вредные и опасные производственные факторы (вопросы 24–46); состояние здоровья (вопросы 47–54). Формулирование вопросов анкеты основывалось на требованиях к идентификации и оценке ВОПФ¹, правил по охране труда² и организации режимов труда и отдыха шахтёров³. На этапе

¹ Приказ Минтруда России от 21.11.2023 г. № 817н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчёта о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по её заполнению». Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202311300048>

² Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 г. № 507 (ред. от 23.06.2022) «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012210103>

³ Федеральное отраслевое соглашение по угольной промышленности на 2019–2021 гг. (утв. Российским независимым профсоюзом работников угольной промышленности, Общероссийским отраслевым объединением работодателей угольной промышленности 18.01.2019; ред. от 23.12.2022, с изм. от 25.10.2024. Режим доступа: <https://mintrud.gov.ru/docs/agreements/1298>

интерпретации данных пользовались ключами для подсчёта баллов при оценке степени выраженности влияния того или иного ВОПФ.

Разработанная анкета соответствовала критериям валидности содержания, внешней валидности, внутренней согласованности.

Оценку содержательной валидности анкеты осуществляли методом экспертных оценок. В качестве экспертов выступили канд. мед. наук А.А. Федорук, заведующий отделом медицины труда ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промышленных предприятий» Роспотребнадзора, и канд. техн. наук И.В. Цирин, советник генерального директора ФГБУ «ВНИИ труда» Минтруда России, председатель технического комитета по стандартизации 251 «Безопасность труда» (30.01.2024). В вопросы из блока «Вредные и опасные производственные факторы» были внесены уточнения по шкалам оценки выраженности ВОПФ. После этого экспертами был достигнут консенсус по всем пунктам анкеты, её повторная переработка не потребовалась.

Внешняя валидность (пилотное тестирование) анкеты проверяли путём интервьюирования 59 специалистов по охране труда Федерации независимых профсоюзов России и Российского независимого профсоюза работников угольной промышленности с 5 по 30 февраля 2024 г. Средний возраст респондентов составлял $39,8 \pm 0,7$ года. Задачей данного этапа являлась оценка понимания вопросов анкеты, выявление неполных вариантов ответов и переформулирование вопросов. По результатам пилотного тестирования устранили ошибки и внесли необходимые правки в формулировки пяти вопросов анкеты.

Обоснование надёжности/устойчивости результатов анкетирования во времени не проводили, поскольку анкета предполагает единоразовую оценку результатов тестирования.

Внутренняя согласованность была рассчитана и установлена с помощью коэффициента α -Кронбаха для каждого блока анкеты. Показатель α -Кронбаха считался приемлемым при значении выше 0,7, что соответствует хорошему уровню внутреннего постоянства. Значение критерия надёжности α -Кронбаха для вопросов анкеты варьировало от 0,564 до 0,899. Несмотря на низкие показатели α -Кронбаха в блоке «Состояние здоровья», общий коэффициент α -Кронбаха для всей анкеты равнялся 0,879.

Таким образом, анкета продемонстрировала высокую степень надёжности и внутренней согласованности. Данная анкета может быть использована для оценки условий труда у шахтёров перед проведением СОУТ как надёжный инструмент идентификации ВОПФ и предварительной оценки класса условий труда.

Анкету работники заполняли самостоятельно перед периодическим медицинским осмотром. Исследование проводили анонимно с последующим составлением

базы данных и анализом распределения ответов респондентов по предложенным вариантам. Участники исследования подписывали информированное согласие.

Сформирована база данных, включающая сведения о потенциальных уровнях воздействия при контакте с ВОПФ на рабочем месте, применяемом инструменте и оборудовании, режимах труда и отдыха, санитарно-бытовых условиях и состоянии здоровья работников.

Исследование проведено по госзаданию с 2023 по 2025 г. с соблюдением этических принципов проведения медицинских исследований с участием человека согласно Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта» с поправками 2013 г. Исследование одобрено на заседании локального этического комитета ФГБНУ «НИИ МТ» (протокол № 5 от 02.08.2023).

Полученные материалы анализировали в программном обеспечении Microsoft Excel. Проверку распределения результатов анкетирования проводили при помощи критерия Шапиро–Уилка. Данные имели нормальное распределение. Для описания нормально распределённых данных рассчитывали среднее значение и стандартное отклонение ($M \pm SD$). При сравнении оценок условий труда по результатам анкетирования с классами СОУТ внутри профессиональных групп использовали двухвыборочный критерий Вилкоксона. Провели логистический регрессионный анализ, оценку корреляционных зависимостей и рассчитали коэффициент корреляции Спирмена. Статистически значимыми считали результаты, полученные при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В профессиональной структуре анкетированных 26% занимали электрослесари подземные (ЭСП), 15% — горнорабочие подземные (ГРП), 13% — проходчики (ПР), 11% — горнорабочие очистного забоя (ГРОЗ), 7% — машинисты горновыемочных машин, 6% — помощники начальника участка и начальник участка, 5% — машинисты буровой установки, 4% — горномонтажники подземные. Доля первых четырёх профессиональных групп составляла 65% от всех опрошенных. Работники иных профессий (взрывник, механик, маркшейдер, горный мастер и др.) были включены в группу «прочие», доля которой в числе опрошенных составляла 12%. Анкетированием охватили большинство ведущих профессиональных групп шахтёров.

Средний возраст работников составил $43,0 \pm 0,6$ года, общий стаж работы — $19,9 \pm 0,6$ года, стаж работы в данной профессии — $11,2 \pm 0,5$ года. Средний возраст в группе ЭСП — $42,8 \pm 1,2$ года, ГРП — $38,3 \pm 1,4$ года, ПР — $43,8 \pm 1,3$ года, ГРОЗ — $42 \pm 1,2$ года. Минимальный возраст — 21 год, максимальный — 66 лет.

Основная доля работников, занятых подземной

Таблица 1. Распределение опрошенных по профессиональным группам и возрасту**Table 1.** Distribution of respondents by occupational group and age

Профгруппа	Количество работников в профгруппе	Возрастные группы, %					
		20–29 лет	30–39 лет	40–49 лет	50–59 лет	60–69 лет	н/д
ЭСП	68	10,3	27,9	35,3	22,1	4,4	0,0
ГРП	38	18,4	31,6	34,2	7,9	0,0	7,9
ПР	34	5,9	20,6	44,1	23,5	0,0	5,9
ГРОЗ	29	3,4	34,5	48,3	10,3	0,0	3,4

Примечание. ЭСП — электрослесари подземные; ГРП — горнорабочие подземные; ПР — проходчики; ГРОЗ — горнорабочие очистного забоя; н/д — возраст в анкете не был указан.

добычей угля, относится к наиболее трудоспособным возрастным группам — до 50 лет (75,6%). При этом значительной является группа молодых работников до 30 лет (8,4%). Обращает на себя внимание относительно большой удельный вес работников предпенсионного (от 50 до 59 лет — 21,6%) и старше трудоспособного возраста — (от 60 до 69 лет — 2,8%). В табл. 1 приведён возрастной состав опрошенных по профессиональным группам.

Большинство (89%) опрошенных имели сменный график работы — 3/3 по 8 ч. Соответственно, количество смен варьировало от трёх до четырёх в неделю. Подобный график предполагает, что работник может выходить на смену как в дневное, так и в ночное время для обеспечения непрерывного производственного процесса.

Дорога до места работы занимала от 30 мин до 1 ч у 56% опрошенных, менее 30 мин — у 20%, от 1 до 1,5 ч — у 19%, более 1,5 ч — у 5%. Таким образом, 1/4 опрошенных затрачивают на дорогу более 1 ч, что является фактором риска развития утомления, в том числе ещё до начала рабочей смены.

Среднее время спуска в шахту менялось в зависимости от глубины рабочего участка, а также способа передвижения. При этом спуск занимал в среднем $21,6 \pm 0,7$ мин, подъём на поверхность — $24,2 \pm 0,9$ мин. Средняя длительность передвижения до рабочего места после спуска составляет $17,8 \pm 9,8$ мин (и столько же обратно). Важно отметить, что рассматриваемая шахта — наклонная, наклонные стволы оборудованы конвейерами, подвесной монорельсовой дорогой для доставки оборудования, материалов и перевозки людей. В вопросе со множественным выбором 61% опрошенных указали, что иногда используют дизелевоз для перемещения к рабочему месту, 40% работников также проходили пешком менее 1 км на пути к рабочему месту, а 41% — преодолевали пешком расстояние более 1 км, хотя, согласно требованиям Ростехнадзора, при расстоянии до рабочей зоны более 1 км для перевозки людей необходимо использовать специализированные транспортные средства⁴.

⁴ П. 299 Приказа Ростехнадзора от 8 декабря 2020 г. № 505 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твёрдых полезных ископаемых"». Режим доступа:

Анализ результатов опроса показал, что среднее количество перерывов составляет 1,8, их средняя продолжительность — 18,4 мин за 8-часовую смену; 20% ответивших на вопрос ($n=40$) указали, что им недостаточно времени на перерывы в течение рабочей смены. Среди них 7,5% респондентов отметили, что обычно не имели перерывов в течение рабочей смены, 7% — имели 1–2 перерыва, суммарная продолжительность которых не превышала 20 мин, 3% — не ответили на вопросы, касающиеся количества и продолжительности перерывов, 2,5% опрошенных указали, что имели различное количество перерывов, суммарная продолжительность которых составляла 30 мин и более.

Работникам было предложено оценить по 5-балльной шкале выраженность воздействующих ВОПФ, где 1 — «фактор на меня совсем не воздействует», 5 — «фактор воздействует на меня чрезвычайно сильно». Результаты расчёта средних значений баллов для каждого фактора по четырём основным профессиональным группам (ЭСП, ГРП, ГРОЗ, ПР) представлены на рис. 1.

Также работникам были заданы уточняющие открытые вопросы, касающиеся источников наиболее сильно воздействующих факторов — шума, вибрации, тяжести труда, аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД; запылённости). Ответы респондентов позволяют выявить основные источники ВОПФ.

Так, 177 респондентов указали источники наиболее сильного шума. Работники отнесли к наиболее шумным известные источники: бурильное оборудование/бурение (23%) и работу ленточных и скребковых конвейеров, перемещающих горную массу (17%). Далее следовали ответы, включающие шахтные вентиляторы (13%) и прочие неуточнённые машины и механизмы (12%). Значительное количество упоминаний (10%) получила работа проходческого комбайна и компрессоров (8%), применяемых для снабжения сжатым воздухом пневматических инструментов и приводов механизмов. Отдельное упоминание с меньшими долями ответов получили отбойные молотки и перфораторы (7%), электродвигатели (5%), насосные установки (3%), дизелевозы (2%).

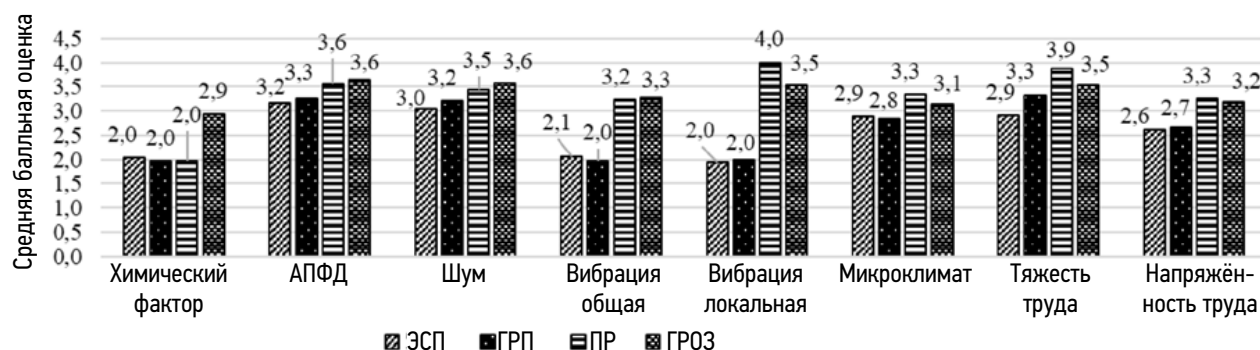


Рис. 1. Выраженность вредных и (или) опасных производственных факторов на рабочем месте по оценкам работников различных профессиональных групп: ЭСП — электрослесари подземные; ГРП — горнорабочие подземные; ПР — проходчики; ГРОЗ — горнорабочие очистного забоя; АПФД — аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

Fig. 1. Severity of hazardous and/or harmful occupational factors in the workplace according to assessments by workers from different occupational groups: UGE, underground electricians; UGM, underground miners; DM, drift miners; LWM, longwall miners; APFD, aerosols with predominantly fibrogenic effects.

На вопрос об источниках вибрации ответили 107 респондентов. Наиболее часто в ответах упоминался отбойный молоток (36%), а также станок буровой ручной и процесс бурения (34%). Доля категории «прочие пневмоинструменты» (перфораторы, гайковерты, анкероустановщики и др.) составила 10%. Наименьшее количество упоминаний получило прочее горно-шахтное оборудование (9%), ленточный конвейер (5%), дизелевоз (4%) и рабочие инструменты (2%).

Наибольшей запылённостью, по мнению 137 работников, характеризуется процесс добычи угля в забое (43%) и осланцевание (35%), которое выполняется с использованием специальных машин (осланцевателей) и установок достижения необходимого уровня пылевзрывозащиты за счёт смешивания инертной пыли с угольной. Остальная доля ответов была разделена между процессом бурения (15%), работой конвейера (4%) и прочими вариантами (3%).

Также работникам было предложено оценить способность к свободному дыханию вне рабочих процессов, но при нахождении в шахте. Большинство (54%) опрошенных выбрали вариант «можно дышать спокойно без средств индивидуальной защиты органов дыхания», 30% работников указали, что «при дыхании остаётся осадок во рту и в носу», 16% отметили, что «дышать возможно только в средствах индивидуальной защиты».

Наиболее физически тяжёлые операции отметили 125 участников опроса. Чаще всего они упоминали перенос/доставку грузов внутри шахты (45%). Указанные грузы, помимо неутончённого «горно-шахтного оборудования», включали инертную пыль (сланец) в упаковках массой по 15 кг, рудничные стойки (лесоматериалы), металлические цепи, кабели, крупногабаритную аппаратуру и прочее. На втором месте по частоте встречаемости упоминался процесс бурения и работа с ручными инструментами (19%), в том числе с отбойными молотками, анкероустановщиками, ручными буровыми станками. Монтаж и установка горно-шахтного оборудования (16%) включали рабочие операции по замене двигателей и приводов,

монтаж призабойных стоек, кабельных сетей, скребкового конвейера, рештаков, газового сепаратора. На подъём тяжёлых грузов как вручную, так и с использованием захватов «скрепок», талей, рычажных лебедок («тягалок») приходилось 13% ответов; на обслуживание конвейерной ленты и ходьбу — 5 и 2% соответственно.

При рассмотрении субъективной оценки продолжительности выполнения тяжёлой работы в течение смены по профессиональным группам ЭСП, ГРП, ГРОЗ и ПР установлено, что наибольшей тяжестью характеризовалась работа ГРОЗ и ПР, наименьшей среди выбранных профессий — ЭСП. Результаты опроса приведены на рис. 2.

Что касается субъективного восприятия степени тяжести трудового процесса работниками этих профессий по балльной шкале, в которой 1 — «физическая нагрузка на работе незначительная», а 5 — «нагрузка чрезвычайно тяжёлая», наибольший средний балл был выявлен у ГРОЗ и ПР — 4,2 и 3,8 балла соответственно. Также работниками этих профессий были выставлены наибольшие баллы при оценке травмоопасности работ — 4,0 и 3,9 баллов соответственно по шкале, в которой 1 балл — «получить травму практически невозможно», 5 баллов — «незначительная неосторожность может привести к травме». Более того, среди ГРОЗ и ПР отмечаются наибольшие значения утомления, связанного с работой. Так, по шкале, где 1 балл — «работа не вызывает утомления», а 5 баллов — «большая часть утомления связана с работой», профессиональным группам соответствуют следующие баллы: ЭСП — 2,8, ГРОЗ — 3,3, ПР — 3,3, ГРП — 3,0.

Далее работниками были выбраны виды физических нагрузок, характерных для рабочего процесса, к числу которых отнесены перемещение грузов и ходьба. Уточняющие вопросы позволили определить среднее значение субъективных оценок максимальной массы поднимаемого и перемещаемого груза, которое составило $37,2 \pm 1,8$ кг, и среднее расстояние, проходимое работниками в течение смены — $5,6 \pm 0,3$ км.

Различия этих значений между основными

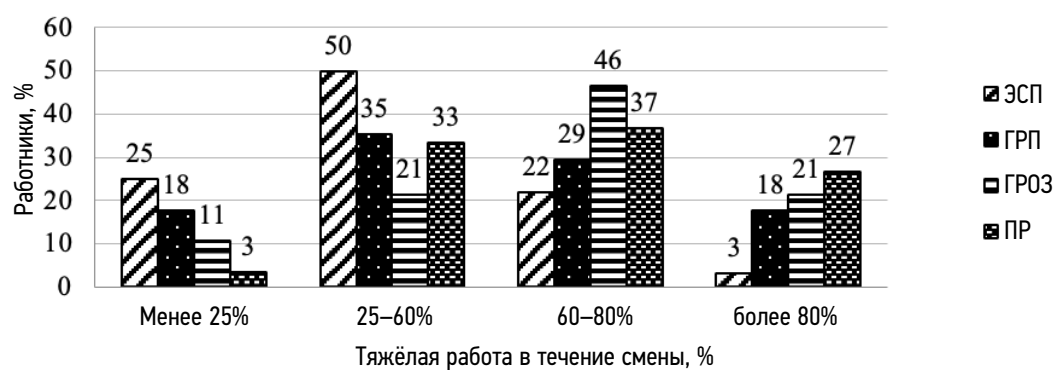


Рис. 2. Субъективная оценка продолжительности выполнения тяжёлой работы в течение смены работниками разных профессиональных групп: ЭСП — электрослесари подземные; ГРП — горнорабочие подземные; ГРОЗ — горнорабочие очистного забоя; ПР — проходчики.

Fig. 2. Subjective self assessment of the duration of heavy work performed during a shift by workers from different occupational groups: UGE, underground electricians; UGM, underground miners; LWM, longwall miners; DM, drift miners.

профессиональными группами представлены в табл. 2. В число поднимаемых работниками грузов входят также рабочие инструменты. Их примерный перечень и средняя масса также представлены в табл. 2.

В соответствии с табл. 2 наибольшее среднее расстояние, проходимое в течение смены, свойственно ГРП, однако этот показатель незначительно различается в рамках четырёх рассматриваемых профессиональных групп. Наибольшей средней максимальной массой поднимаемого и перемещаемого груза, а также наибольшей средней массой рабочих инструментов характеризуется трудовая деятельность ПР и ГРОЗ, что объясняется использованием тяжёлых пневматических инструментов.

Также работникам был задан вопрос, в котором необходимо выбрать одну или несколько характеристик параметров микроклимата (множественный выбор), основываясь на своих ощущениях. Из предложенных вариантов ответов большие доли пришлось на оценки «холодно» — 59% (для сравнения «жарко» — 28%), «есть сквозняки» — 72% («душно» — 12%) и «слишком

влажно» — 32% («слишком сухо» — 2%). Назвали комфортным микроклимат только 13% опрошенных.

При оценке состояния своего здоровья с использованием 5-балльной шкалы, где 1 — «отличное», а 5 — «очень тяжёлое», большинство опрошенных (57%) указали, что оно отличное (1 балл) и очень хорошее (2 балла), 23% опрошенных — удовлетворительное (3 балла). Однако значимая часть опрошенных (20%) оценили состояние здоровья как тяжёлое (4 балла) и очень тяжёлое (5 баллов), что может свидетельствовать о высокой вероятности наличия у них хронических неинфекционных заболеваний, которые могут стать причинами профессиональной непригодности.

Интерес представляет мнение работников, по-разному оценивших собственное здоровье, о том, ухудшает ли работа состояние здоровья (рис. 3).

На рис. 3 в группах вариантов 1–4 при ухудшающейся оценке своего здоровья возможно проследить увеличение доли работников, утверждающих, что работа негативно влияет или скорее влияет на состояние

Таблица 2. Средние значения субъективных оценок максимальной массы поднимаемого и перемещаемого груза, массы рабочих инструментов и расстояния, которое проходят работники в течение смены, по профессиональным группам

Table 2. Mean values of subjective self assessments for maximum lifted and transported load, weight of working tools, and distance covered during a shift, by occupational group

Профгруппа	Среднее расстояние, проходимое в течение смены, км	Средняя максимальная масса поднимаемого и перемещаемого груза, кг	Средняя масса рабочих инструментов, кг	Примеры инструментов
ЭСП	5,2±0,3	34,5±4,5	9,5±1,0	Гаечные ключи, отвёртки, индикаторы напряжения, тали, электропускатели, болторезы, плоскогубцы, пассатижи
ГРОЗ	5,3±1,0	47,8±5,1	21,5±3,4	Отбойные молотки, станки буровые ручные, анкероустановщики, кувалды, лопаты, ручные лебёдки (тягалки), домкраты, свёрла электрические ручные, перфораторы
ПР	4,9±0,5	51,6±4,0	29,5±4,4	Станки буровые ручные, анкероустановщики, отбойные молотки, кувалды, кайла
ГРП	5,6±0,6	38,6±3,5	13,3±2,1	Тали, лебёдки, лопаты, кайла, кувалды, ломы

Примечание. ЭСП — электрослесари подземные; ГРОЗ — горнорабочие очистного забоя; ПР — проходчики; ГРП — горнорабочие подземные.

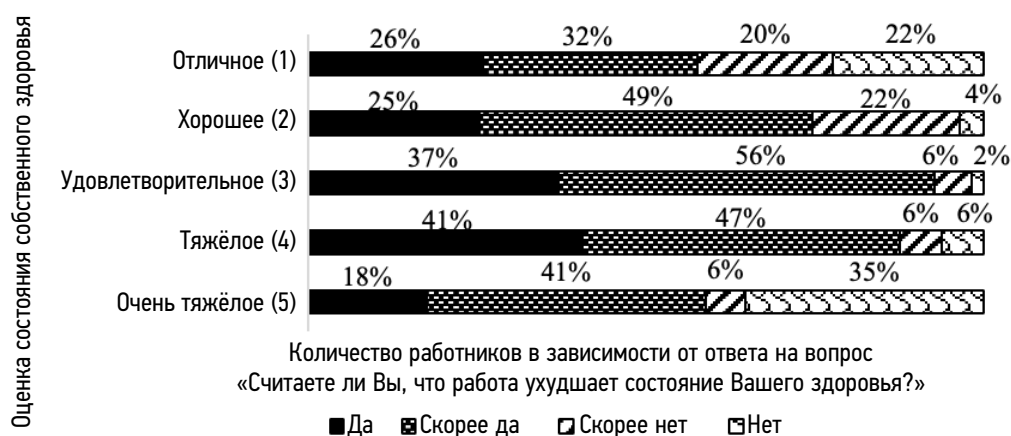


Рис. 3. Отношение работников к тому, ухудшает ли работа состояние их здоровья, в зависимости от оценки состояния собственного здоровья.

Fig. 3. Workers' appraisal of whether their work worsens their health status, depending on self-rated health status.

здоровья (от 58 до 88%). Однако в группе 5 (оценка здоровья — «очень тяжёлое») 35% работников считают, что работа не ухудшает состояние здоровья. Это может быть обусловлено наличием у опрошенных различных по тяжести форм хронических и/или наследственных заболеваний, не выявленных до начала трудовой деятельности или не являющихся противопоказаниями для продолжения работ.

Опрошенным также были заданы вопросы, касающиеся качества медосмотров и сокрытия ими информации при прохождении медосмотра. Было установлено, что по 5-балльной шкале, в которой 1 — «осмотр представляет собой строгую проверку, заключение точно описывает состояние моего здоровья», а 5 — «осмотры проводятся для галочки, заключение не соответствует состоянию моего здоровья», средние значения ответов составили $2,2 \pm 0,1$ и $2,1 \pm 0,1$ баллов для периодических и предсменных медосмотров соответственно. Эти цифры показывают, что медосмотры проводятся на достаточно высоком уровне, поскольку оценка в 2 балла соответствует ответу «осмотры проводятся скорее строго». Кроме того, 7,8 и 10,1% работников указали, что им приходилось скрывать информацию о состоянии своего здоровья во время периодических и предсменных медицинских осмотров, что свидетельствует о необходимости обязательного использования объективных методов медицинского контроля для подтверждения текущего физического состояния работника.

Статистический анализ данных о состоянии здоровья работников показал слабую, но значимую положительную связь между возрастом и баллом самооценки здоровья (коэффициент Спирмена — 0,157; $p=0,016$), что означает следующее: чем старше человек, тем выше вероятность, что он оценит своё здоровье хуже. Модель порядковой логистической регрессии подтвердила это: с каждым годом шанс того, что человек будет считать своё здоровье хуже, вырастает примерно на 3,4% ($p=0,0336$). Также статистический анализ показал слабую, но значимую положительную связь между баллом

самооценки здоровья и баллом самооценки влияния работы на здоровье (коэффициент Спирмена — 0,177; $p=0,006$), то есть, чем хуже человек оценивает свое здоровье, тем выше вероятность, что он выше оценит влияние работы на здоровье.

ОБСУЖДЕНИЕ

Треть опрошенных относится к наиболее молодым и старшим возрастным группам, то есть к группам повышенного риска развития заболеваний и возможности травматизма (см. табл. 1). Во всех четырёх профессиональных группах возраст большей доли работников составляет от 40 до 49 лет. Работники возраста 60–69 лет присутствуют только в профгруппе ЭСП, что может быть связано с меньшей тяжестью труда и лучшими показателями здоровья в этой группе по сравнению с работниками других групп. Эти же причины могут обуславливать и незначительную долю работников групп ГРП и ГРОЗ в возрасте 50–59 лет. Данные о возрастной структуре работающих в различных профессиональных группах представляют важную информацию, которая должна учитываться при разработке программ укрепления здоровья для мало- и высокостажированных работников.

Один из спусков в шахту, в котором принимали участие интервьюеры, осуществлялся по конвейерному бремсбергу под углом 28° , длина участка — около 500 м. Спуск представлял собой деревянный трап, без освещения (кроме света налобного фонарика). Свет имелся только на поворотных узлах, по одной лампе. Из-за высокой влажности на трапе было скользко, поверхности были засыпаны инертным порошком для исключения образования взрывоопасной смеси. Далее осуществлялся проход через несколько участков, характеризующихся различными углами наклона (спуском до 22° и подъёмом от 7 до 14°), общая протяжённость которых до выемочно-го участка составляла не менее 800 м.

Как правило, на дизелевозе до рабочего участка перемещались шахтеры основных рабочих профессий, таких

как ПР и ГРОЗ, а, например, работники профгруппы ЭСП передвигались пешком.

Несмотря на то что перемещение на дизелевозе экономит силы работников и снижает их общий уровень утомления за смену, такая поездка характеризуется воздействием значительных уровней шума и вибрации, а также связана с вдыханием шахтёрами продуктов неполного сгорания дизельного топлива [5]. Таким образом, передвижение до рабочего места внутри шахты сопровождается дополнительным воздействием вредных факторов на работников: при перемещении пешком — тяжести трудового процесса, при использовании дизелевоза — производственного шума, вибрации, химических веществ.

Учитывая невозможность пополнить запас воды в шахте, работники в среднем берут с собой $1,22 \pm 0,44$ л воды, что является недостаточным и может приводить к обезвоживанию при значительных физических нагрузках и высокой температуре окружающей среды. Эта тема нуждается в дополнительном изучении.

Как следует из полученных данных о выраженности ВОПФ на рабочем месте по оценкам работников различных профессиональных групп (см. рис. 1), самая высокая оценка установлена в профессиональных группах ПР и ГРОЗ, причём ведущие производственные факторы возможно ранжировать в порядке уменьшения среднего балла (среди выбранных четырёх профессиональных групп) следующим образом: АПФД (3,4 балла), тяжесть трудового процесса (3,4 балла), шум (3,3 балла), микроклимат (3,1 балла), вибрация локальная (2,9 балла), напряжённость (2,9 балла), общая вибрация (2,6 балла), химический фактор (2,2 балла).

Полученные данные частично согласуются с результатами СОУТ на рабочих местах основных профессиональных групп шахтёров, занятых подземной добычей угля, анализ которых проведён в статье И.В. Бухтиярова и соавт. [10]. Согласно данным этого источника, к числу профессий наиболее высокого профессионального риска относят ПР и ГРОЗ, ведущими производственными

факторами являются тяжесть трудового процесса, шум и АПФД.

Данные опроса были также сопоставлены с информацией о классах условий труда (КУТ), установленных на рабочих местах работников исследуемой шахты Кемеровской области по результатам СОУТ. Для проведения сравнения КУТ были приведены к соответствующей балльной шкале (балл СОУТ): «фактор не идентифицирован» — 1 балл, установлен КУТ 2 — 2 балла, КУТ 3.1 — 3 балла, КУТ 3.2 — 3,5 балла, КУТ 3.3 — 4 балла, КУТ 3.4 — 4,5 балла, КУТ 4 — 5 баллов.

Результаты сопоставления приведены в табл. 3 и 4. Факторы, для которых КУТ по результатам СОУТ и субъективные оценки работников статистически значимо различаются ($p < 0,05$), выделены серым. Факторы, для которых значение p -критерия было незначительно отклонённым от 0,05, выделены курсивом.

В соответствии с табл. 3, ГРОЗ оценили воздействие химического фактора выше, чем СОУТ (КУТ 3.1 вместо КУТ 2). ЭСП оценили воздействие АПФД выше, чем СОУТ (КУТ 3.1 вместо КУТ 2). Пограничное значение статистической значимости ($p = 0,047$) указывает на то, что ПР могут оценивать воздействие АПФД ниже, чем СОУТ (КУТ 3.2 вместо КУТ 3.3). Субъективные оценки воздействия шума для всех групп работников совпадают с результатами, полученными в рамках СОУТ. Фактор общей вибрации не был идентифицирован в рамках СОУТ, так как на рабочих местах работников выбранных профессиональных групп отсутствовало производственное оборудование, являющееся источником общей вибрации. Тем не менее этот фактор был идентифицирован работниками, так как они испытывают на себе его воздействие во время передвижения по шахте на дизелевозе. Особую выраженность общей вибрации отметили ГРОЗ и ПР, для которых передвижение на дизелевозе является основным способом доставки до рабочего места.

В соответствии с табл. 4 ЭСП идентифицировали на рабочих местах локальную вибрацию, причём не отметили

Таблица 3. Сравнение выраженности вредных и (или) опасных производственных факторов по данным субъективной оценки работников и результатов специальной оценки условий труда (часть 1)

Table 3. Comparison of the severity of hazardous and/or harmful occupational factors according to workers' subjective self assessment and results of the special workplace assessment (part 1)

Профгруппа	Химический фактор			АПФД			Шум			Вибрация общая		
	ср. вз. балл	балл СОУТ	p -value	ср. вз. балл	балл СОУТ	p -value	ср. вз. балл	балл СОУТ	p -value	ср. вз. балл	балл СОУТ	p -value
ЭСП	2,05	2	0,763	3,17	2	<0,001	3,05	3	0,766	2,06	1	<0,001
ГРОЗ	2,93	2	0,001	3,64	3,5	0,576	3,58	3,5	0,733	3,27	1	<0,001
ПР	1,96	2	0,836	3,55	4	0,047	3,45	3,5	0,829	3,23	1	<0,001
ГРП	1,97	2	0,865	3,25	3	0,235	3,21	3	0,344	1,97	1	<0,001

Примечание. ЭСП — электрослесари подземные; ГРОЗ — горнорабочие очистного забоя; ПР — проходчики; ГРП — горнорабочие подземные; СОУТ — специальная оценка условий труда; АПФД — аэрозоли преимущественно фиброгенного действия; серый фон — факторы, для которых класс условий труда по результатам СОУТ и субъективные оценки работников статистически значимо различаются ($p < 0,05$); курсив — факторы, для которых значение p -критерия было незначительно отклонённым от 0,05.

Таблица 4. Сравнение выраженности вредных и (или) опасных производственных факторов по данным субъективной оценки работников и результатов специальной оценки условий труда (часть 2)

Table 4. Comparison of the severity of hazardous and/or harmful occupational factors according to workers' subjective self assessment and results of the special workplace assessment (part 2)

Профгруппа	Вибрация локальная			Микроклимат			Тяжесть труда			Напряжённость труда		
	ср. вз. балл	балл СОУТ	<i>p</i> -value	ср. вз. балл	балл СОУТ	<i>p</i> -value	ср. вз. балл	балл СОУТ	<i>p</i> -value	ср. вз. балл	балл СОУТ	<i>p</i> -value
ЭСП	1,95	1	<0,001	2,89	3	0,466	2,91	3,5	<0,001	2,62	2	<0,001
ГРОЗ	3,54	3	0,053	3,14	3	0,602	3,54	3,5	0,899	3,19	2	<0,001
ПР	4,00	3	<0,001	3,34	3	0,065	3,87	3,5	0,068	3,26	2	<0,001
ГРП	2,00	2	1	2,83	3	0,418	3,33	3,5	0,462	2,66	2	<0,001

Примечание. ЭСП — электрослесари подземные; ГРОЗ — горнорабочие очистного забоя; ПР — проходчики; ГРП — горнорабочие подземные; СОУТ — специальная оценка условий труда; серый фон — факторы, для которых класс условий труда по результатам СОУТ и субъективные оценки работников статистически значимо различаются ($p < 0,05$); курсив — факторы, для которых значение p -критерия было незначительно отклонённым от 0,05.

воздействие этого фактора как вредное. ПР оценили воздействие локальной вибрации значительно выше, чем СОУТ (КУТ 3.3 вместо КУТ 3.1). Оценки микроклимата в рамках СОУТ в целом совпали с субъективной оценкой работников. ЭСП оценили тяжесть труда ниже, чем СОУТ (КУТ 3.1 вместо КУТ 3.2), что впоследствии было отражено и в других ответах на вопросы. Напряжённость труда оценена всеми профессиональными группами работников выше, чем СОУТ (КУТ 3.1 вместо КУТ 1), что может быть обусловлено ограниченностью показателей напряжённости труда, оцениваемых в рамках СОУТ. О недооценке напряжённости труда при СОУТ шахтёров говорилось в рассматриваемом источнике [10].

Среди источников шума, которые указаны респондентами, присутствует как основное, так и вспомогательное технологическое оборудование, уровень шума которого может не оцениваться в рамках СОУТ, если трудовая функция работника напрямую не связана с применением этого оборудования.

При интерпретации ответов на вопросы о запылённости также следует учитывать, что ношение средств индивидуальной защиты органов дыхания существенно затрудняет дыхание, особенно при выполнении тяжёлых физических работ, из-за чего работники часто вынуждены пренебрегать их использованием, нарушая требования техники безопасности. Поэтому применение работниками средств индивидуальной защиты органов дыхания может свидетельствовать о крайней степени загрязнённости воздушной среды.

Масса оборудования, указанного работниками при описании наиболее физически тяжёлых операций, может варьировать от нескольких десятков (детали конвейера СР-70) до сотен килограмм (гидравлические призабойные стойки, газовый сепаратор, комплексные распределительные устройства, механизированные крепи). Несмотря на то что шахтёр при выполнении работ мог не переносить вышеперечисленные грузы, сохранялась необходимость толкать и придерживать их,

что обуславливало значительные статические нагрузки. Их измерение — предмет будущих исследований.

Полученные результаты в рамках опроса о микроклимате могут свидетельствовать об отклонении температуры и скорости движения воздуха от допустимых значений как в сторону выше допустимого диапазона, так и ниже него. Наличие сквозняков, обусловленное проветриванием выработок нагнетательным способом при помощи мощных вентиляционных установок, повышает степень вредности работ по параметрам микроклимата. Так, при скорости движения воздуха от 0,26 до 4 м/с, температура воздуха устанавливается на 2–4 °С выше минимально допустимой, а при скорости более 4,0 м/с степень вредности условий труда увеличивается на одну степень. Ощущения работников, воспринимающих микроклимат как охлаждающий, свидетельствуют о том, что должные регламенты поддержания его параметров в шахте могут не соблюдаться.

Ограничения исследования. В исследовании проанализированы результаты анкетирования только на одном предприятии, в отдельном регионе, с определёнными условиями добычи угля и особенностями климата региона (2024 г.). Анкетирование продолжается на других шахтах Ростовской, Мурманской и Кемеровской областей, результаты планируется опубликовать в 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённая работа показала высокую значимость анкетного опроса работников, занятых подземной добычей угля, поскольку условия их деятельности малодоступны для объективной оценки и тщательного проведения СОУТ и производственного контроля. Кроме того, учёт мнения работников об особенностях условий труда необходим при идентификации ВОПФ на рабочих местах при проведении СОУТ и оценке профессионального риска.

Полученные результаты представляют научный и практический интерес, так как содержат современные

данные о реально идентифицируемых вредных производственных факторах на рабочих местах, выявленных различными профессиональными группами шахтёров. В исследовании обоснована важность персонализированных общегигиенических и медико-биологических профилактических мероприятий для снижения устранимых профессиональных рисков, выбора приоритетных направлений превентивной работы.

Результаты исследования могут быть учтены при составлении программ оценки профессионального риска, СОУТ и производственного контроля и оценке их результатов, организации техпроцессов, разработке комплексов профилактических мероприятий, в том числе назначениях послесменной физиотерапевтической реабилитации, режимов труда и отдыха работников исследованных профессиональных групп, определения оптимальной продолжительности рабочей смены, недели, а также в целях совершенствования медицинских осмотров, формирования групп риска развития профессиональных и хронических неинфекционных заболеваний.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Е.В. Зибарев — концепция и дизайн исследования, разработка опросной формы, редактирование текста; С.М. Вострикова — сбор и анализ литературных источников, написание текста, редактирование статьи; О.К. Кравченко — разработка опросной формы, анализ данных, написание и редактирование текста; А.К. Бессонова — разработка опросной формы, сбор и анализ данных, написание и редактирование текста; С.М. Никонова — сбор и анализ данных, написание текста. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. акад. Н.Ф. Измерова» (протокол № 5 от 02.08.2023).

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Filimonov ES, Korotenko OYu, Ulanova EV, Tapeshekina NV. Risk factors in the development of cardiovascular diseases in the coal industry workers. *Hygiene and Sanitation*. 2022;101(7):770–775. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-7-770-775 EDN: KCMCFO
2. Golovkova NP, Kuzmina LP, Izmerova NI, et al. Priority directions for preserving the health of underground coal mining workers. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2023;63(12):795–801. doi: 10.31089/1026-9428-2023-63-12-795-801 EDN: NBZYJT
3. Raudina SN, Semenikhin VA, Filimonov SN. Hygienic appreciation of the occupational conditions and the incidence of the hearing organ in the coal industry workers. *Medicine in Kuzbass*. 2020;19(4):64–69. doi: 10.24411/2687-0053-2020-10041 EDN: KINRWQ
4. Zakharenkov VV, Kisilitsyna VV. Hygienic evaluation of the working conditions and occupational risk for health of the workers of a coal mine. *Advances in Current Natural Sciences*. 2013;(11):14–18. EDN: RCHMAB
5. Prokopenko LV, Chebotarev AG, Golovkova NP, et al. Working conditions, occupational morbidity, risks of violation health of drivers of mining machines in quarries. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2022;62(6):403–411. doi: 10.31089/1026-9428-2022-62-6-403-411 EDN: KZKSAT
6. Kurenkova GV, Lemeshevskaya EP. Hygienic characteristics of working conditions in underground structures and their impact on the health of workers. *Siberian Medical Journal (Irkutsk)*. 2015;136(5): 98–105. EDN: VMGIGB
7. Syurin SA, Gorbaney SA. Regional features of occupational pathology in the Arctic zone of the Russian Federation (2007–2018). *Health Care of the Russian Federation*. 2021;65(3):251–260. doi: 10.47470/0044-197X-2021-65-3-251-260 EDN: MYRND
8. Partas OV, Lastkov DO. Hygienic justification of professional routes study and development risk of occupational pathology of coal mine workers. *Vestnik of Hygiene and Epidemiology*. 2022;26(4):358–364. EDN: YLUGVB

Источники финансирования. Отсутствуют.

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

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

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

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

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

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: E.V. Zibarev: conceptualization, methodology, writing—review & editing; S.M. Vostrikova: investigation, writing—original draft, writing—review & editing; O.K. Kravchenko: methodology, formal analysis, writing—review & editing; A.K. Bessonova: methodology, data curation, formal analysis, writing—original draft, writing – review & editing; S.M. Nikonova: data curation, formal analysis, writing—original draft. 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 Izmerov Research Institute of Occupational Health (Protocol No. 5 dated August 2, 2023).

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

Funding sources: No funding.

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

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

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

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

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

9. Tuyenbayev AM, Forsyuk AA. Evaluation of professional and occupational health risk of miners. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2011;(9):83–88 EDN: MRMAPM
10. Bukhtiyarov IV, Zibarev EV, Vostrikova SM, et al. The current state of working conditions in coal mines of Russia. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2023;63(6):348–358. doi: 10.31089/1026-9428-2023-63-6-348-358 EDN: VXAJAP
11. Mokhnachuk II, Piktushanskaya TE, Bryleva MS, Betts KV. Workplace mortality at coal industry enterprises of Russia. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2023;63(2):88–93. doi: 10.31089/1026-9428-2023-63-2-88-93 EDN: QXWPPQ
12. Golovkova NP, Chebotarev AG, Kaledina NO, Khelkovsky-Sergeyev NA. Assessment of working conditions, occupational risk, the state of occupational morbidity and occupational injuries of coal industry workers. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2011;(S7):9–40. EDN: ONBWKI
13. Suvidova TA, Oleshchenko AM, Kislitsyna VV. The main directions of optimization of activity of Rospotrebnadzor directed on prevention of occupational diseases at miners. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2019;59(6):376–380. doi: 10.31089/1026-9428-2019-6-376-380 EDN: ESROWQ
14. Fomin AI, Zhuikov AE, Grunskoy TV. Influence of working conditions on the function of external respiration in underground oil mine workers. *Hygiene and Sanitation*. 2022;101(4):406–411. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-4-406-411 EDN: SHJSYA
15. Malyutina NN, Paramonova SV. The development risk assessing of hypertension in underground workers during the psychological support. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2022;62(8):513–519. doi: 10.31089/1026-9428-2022-62-8-513-519 EDN: NXQRUG
16. Vlasova EM, Vorobyova AA, Alekseev VB, et al. Analysis of the prevalence of metabolic syndrome risk factors and the option of their correction among workers in underground mining. *Hygiene and Sanitation*. 2020;99(12):1418–1425. doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1418-1425 EDN: CSTYRS
17. Strzemecka J, Goździewska M, Skrodziuk J, et al. Factors of work environment hazardous for health in opinions of employees working underground in the 'Bogdanka' coal mine. *Ann Agric Environ Med*. 2019;26(3):409–414. doi: 10.26444/aaem/106224

ОБ АВТОРАХ

* **Зибарев Евгений Владимирович**, д-р мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 105275, Москва, пр. Будённого, д. 31;
ORCID: 0000-0002-5983-3547;
eLibrary SPIN: 8367-0651;
e-mail: zibarev@irioh.ru

Вострикова Светлана Михайловна, канд. экон. наук;
ORCID: 0000-0003-1211-2926;
eLibrary SPIN: 9903-1505;
e-mail: vostrikovasveta@gmail.com

Кравченко Ольга Кирилловна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0001-6509-2485;
eLibrary SPIN: 7296-5908;
e-mail: kravchenko_ok@inbox.ru

Бессонова Анна Константиновна;
ORCID: 0009-0009-7215-0095;
eLibrary SPIN: 8631-1898;
e-mail: bessankonsta@gmail.com

Никонова София Максимовна;
ORCID: 0000-0003-0036-6603;
eLibrary SPIN: 1680-7261;
e-mail: sofianikonova@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Evgeny V. Zibarev**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Associate Professor;
address: 31 Budyonny ave, Moscow, Russia, 105275;
ORCID: 0000-0002-5983-3547;
eLibrary SPIN: 8367-0651;
e-mail: zibarev@irioh.ru

Svetlana M. Vostrikova, Cand. Sci. (Economics);
ORCID: 0000-0003-1211-2926;
eLibrary SPIN: 9903-1505;
e-mail: vostrikovasveta@gmail.com

Olga K. Kravchenko, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0001-6509-2485;
eLibrary SPIN: 7296-5908;
e-mail: kravchenko_ok@inbox.ru

Anna K. Bessonova;
ORCID: 0009-0009-7215-0095;
eLibrary SPIN: 8631-1898;
e-mail: bessankonsta@gmail.com

Sofia M. Nikonova;
ORCID: 0000-0003-0036-6603;
eLibrary SPIN: 1680-7261;
e-mail: sofianikonova@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author