

Учредитель и издатель: Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
“Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова”

Научный
рецензируемый
журнал

Издаётся с 2013 года

Выходит 4 раза в год

ЖУРНАЛ медико-биологических исследований

До 1 января 2017 года – «Вестник Северного (Арктического) федерального университета.
Серия “Медико-биологические науки”»

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-67709
выдано 10 ноября 2016 года
Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Подписной индекс журнала – 82797

Главный редактор **А.О. Марьяндышев**

Редакционная коллегия:

Н.М. Антонова (София, Болгария),
Ю.В. Архипенко (Москва, Россия),
М.М. Безруких (Москва, Россия),
Р.В. Бузинов (г. Архангельск, Россия),
Ю.А. Владимиров (Москва, Россия),
А.Б. Гудков (г. Архангельск, Россия),
В.В. Зинчук (г. Гродно, Беларусь),
М.Ф. Казанова (г. Колумбия, Южная Каролина, США),
И.С. Коженикова (отв. ред.) (г. Архангельск, Россия),
И.В. Кузнецова (отв. секретарь) (г. Архангельск, Россия),
Е.Б. Лысков (г. Евле, Швеция),
А.Л. Максимов (г. Магадан, Россия),
М. Паасуке (г. Тарту, Эстония),
М.Н. Панков (зам. гл. ред.) (г. Архангельск, Россия),
Л.В. Поскотинова (зам. гл. ред.) (г. Архангельск, Россия),
Л.В. Соколова (г. Архангельск, Россия),
С.И. Сороко (Санкт-Петербург, Россия),
В.А. Ткачук (Москва, Россия),
Т. Ульрикс (Берлин, Германия),
М.М. Филиппов (Киев, Украина),
В.Х. Хавинсон (Санкт-Петербург, Россия),
А.В. Шабров (Санкт-Петербург, Россия),
А.С. Шаназаров (Бишкек, Кыргызстан),
Л.С. Щёголева (г. Архангельск, Россия)

Редакционный совет:

Ю.В. Агафонов (г. Архангельск, Россия),
М.В. Балыкин (г. Ульяновск, Россия),
А.Н. Баранов (г. Архангельск, Россия),
Н.А. Бебякова (г. Архангельск, Россия),
Е.Р. Бойко (г. Сыктывкар, Россия),
М.И. Бочаров (г. Сыктывкар, Россия),
Л.К. Добродеева (г. Архангельск, Россия),
Л.И. Иржак (г. Сыктывкар, Россия),
В.И. Корчин (г. Ханты-Мансийск, Россия),
С.Г. Кривошеков (г. Новосибирск, Россия),
А.Ю. Мейгал (г. Петрозаводск, Россия),
А.А. Мельников (г. Ярославль, Россия),
И.А. Новикова (г. Архангельск, Россия),
С.В. Нотова (г. Оренбург, Россия),
А.С. Сарычев (г. Архангельск, Россия),
А.Г. Соловьев (г. Архангельск, Россия),
С.Г. Суханов (г. Архангельск, Россия),
И.А. Тихомирова (г. Ярославль, Россия),
В.И. Торшин (Москва, Россия),
В.И. Циркин (г. Киров, Россия),
Л.С. Чутко (Санкт-Петербург, Россия),
С.Н. Шилев (г. Красноярск, Россия)

Том 12, № 1
2024

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Патурова И.Г., Полежаева Т.В., Зайцева О.О., Соломина О.Н., Худяков А.Н., Сергушкина М.И., Циркин В.И., Дмитриева С.Л. Влияние дидрогестерона на окситоцинореактивность нейтрофилов венозной крови беременных женщин и родильниц.....	5
Копылова С.В., Жакет Э. Иммунометаболический статус крыс при моно-КВЧ-терапии отека легких.....	16
Ширяева Т.П., Федотов Д.М., Преминина О.С., Грибанов А.В. Факторная структура показателей походки у пожилых мужчин и женщин.....	24
Кирилина В.М., Смирнова О.Е., Блажевич Л.Е., Маслюков П.М. Влияние кромогликата натрия и интрамуральных ганглиев на экспрессию гена <i>TNFR1</i> в бронхах крыс с овальбумин-индуцированной бронхиальной астмой.....	32
Хашхожева Д.А., Иваненко А.В., Фоминова Ю.С., Эристов И.Х. Динамика физиологических показателей студентов г. Луганска при прохождении практики в высокогорье.....	40
Чуб И.С., Карякина О.Е., Артемов А.В., Борейко А.П., Карякин А.А., Захарченко У.Р. Морфометрические особенности сердца у детей 7–10 лет, проживающих на территории Архангельской области.....	49
Тишутин Н.А. Постуральный баланс при выполнении теста Ромберга у футболистов с различными типами вегетативной регуляции.....	60
Шенгоф Б.А., Бичкаева Ф.А., Нестерова Е.В. Сравнительный анализ мононенасыщенных жирных кислот в периферической крови жителей различных климатогеографических территорий	70

СОДЕРЖАНИЕ

Индексируется в: Размещается в:

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU



INFOBASE INDEX



Редакторы:

А.В. Крюкова, М.Г. Аверина

Ведущие редакторы:

И.В. Кузнецова, А.В. Крюкова

Переводчик

С.В. Бирюкова

Документовед

Е.В. Андреева

Верстка

Е.Б. Красновой

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных журналов ВАК для опубликования основных научных результатов диссертаций в области биологических, медико-биологических наук, клинической и профилактической медицины.

Адрес редакции:

163002, г. Архангельск,
наб. Северной Двины, д. 17, ауд. 1336

Тел.: +7(8182) 21-61-21

E-mail: vestnik@narfu.ru;

vestnik.med@narfu.ru

Выход в свет 26.02.2024.

Бумага писчая. Формат 84×108 1/16

Усл. печ. л. 15,33. Уч.-изд. л. 12,95.

Тираж 250 экз. Заказ № 8531.

Адрес типографии:

Издательский дом

имени В.Н. Булатова САФУ

163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 56

Свободная цена

© САФУ имени М.В. Ломоносова, 2024

Красникова О.В., Шабалин М.А., Кондрашина О.В., Пискунова М.С., Кондратьева А.Р., Кольтюкова Н.В., Московцева О.М. Изменение ИК-спектров метаболитов энергетического обмена в крови крыс с гепатоцеллюлярной карциномой при воздействии гипертермии и апитоксина..... 80

ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Санников А.Л., Грищенкова Е.В., Семерикова Д.А., Соломатина Е.В. Тенденции смертности от внешних причин населения Европейского Севера за 2010–2021 годы..... 89

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

Шепелева О.А., Дегтева Г.Н., Новикова И.И., Шевкун И.Г., Романенко С.П., Семенихина М.В., Попова О.Н., Гудков А.Б. Морские водоросли как важный функциональный ингредиент и продовольственное сырье для обогащения рационов питания населения Арктической зоны Российской Федерации (обзор)..... 99

Григорик В.А., Пронина М.В., Старченко М.Г. Процессы когнитивного контроля в тесте Струпа и их отражение в связанных с событиями потенциалах (обзор)..... 114

Огуй В.О., Литвиченко Е.М., Быков Е.В. Массаж в акушерстве и перспективы применения авторского метода виброакустического массажа поющими чашами в пренатальный период (обзор)..... 129

К сведению авторов..... 144

Scientific
peer-reviewed
journal

Published since 2013

JOURNAL of Medical and Biological Research

Until January 1, 2017 – Vestnik of Northern (Arctic) Federal University
Series "Medical and Biological Sciences"

Issued quarterly

Registration certificate PI no. FS 77-67709
issued on November 10, 2016 by the Federal
Service for Supervision in the Sphere
of Communications, Information Technology and Mass
Communications (Roskomnadzor)

Subscriptional index of the journal – 82797

Editor in Chief **A.O. Maryandyshev**

Editorial Board:

N.M. Antonova (Sofia, Bulgaria),
Yu.V. Arkhipenko (Moscow, Russia),
M.M. Bezrukikh (Moscow, Russia),
R.V. Buzinov (Arkhangelsk, Russia),
Yu.A. Vladimirov (Moscow, Russia),
A.B. Gudkov (Arkhangelsk, Russia),
V.V. Zinchuk (Grodno, Belarus),
M.F. Casanova (Columbia, South Carolina, USA),
I.S. Kozhevnikova (Executive Editor) (Arkhangelsk, Russia),
I.V. Kuznetsova (Executive Secretary) (Arkhangelsk, Russia),
E.B. Lyskov (Gävle, Sweden),
A.L. Maksimov (Magadan, Russia),
M. Pääsuke (Tartu, Estonia),
M.N. Pankov (Deputy Editor in Chief) (Arkhangelsk, Russia),
L.V. Poskotinova (Deputy Editor in Chief) (Arkhangelsk, Russia),
L.V. Sokolova (Arkhangelsk, Russia),
S.I. Soroko (St. Petersburg, Russia),
V.A. Tkachuk (Moscow, Russia),
T. Ulrichs (Berlin, Germany),
M.M. Filippov (Kiev, Ukraine),
V.Kh. Khavinson (St. Petersburg, Russia),
A.V. Shabrov (St. Petersburg, Russia),
A.S. Shanazarov (Bishkek, Kyrgyzstan),
L.S. Shchegoleva (Arkhangelsk, Russia)

Editorial Council:

Yu.V. Agafonov (Arkhangelsk, Russia),
M.V. Balykin (Ulyanovsk, Russia),
A.N. Baranov (Arkhangelsk, Russia),
N.A. Bebyakova (Arkhangelsk, Russia),
E.R. Boyko (Syktyvkar, Russia),
M.I. Bocharov (Syktyvkar, Russia),
L.K. Dobrodeeva (Arkhangelsk, Russia),
L.I. Irzhak (Syktyvkar, Russia),
V.I. Korchin (Khanty-Mansiysk, Russia),
S.G. Krivoshechekov (Novosibirsk, Russia),
A.Yu. Meygal (Petrozavodsk, Russia),
A.A. Melnikov (Yaroslavl, Russia),
I.A. Novikova (Arkhangelsk, Russia),
S.V. Notova (Orenburg, Russia),
A.S. Sarychev (Arkhangelsk, Russia),
A.G. Solovyov (Arkhangelsk, Russia),
S.G. Sukhanov (Arkhangelsk, Russia),
I.A. Tikhomirova (Yaroslavl, Russia),
V.I. Torshin (Moscow, Russia),
V.I. Tsirkin (Kirov, Russia),
L.S. Chutko (St. Petersburg, Russia),
S.N. Shilov (Krasnoyarsk, Russia)

Vol. 12, no. 1

2024

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

Paturova I.G., Polezhaeva T.V., Zaytseva O.O., Solomina O.N., Khudyakov A.N., Sergushkina M.I., Tsirkin V.I., Dmitrieva S.L. Effect of Dihydrogesterone on the Oxytocin Reactivity of Venous Blood Neutrophils in Pregnant Women and Puerperae.....	5
Kopylova S.V., Jacquet E. Immunometabolic Status of Rats in Mono-EHF Therapy for Pulmonary Oedema.....	16
Shiryayeva T.P., Fedotov D.M., Preminina O.S., Griбанov A.V. Factor Structure of Gait Parameters in Older Men and Women....	24
Kirilina V.M., Smirnova O.E., Blazhevich L.E., Maslyukov P.M. Effect of Sodium Cromoglycate and Intramural Ganglia on <i>TNFR1</i> Gene Expression in the Bronchi of Rats with Ovalbumin-Induced Bronchial Asthma.....	32
Khashkhozheva D.A., Ivanenko A.V., Fominova Yu.S., Eristov I.Kh. Dynamics of Physiological Parameters in Lugansk Students During Internship in the Highlands.....	40
Chub I.S., Karyakina O.E., Artemov A.V., Boreyko A.P., Karyakin A.A., Zakharchenko U.R. Morphometric Characteristics of the Heart in Children Aged 7–10 Years Living in the Arkhangelsk Region.....	49
Tishutin N.A. Postural Balance in Football Players with Different Types of Autonomic Regulation When Performing the Romberg Test.....	60
Shengof B.A., Bichkaeva F.A., Nesterova E.V. Comparative Analysis of Monounsaturated Fatty Acids in the Peripheral Blood of Residents of Different Climatic Regions.....	70

CONTENTS

Indexed in:



Included in:



Editors:
A.V. Kryukova, M.G. Averina

Managing Editors:
I.V. Kuznetsova, A.V. Kryukova

Translator
S.V. Biryukova

Document Manager
E.V. Andreyeva

Make-up by
E.B. Krasnova

The journal is included by the Higher Attestation Commission in the list of reviewed scientific journals publishing major scientific results of theses for academic degrees in the fields of biological and medical and biological sciences, as well as clinical and preventive medicine.

Editorial office address:
nab. Severnoy Dviny 17, room 1336,
Arkhangelsk, 163002
Phone: +7 (8182) 21-61-21
E-mail: vestnik@narfu.ru;
vestnik.med@narfu.ru

Publication date 26.02.2024.
Writing paper. Format 84x108 1/16.
Conv. printer's sh. 15.33.
Acad. publ. sh. 12.95.
Circulation 250 copies. Order no. 8531.

Printer's address:
NArFU Publishing House named after V.N. Bulatov
ul. Uritskogo 56, Arkhangelsk, 163060

Free price

© NArFU named after M.V. Lomonosov, 2024

Krasnikova O.V., Shabalin M.A., Kondrashina O.V., Piskunova M.S., Kondrat'eva A.R., Kol'tyukova N.V., Moskovtseva O.M. Changes in the IR Spectra of Energy Metabolism Metabolites in the Blood of Rats with Hepatocellular Carcinoma Under the Influence of Hyperthermia and Apitoxin..... 80

PREVENTIVE MEDICINE

Sannikov A.L., Grishchenkova E.V., Semerikova D.A., Solomatina E.V. Trends in Mortality from External Causes in the Population of the European North of Russia for 2010–2021..... 89

REVIEW ARTICLES

Shepeleva O.A., Degteva G.N., Novikova I.I., Shevkun I.G., Romanenko S.P., Semenikhina M.V., Popova O.N., Gudkov A.B. Seaweed as an Important Functional Ingredient and Alimentary Raw Material for Enriching the Diet of the Population in the Arctic Zone of the Russian Federation (Review)..... 99

Grigorik V.A., Pronina M.V., Starchenko M.G. Cognitive Control Processes in the Stroop Task and Their Reflection in Event-Related Potentials (Review)..... 114

Oguy V.O., Litvichenko E.M., Bykov E.V. Massage in Obstetrics and the Prospects for Using the Author's Method of Vibroacoustic Massage with Singing Bowls During Pregnancy (Review)..... 129

Information for Authors..... 144



Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 1. С. 5–15.
Journal of Medical and Biological Research, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 5–15.

Научная статья
УДК 612.112.9.91
DOI: 10.37482/2687-1491-Z175

Влияние дидрогестерона на окситоцинореактивность нейтрофилов венозной крови беременных женщин и рожениц

Инна Геннадьевна Патурова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8555-4525>
Татьяна Витальевна Полежаева** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4999-3077>
Оксана Олеговна Зайцева** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9427-0420>
Ольга Нурзадиновна Соломина** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5187-8698>
Андрей Николаевич Худяков** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3757-8263>
Марта Игоревна Сергушкина** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3113-527X>
Виктор Иванович Циркин*** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3467-3919>
Светлана Леонидовна Дмитриева**** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2505-0202>

*Кировский государственный медицинский университет
(Киров, Россия)

**Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения
Российской академии наук»
(Сыктывкар, Россия)

***Казанский государственный медицинский университет
(Казань, Россия)

****Кировский областной клинический перинатальный центр
(Киров, Россия)

Аннотация. Способность стероидных гормонов модулировать связывание окситоцина с окситоциновыми рецепторами представляет большой интерес. **Цель** работы – изучить влияние окситоцина, дидрогестерона и их смеси на радикальную активность нейтрофилов венозной крови женщин в III триместре физиологически протекающей беременности и женщин в первые сутки после завершения срочных родов. **Материалы и методы.** С помощью хемилюминесцентного метода (аппарат БХЛ-07) изучено негеномное и геномное влияние дидрогестерона ($5 \cdot 10^{-5}$ г/л), окситоцина (10^{-7} МЕ/л) и их смеси на радикальную активность нейтрофилов венозной крови 20 женщин в III триместре физиологически протекающей беременности и 10 женщин в первые сутки после завершения срочных родов при стимуляции клеток лактексными частицами. При автоматическом вычете уровня шума регистрировали: максимальное значение интенсивности синтеза активных форм кислорода, время выхода интенсивности процесса на максимум, а также площадь под кривой хемилюминограммы, отражающую суммарный синтез радикальных частиц

Ответственный за переписку: Инна Геннадьевна Патурова, адрес: 610027, г. Киров, ул. К. Маркса, д. 112;
e-mail: paturova_ig@mail.ru

за 30 мин (время исследования). **Результаты.** Установлено, что фоновая радикальная активность нейтрофилов у женщин в первые сутки после завершения срочных родов была в 3 раза выше, чем у женщин в III триместре физиологически протекающей беременности. Согласно площади под кривой хемилюминограммы и максимальному значению интенсивности синтеза активных форм кислорода, окситоцин оказывал стимулирующий эффект на нейтрофилы венозной крови как беременных женщин в III триместре, так и родильниц (в равной степени). Дидрогестерон в каждой группе женщин в равной степени негеномно и геномно стимулировал радикальную активность нейтрофилов. Окситоцинореактивность нейтрофилов крови у женщин каждой группы при действии дидрогестерона через мембранные рецепторы не менялась, через ядерные – снижалась. Рассмотрены возможные механизмы участия прогестерона в регуляции окситоцинореактивности миометрия и нейтрофилов венозной крови женщин при беременности и после ее завершения.

Ключевые слова: дидрогестерон, окситоцин, радикальная активность нейтрофилов крови, беременные женщины, родильницы.

Для цитирования: Влияние дидрогестерона на окситоцинореактивность нейтрофилов венозной крови беременных женщин и родильниц / И. Г. Патурова, Т. В. Полежаева, О. О. Зайцева, О. Н. Соломина, А. Н. Худяков, М. И. Сергушкина, В. И. Циркин, С. Л. Дмитриева // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 5-15. – DOI: 10.37482/2687-1491-Z175.

Original article

Effect of Dydrogesterone on the Oxytocin Reactivity of Venous Blood Neutrophils in Pregnant Women and Puerperae

Inna G. Paturova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8555-4525>
Tat'yana V. Polezhaeva** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4999-3077>
Oksana O. Zaytseva** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9427-0420>
Ol'ga N. Solomina** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5187-8698>
Andrey N. Khudyakov** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3757-8263>
Marta I. Sergushkina** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3113-527X>
Viktor I. Tsirkin*** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3467-3919>
Svetlana L. Dmitrieva**** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2505-0202>

*Kirov State Medical University
(Kirov, Russian Federation)

**Federal Research Centre “Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences”
(Syktyvkar, Russian Federation)

***Kazan State Medical University
(Kazan, Russian Federation)

****Kirov Regional Clinical Perinatal Centre
(Kirov, Russian Federation)

Corresponding author: Inna Paturova, address: ul. K. Marksa 112, Kirov, 610027, Russian Federation; e-mail: paturova_ig@mail.ru

Abstract. The ability of steroid hormones to modulate the binding of oxytocin to oxytocin receptors is of great interest. The **purpose** of this article was to study the effect of oxytocin, dydrogesterone and their mixture on the radical activity of venous blood neutrophils in pregnant women during the 3rd trimester of a normal pregnancy and in women on the 1st day after term delivery. **Materials and methods.** Using the chemiluminescent method (BChL-07 biochemiluminometer) and cell stimulation with latex particles, we studied non-genomic and genomic effects of dydrogesterone ($5 \cdot 10^{-5}$ g/l), oxytocin (10^{-7} IU/l) and their mixture on the radical activity of venous blood neutrophils in 20 pregnant women in the 3rd trimester of a normal pregnancy and 10 women on the 1st day after term labour. When the noise level was automatically subtracted, the following were recorded: maximum intensity of the synthesis of reactive oxygen species, time to reach the maximum of synthesis intensity, and area under the chemiluminogram curve, reflecting the total synthesis of radical particles over the course of 30 min. **Results.** Baseline radical activity of neutrophils in women on the 1st day after term delivery was found to be three times higher than in women during the 3rd trimester of a normal pregnancy. Judging by the area under the chemiluminogram curve and maximum intensity of the synthesis of reactive oxygen species, oxytocin had an equal stimulating effect on venous blood neutrophils both in pregnant women during the 3rd trimester and in puerperae. Dydrogesterone in each group of women equally stimulated the radical activity of neutrophils, both non-genomically and genomically. In both groups, under the action of dydrogesterone through membrane receptors, oxytocin reactivity of neutrophils remained unchanged, while through nuclear receptors, it decreased. Possible mechanisms of progesterone's involvement in the regulation of oxytocin reactivity of the myometrium and venous blood neutrophils in women during pregnancy and postpartum are considered.

Keywords: *dydrogesterone, oxytocin, radical activity of neutrophils, pregnant women, puerperae.*

For citation: Paturova I.G., Polezhaeva T.V., Zaytseva O.O., Solomina O.N., Khudyakov A.N., Sergushkina M.I., Tsirkin V.I., Dmitrieva S.L. Effect of Dydrogesterone on the Oxytocin Reactivity of Venous Blood Neutrophils in Pregnant Women and Puerperae. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 5–15. DOI: 10.37482/2687-1491-Z175

Современная научная литература изобилует данными, указывающими на способность окситоцина проявлять разнообразные физиологические эффекты: он участвует в регуляции сердечно-сосудистой, дыхательной, пищеварительной, выделительной и иммунной систем, систем гемостаза, углеводного и жирового обмена [1], влияет и на психические функции [2]. Важным эффектом циркулирующего в крови и локально продуцируемого окситоцина является его способность повышать сократительную деятельность матки и тем самым принимать участие в индукции родов и их завершении, а также увеличивать активность миоэпителиальных клеток молочных желез [1, 3, 4]. В настоящее время обнаружен только один вид окситоциновых рецепторов, который экспрессирован в миометрии и эндометрии, децидуальной ткани, амнионе, клетках молочных желез, яичниках, вилочковой железе, предсердиях и

желудочках сердца, почечном эпителии, поджелудочной железе, адипоцитах, эндотелиоцитах сосудов, эритроцитах крови, во многих нейронах головного мозга [1, 5, 6].

Большой интерес представляет способность стероидных гормонов модулировать связывание окситоцина с окситоциновыми рецепторами. В частности, известно, что прогестерон в физиологической концентрации негеномно может снижать эффективность их активации [7–10]. Это указывает на то, что, возможно, происходит перекрещивание сигнальных путей от рецепторов к прогестерону и окситоцину, которые ассоциированы с G-белком. Очевидно, что вопрос о механизмах влияния прогестерона на активность окситоциновых рецепторов требует дальнейшего изучения, т. к. прогестерон способен оказать свое физиологическое воздействие не только

через мембранные рецепторы, но и через ядерные [3, 8, 9]. Мы полагаем, что лабораторным индикатором для изучения этого механизма может быть оценка хемилюминесцентным методом степени изменения радикальной активности нейтрофилов венозной крови при действии окситоцина, дидрогестерона и их смеси, т. к. известно, что у данного типа клеток имеется соответствующий рецепторный аппарат [10, 11]. В литературе подобных исследований нами не обнаружено. Сказанное выше позволяет обозначить цель настоящей работы – изучить влияние окситоцина, дидрогестерона и их смеси на радикальную активность нейтрофилов венозной крови женщин в III триместре физиологически протекающей беременности и женщин в первые сутки после завершения срочных родов.

Материалы и методы. Объектом исследования стала гепаринизированная венозная кровь женщин с физиологическим течением беременности (III триместр, 30–36 недель; $n = 20$), а также женщин в первые 24 ч после срочных родов ($n = 10$). Кровь забирали с помощью вакуумной системы в пробирки с Na-гепарином (Ningbo Greetmed Medical Instruments Co., Ltd., Китай) с информированного согласия пациенток.

Для оценки радикальной активности нейтрофилов венозной крови, простимулированной латексными шариками с диаметром частиц 0,08 мкм (Sigma-Aldrich, Германия), использовали биохемилюминометр БХЛ-07 (ООО «Медозонс», Россия). При автоматическом вычете уровня шума регистрировали следующие параметры: максимальное значение интенсивности I_{\max} (мВ), отражающее максимальный уровень синтеза активированных форм кислорода; время выхода на максимум $T_{I_{\max}}$ (с), характеризующее скорость развития реакции; площадь под кривой S (мВ·с), показывающая суммарный синтез радикальных частиц за 30 мин исследования.

Общепринятым считается, что среди клеток крови популяция нейтрофилов с существенным численным перевесом является главным источником образования активных форм кислорода,

поэтому при хемилюминесценции венозной или капиллярной крови не учитывается интенсивность свечения моноцитов и лимфоцитов [12].

Для определения уровня радикальной активности нейтрофилов 0,1 мл крови смешивали с 0,05 мл суспензии латексных шариков и вносили в измерительную кювету: 0,05 мл указанной выше смеси, 0,95 мл раствора Хенкса («БиолоТ», Россия) и 0,2 мл рабочего раствора люминола (Fluka BioChemika, Швейцария).

Для оценки влияния окситоцина на радикальную активность нейтрофилов 0,05 мл его раствора в концентрации от 10^{-10} до 10^{-6} МЕ/л (Gedeon Richter, Венгрия), приготовленного на среде Хенкса, добавляли к 0,1 мл исследуемой крови. Далее добавляли 0,05 мл суспензии латекса, а из полученной смеси (кровь + окситоцин + латекс) брали 0,1 мл и вносили в кювету с 0,9 мл раствора Хенкса, после чего добавляли 0,2 мл люминола.

Для оценки негеномного эффекта дидрогестерона (Дюфастон, Solvay Pharmaceuticals B.V., Нидерланды) 0,05 мл его раствора в концентрации $5 \cdot 10^{-5}$ г/л, приготовленного на среде Хенкса, добавляли к 0,1 мл исследуемой крови. Далее добавляли 0,05 мл суспензии латекса, а из полученной смеси (кровь + дидрогестерон + латекс) брали 0,1 мл и вносили в кювету с 0,9 мл раствора Хенкса, после чего добавляли 0,2 мл люминола.

При оценке геномного эффекта дидрогестерона 0,05 мл его раствора ($5 \cdot 10^{-5}$ г/л), приготовленного на среде Хенкса, добавляли к 0,1 мл исследуемой крови и данную смесь инкубировали при $+37$ °С в течение 120 мин, далее добавляли 0,05 мл суспензии латекса. Из полученной смеси (кровь + дидрогестерон + латекс) брали 0,1 мл и вносили в кювету с 0,9 мл раствора Хенкса, после чего добавляли 0,2 мл люминола.

Определение эффектов окситоцина на фоне негеномного действия дидрогестерона выполняли следующим образом: к 0,1 мл крови добавляли по 0,05 мл раствора окситоцина (10^{-7} МЕ/л) и дидрогестерона ($5 \cdot 10^{-5}$ г/л) и 0,1 мл суспензии латекса. В измерительную кювету вносили 0,2 мл подготовленной смеси,

0,8 мл раствора Хенкса и 0,2 мл рабочего раствора люминола.

Для изучения эффекта окситоцина на фоне генетического влияния дидрогестерона к 0,1 мл крови добавляли 0,05 мл раствора последнего ($5 \cdot 10^{-5}$ г/л), приготовленного на среде Хенкса, инкубировали смесь при $+37^\circ\text{C}$ в течение 120 мин, далее добавляли 0,05 мл раствора окситоцина (10^{-7} МЕ/л) и 0,05 мл суспензии латекса. В кювету вносили 0,2 мл смеси, 0,8 мл раствора Хенкса и 0,2 мл раствора люминола.

В каждом случае кювету с реакционной смесью помещали на 30 мин в измерительную камеру биохемилуминометра и запускали режим перемешивания и термостатирования ($+37^\circ\text{C}$).

Статистический анализ результатов исследования осуществляли в программе BioStat 2009 Professional 5.8.4 (AnalystSoft, США). Для оценки различий использовали непараметрические критерии Уилкоксона и Манна–Уитни при $p < 0,05$. Результаты исследования в таблицах и тексте представлены в виде медианы (Me) и 25-го и 75-го центилей (Q_1-Q_3).

Результаты. Установлено (табл. 1), что окситоцин в концентрациях 10^{-6} и 10^{-7} МЕ/л повышает ($p < 0,05$) радикальную активность нейтрофилов венозной крови беременных женщин в III триместре – это отражается в росте всех трех оцениваемых показателей хемилуминограммы. Статистически значимых отличий между эффектами концентраций окситоцина 10^{-6} и 10^{-7} МЕ/л не выявлено. В связи с этим при проведении дальнейших исследований, в т. ч. в группе женщин в послеродовом периоде, была использована меньшая концентрация – 10^{-7} МЕ/л.

Необходимо отметить, что статистически значимого дозозависимого эффекта у окситоцина при уменьшении его концентрации от 10^{-6} до 10^{-10} МЕ/л на клетках венозной крови беременных женщин в III триместре нами не обнаружено. Исследование зависимости эффекта окситоцина от его концентрации для венозной крови родильниц не проводилось.

Установлен более высокий фоновый уровень радикальной активности нейтро-

Таблица 1

Влияние окситоцина на показатели хемилуминоценции нейтрофилов венозной крови беременных женщин в III триместре (в процентах к фоновым значениям, принятым за 100 %), Me (Q_1-Q_3)

Influence of oxytocin on the chemiluminescence parameters of venous blood neutrophils in pregnant women in the 3rd trimester (as a percentage of baseline values set to 100 %), Me (Q_1-Q_3)

Серия опытов	Показатель хемилуминограммы		
	$S, \text{ мВ}\cdot\text{с}$	$I_{\text{max}}, \text{ мВ}$	$T_{I_{\text{max}}}, \text{ с}$
Фон (абсолютные значения)	75 056 (43 135–85 878)	67 (37–92)	1200 (1131–1292)
Окситоцин, 10^{-6} МЕ/л	163* (120–208)	167* (121–250)	41* (26–52)
Окситоцин, 10^{-7} МЕ/л	150* (129–221)	170* (136–232)	43* (30–49)
Окситоцин, 10^{-8} МЕ/л	120* (112–210)	184* (119–235)	28 (24–50)
Окситоцин, 10^{-9} МЕ/л	127 (99–205)	163* (110–266)	26* (13–36)
Окситоцин, 10^{-10} МЕ/л	122 (75–219)	143 (84–251)	43* (26–51)

Примечание. Численность каждой исследуемой серии – 10. Установлены статистически значимые различия: * – с фоновым значением (критерий Уилкоксона, $p < 0,05$).

филов женщин в первые сутки после родов по сравнению с уровнем в III триместре беременности (табл. 2). Например, показатель хемилуминограммы S , отражающий суммарный синтез радикальных частиц за 30 мин исследования, составлял 131 703 и 49 303 мВ·с соответственно.

Окситоцин, судя по показателям S и I_{\max} , оказывает стимулирующий эффект на нейтрофилы венозной крови в равной степени как беременных женщин в III триместре, так и рожениц – женщин в первые сутки после родов. Однако показатель $T_{J_{\max}}$, характеризующий скорость развития реакции, у женщин в

Таблица 2

Влияние дидрогестерона ($5 \cdot 10^{-5}$ г/л) на эффект окситоцина (10^{-7} МЕ/л) по показателям хемилуминесценции нейтрофилов венозной крови беременных женщин в III триместре (группа 1) и женщин в первые сутки после родов (группа 2) (в процентах к фоновым значениям, принятым за 100 %), $Me (Q_1-Q_3)$

Influence of dydrogesterone ($5 \cdot 10^{-5}$ g/l) on the effect of oxytocin (10^{-7} IU/l) according to the chemiluminescence parameters of venous blood neutrophils in pregnant women in the 3rd trimester (group 1) and women on the 1st day after delivery (group 2) (as a percentage of baseline values set to 100 %), $Me (Q_1-Q_3)$

Серия опытов	Группа женщин	Показатель хемилуминограммы		
		S , мВ·с	I_{\max} , мВ	$T_{J_{\max}}$, с
Фон (абсолютные значения)	1	49 303 (43 126–95 529)	56 (51–104)	1679 (1208–1750)
	2	131 703 ¹ (70 131–200 509)	165 ¹ (77–213)	1529 (1442–1615)
Окситоцин	1	188* (153–234)	155* (137–213)	29* (22–31)
	2	156* (110–223)	122 (82–157)	51* ¹ (38–62)
Дидрогестерон через 30 мин	1	267* [#] (157–435)	177* (161–249)	40* [#] (30–49)
	2	197* (171–355)	104 (98–167)	40* (21–47)
Окситоцин и дидрогестерон через 30 мин	1	256* [#] (197–478)	276* [#] (271–338)	29* (20–39)
	2	195* (150–280)	160* ¹ (136–249)	44* ¹ (40–56)
Дидрогестерон через 120 мин	1	151* (105–348)	131* (92–172)	59* [#] (50–71)
	2	160* (94–230)	96 (62–116)	55* (47–61)
Окситоцин и дидрогестерон через 120 мин	1	115* [#] (100–123)	85* [#] (75–143)	45* [#] (42–53)
	2	106 (83–208)	104 (78–200)	49* (40–63)

Примечание. Численность каждой исследуемой группы – 10. Установлены статистически значимые различия: * – с фоновым значением в данной группе (критерий Уилкоксона, $p < 0,05$); # – с серией «Окситоцин» в данной группе (критерий Уилкоксона, $p < 0,05$); ¹ – со значением в группе 1 данной серии (критерий Манна–Уитни, $p < 0,05$).

первые сутки после родов при этом статистически значимо снижается.

Ранее нами было показано, что дидрогестерон ($5 \cdot 10^{-5}$ г/л) негеномно (экспозиция с клетками крови 30 мин) и геномно (экспозиция с клетками крови 120 мин) повышает радикальную активность нейтрофилов венозной крови женщин во время физиологически протекающей беременности, а также в первый период срочных родов [11, 13]. В настоящей работе выявлено, что негеномный и геномный стимулирующие эффекты дидрогестерона наблюдаются и у женщин в первые сутки после родов. Кроме того, обнаружено, что интенсивность эффекта дидрогестерона одинакова у беременных женщин и родильниц.

Установлено, что на фоне негеномного эффекта дидрогестерона у нейтрофилов венозной крови женщин в III триместре беременности и женщин после родов повышения окситоцинореактивности не происходит (наблюдается эффект только дидрогестерона). Однако на фоне геномного эффекта дидрогестерона окситоцинореактивность снижается в каждой группе женщин и в равной степени.

Обсуждение. Согласно имеющимся в литературе данным, окситоцин при беременности является важным участником системы регуляции сократительной деятельности матки [3]. Известно, что чувствительность окситоциновых рецепторов в миометрии женщин во время беременности возрастает примерно в 12 раз к 37–41-й неделе, существенно нарастает перед родами, достигая максимальных значений в родах, и постепенно или резко снижается в послеродовом периоде [4, 5]. В отличие от большинства мембранных рецепторов, экспрессия окситоциновых рецепторов проходит очень быстро, т. е. она быстрорегулируемая (как в сторону усиления, так и снижения).

По мнению S. Arrowsmith et al. [14], механизмы, регулирующие экспрессию данных рецепторов в миометрии человека, являются многофакторными и поэтому по-прежнему остаются неопределенными. Одним из вероятных регуляторов окситоцинореактивности миометрия можно считать прогестерон. Физиоло-

гические эффекты прогестерона реализуются через мембранные рецепторы (mPR- α , mPR- β и mPR- γ), т. е. негеномно, и через ядерные (nPR-B, nPR-A и nPR-C) – геномно. Так, установлено, что прогестерон негеномно ингибирует связывание окситоцина с рецепторами в миометрии и подавляет окситоцин-индуцированную продукцию инозитолтрифосфата и мобилизацию ионов Ca^{2+} [7–9]. Через ядерные рецепторы к прогестерону nPR-B показано снижение экспрессии окситоциновых рецепторов [8, 15]. Известно, что уровень прогестерона накануне родов и в родах не падает, а экспрессия окситоциновых рецепторов возрастает. Существует гипотеза, согласно которой перед родами у женщин под влиянием транскрипционного фактора NF- κ B снижается экспрессия ядерного рецептора nPR-B, но повышается экспрессия nPR-A и nPR-C, благодаря чему утрачивается способность прогестерона подавлять экспрессию окситоциновых рецепторов миометрия, что способствует проявлению утеростимулирующего эффекта окситоцина [5, 15].

В настоящее время беременность рассматривается как своеобразный системный воспалительный процесс и ряд исследователей полагают, что нейтрофилы могут быть одной из причин индукции срочных или преждевременных родов. Начало родов связано с повышенной миграцией разных популяций лейкоцитов в репродуктивный тракт и децидуальную ткань и последующей продукцией ими провоспалительных цитокинов, которые вносят свой вклад в завершение беременности [16, 17]. Вопрос о наличии и динамике количества рецепторов к окситоцину на клетках крови человека, в частности нейтрофилах, остается открытым. Отсутствуют подобные сведения и при беременности. Имеется цикл работ, в которых показано, что окситоцин и родственные ему пептидные гормоны могут быть потенциально эффективны в противовоспалительной терапии сепсиса [18], воспаления висцеральной жировой ткани [19], в качестве кардиопротектора при диабете [20]. Вероятно, это связано с ингибированием

функции нейтрофилов, в т. ч. путем снижения выработки НАДФН-зависимого супероксида и высвобождения провоспалительных цитокинов [21]. Однако в нашей работе при непосредственном воздействии окситоцина на клетки крови выявлен эффект повышения активности НАДФН-оксидазы. В частности, окситоцин в концентрации 10^{-7} МЕ/л повышал радикальную активность нейтрофилов венозной крови женщин. Возможно, данный эффект связан с используемой концентрацией вещества. Известно, что применение окситоцина в высокой концентрации лежит в основе криминального прерывания беременности. Нельзя исключить, что именно стимуляция нейтрофилов на образование свободных радикалов инициирует процесс родов, т. к. непосредственная чувствительность у клеток миометрия к окситоцину на данном этапе беременности низкая.

Повышение радикальной активности нейтрофилов под действием окситоцина выявлено нами как у беременных женщин в III триместре, так и у родильниц, и в равной степени. Можно предположить, что активность окситоциновых рецепторов на этих этапах репродукции у нейтрофилов одинакова, что согласуется с данными литературы о постепенном росте активности окситоциновых рецепторов в миометрии к родам и снижению этой активности в послеродовом периоде [4, 5]. Вероятно, на модели с использованием венозных клеток крови можно оценить окситоцинореактивность организма женщины при беременности.

Нами показано, что дидрогестерон в концентрации $5 \cdot 10^{-5}$ г/л через мембранные рецепторы не влияет на реакцию нейтрофилов на окситоцин. Следовательно, на нашем тест-объекте мы не обнаружили известную по данным литературы способность прогестерона негеномно снижать эффективность активации окситоциновых

рецепторов в миометрии. Кроме того, такой эффект не выявлен нами и на нейтрофилах венозной крови женщин в послеродовом периоде. Можно предположить, что отсутствие эффекта обусловлено используемыми концентрациями дидрогестерона ($5 \cdot 10^{-5}$ г/л) и окситоцина (10^{-7} МЕ/л) либо что через мембранные рецепторы к прогестерону и окситоцину у нейтрофилов крови человека не происходит перекрещивания сигнальных путей в активации НАДФН-зависимого образования супероксида.

Определенный интерес вызывают данные о способности дидрогестерона геномно изменять окситоцинореактивность клеток венозной крови. Нами установлено, что у беременных женщин в III триместре дидрогестерон геномно снижает эффект окситоцина. Это согласуется с гипотезой о том, что в миометрии прогестерон подавляет активность окситоциновых рецепторов во время беременности через ядерные рецепторы типа nPR-B [3, 8, 15]. Однако нами показано, что у женщин в первые сутки после завершения срочных родов дидрогестерон также снижает эффект окситоцина. Возможно, это свидетельствует о сохранении активности рецепторов к прогестерону типа nPR-B у нейтрофилов, тогда как в миометрии для инициации родов происходит смена рецепторов nPR-B на nPR-A, через которые экспрессия окситоциновых рецепторов повышается [5, 15]. Следовательно, наше предположение о том, что с помощью клеток венозной крови (нейтрофилов) женщин можно отслеживать влияние прогестерона на уровень окситоцинореактивности миометрия, не подтвердилось. Вместе с тем выявленная способность прогестерона геномно (через ядерные рецепторы) снижать избыточную радикальную активность нейтрофилов, вызванную окситоцином, указывает на важную иммуномодулирующую роль прогестерона в сохранении беременности.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов: Патурова И.Г. – концепция и дизайн работы, сбор и анализ данных, подготовка, глубокая проработка и утверждение окончательного текста статьи; Полежаева Т.В. – концепция и дизайн работы,

анализ данных, подготовка, глубокая проработка и утверждение окончательного текста статьи; Зайцева О.О., Соломина О.Н., Худяков А.Н., Сергушкина М.И. – сбор и анализ данных; Циркин В.И. – концепция и дизайн работы, анализ данных, подготовка и глубокая проработка текста статьи; Дмитриева С.Л. – сбор данных.

Authors' contributions: I.G. Paturova developed the concept and design of the study, collected and analysed data, developed, carefully prepared and approved the final version of the manuscript; T.V. Polezhaeva developed the concept and design of the study, analysed data, developed, carefully prepared and approved the final version of the manuscript; O.O. Zaytseva, O.N. Solomina, A.N. Khudyakov and M.I. Sergushkina collected and analysed data; V.I. Tsirkin developed the concept and design of the study, analysed data, developed and carefully prepared the text of the article; S.L. Dmitrieva collected data.

Список литературы

1. Григорьева М.Е., Голубева М.Г. Окситоцин: строение, синтез, рецепторы и основные эффекты // Нейрохимия. 2010. Т. 27, № 2. С. 93–101.
2. Горшков-Кантакузен В.А., Шникалова М.А. Корреляции уровней окситоцина у детей разных этнических групп с аутизмом и расстройствами аутистического спектра // Бюл. науки и практики. 2016. Т. 12, № 13. С. 171–178. <https://doi.org/10.5281/zenodo.205202>
3. Тепляшина Е.А., Лопатина О.Л., Екимова М.В., Пожиленкова Е.А., Салмина А.Б. Роль окситоцина и окситоциновых рецепторов в регуляции репродуктивных функций и фолликулогенеза // Сиб. мед. журн. 2013. № 8. С. 21–26.
4. Alotaibi M.F. The Response of Rat and Human Uterus to Oxytocin from Different Gestational Stages *in vitro* // Gen. Physiol. Biophys. 2017. Vol. 36, № 1. P. 75–82. https://doi.org/10.4149/gpb_2016022
5. Arrowsmith S., Wray S. Oxytocin: Its Mechanism of Action and Receptor Signalling in the Myometrium // J. Neuroendocrinol. 2014. Vol. 26, № 6. P. 356–369. <https://doi.org/10.1111/jne.12154>
6. Циркин В.И., Анисимов К.Ю., Безмельцева О.М., Бушкова Е.Н., Братухина О.А., Дмитриева С.Л., Черепанова Т.В. Окситоцинореактивность эритроцитов беременных женщин и рожениц и влияние на нее атозибана и дидрогестерона // Вестн. Урал. мед. акад. науки. 2017. Т. 14, № 4. С. 399–413.
7. Bishop C.V., Stormshak F. Nongenomic Action of Progesterone Inhibits Oxytocin-Induced Phosphoinositide Hydrolysis and Prostaglandin F_{2α} Secretion in the Ovine Endometrium // Endocrinology. 2006. Vol. 147, № 2. P. 937–942. <https://doi.org/10.1210/en.2005-0869>
8. Bishop C.V. Progesterone Inhibition of Oxytocin Signaling in Endometrium // Front. Neurosci. 2013. Vol. 7. Art. № 138. <https://doi.org/10.3389/fnins.2013.00138>
9. Patil A.S., Swamy G.K., Murtha A.P., Heine R.P., Zheng X., Grotegut C.A. Progesterone Metabolites Produced by Cytochrome P450 3A Modulate Uterine Contractility in a Murine Model // Reprod. Sci. 2015. Vol. 22, № 12. P. 1577–1586. <https://doi.org/10.1177/1933719115589414>
10. Циркин В.И., Трухина С.И., Трухин А.Н., Анисимов К.Ю. Окситоциновые рецепторы (обзор литературы). Часть 2 // Вестн. Урал. мед. акад. науки. 2018. Т. 15, № 4. С. 625–640.
11. Патурова И.Г., Полежаева Т.В., Худяков А.Н., Соломина О.Н., Безмельцева О.М., Братухина О.А., Циркин В.И. Способность гинипрала изменять негеномное влияние дидрогестерона на свободнорадикальную активность нейтрофилов женщин на разных этапах репродукции // Журн. мед.-биол. исследований. 2017. Т. 5, № 4. С. 31–41. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2017.5.4.31>
12. Панасенко Л.М., Краснова Е.И., Ефремов А.В. Клиническое значение хемиллюминесцентного ответа лейкоцитов крови при коклюше // Бюл. Сиб. отд-ния РАМН. 2005. № 3(117). С. 44–47.
13. Патурова И.Г., Полежаева Т.В., Худяков А.Н., Безмельцева О.М., Сергушкина М.И., Братухина О.А., Дмитриева С.Л., Циркин В.И. Негеномное и геномное влияния дидрогестерона на адренореактивность нейтрофилов рожениц и женщин с угрозой преждевременных родов // Рос. физиол. журн. им И.М. Сеченова. 2018. Т. 104, № 4. С. 506–514.
14. Arrowsmith S., Neilson J., Wray S. The Combination Tocolytic Effect of Magnesium Sulfate and an Oxytocin Receptor Antagonist in Myometrium from Singleton and Twin Pregnancies // Am. J. Obstet. Gynecol. 2016. Vol. 215, № 6. P. 789.e1–789.e9. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2016.08.015>

15. *Renthal N.E., Williams K.C., Mendelson C.R.* MicroRNAs – Mediators of Myometrial Contractility During Pregnancy and Labour // *Nat. Rev. Endocrinol.* 2013. Vol. 9, № 7. P. 391–401. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2013.96>
16. *Luppi P., Irwin T.E., Simhan H., DeLoia J.A.* CD11b Expression on Circulating Leukocytes Increases in Preparation for Parturition // *Am. J. Reprod. Immunol.* 2004. Vol. 52, № 5. P. 323–329. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0897.2004.00229.x>
17. *Yuan M., Jordan F., McInnes I.B., Harnett M.M., Norman J.E.* Leukocytes Are Primed in Peripheral Blood for Activation During Term and Preterm Labour // *Mol. Hum. Reprod.* 2009. Vol. 15, № 11. P. 713–724. <http://dx.doi.org/10.1093/molehr/gap054>
18. *Mehdi S.F., Pusapati S., Khenhrani R.R., Farooqi M.S., Sarwar S., Alnasarat A., Mathur N., Metz C.N., LeRoith D., Tracey K.J., Yang H., Brownstein M.J., Roth J.* Oxytocin and Related Peptide Hormones: Candidate Anti-Inflammatory Therapy in Early Stages of Sepsis // *Front. Immunol.* 2022. Vol. 13. Art. № 864007. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.864007>
19. *Szeto A., Cecati M., Ahmed R., McCabe P.M., Mendez A.J.* Oxytocin Reduces Adipose Tissue Inflammation in Obese Mice // *Lipids Health Dis.* 2020. Vol. 19, № 1. Art. № 188. <https://doi.org/10.1186/s12944-020-01364-x>
20. *Jankowski M., Broderick T.L., Gutkowska J.* Oxytocin and Cardioprotection in Diabetes and Obesity // *BMC Endocr. Disord.* 2016. Vol. 16, № 1. Art. № 34. <https://doi.org/10.1186/s12902-016-0110-1>
21. *Szeto A., Rossetti M.A., Mendez A.J., Noller C.M., Herderick E.E., Gonzales J.A., Schneiderman N., McCabe P.M.* Oxytocin Administration Attenuates Atherosclerosis and Inflammation in Watanabe Heritable Hyperlipidemic Rabbits // *Psychoneuroendocrinology.* 2013. Vol. 38, № 5. P. 685–693. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2012.08.009>

References

1. Grigor'eva M.E., Golubeva M.G. Oxytocin: Structure, Synthesis, Receptors, and Basic Effects. *Neurochem. J.*, 2010, vol. 4, no. 2, pp. 75–83.
2. Gorshkov–Cantacuzene V., Shpikalova M. The Correlation of Oxytocin in Children of Different Ethnic Groups with Autism and Autistic Spectrum Disorder. *Bull. Sci. Pract.*, 2016, vol. 12, no. 13, pp. 171–178. <https://doi.org/10.5281/zenodo.205202>
3. Teplyashina E.A., Lopatina O.L., Ekimova M.V., Pozhilenkova E.A., Salmina A.B. Rol' oksitotsina i oksitotsinovykh retseptorov v regulyatsii reproduktivnykh funktsiy i follikulogeneza [Role of Oxytocin and Oxytocin Receptors in the Regulation of the Reproductive Function and Folliculogenesis]. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal*, 2013, no. 8, pp. 21–26.
4. Alotaibi M.F. The Response of Rat and Human Uterus to Oxytocin from Different Gestational Stages *in vitro*. *Gen. Physiol. Biophys.*, 2017, vol. 36, no. 1, pp. 75–82. https://doi.org/10.4149/gpb_2016022
5. Arrowsmith S., Wray S. Oxytocin: Its Mechanism of Action and Receptor Signalling in the Myometrium. *J. Neuroendocrinol.*, 2014, vol. 26, no. 6, pp. 356–369. <https://doi.org/10.1111/jne.12154>
6. Tsirkin V.I., Anisimov K.Yu., Bezmel'tseva O.M., Bushkova E.N., Bratukhina O.A., Dmitrieva S.L., Cherepanova T.V. Oksitotsinoreaktivnost' eritrotsitov beremennykh zhenshchin i rozhenits i vliyanie na nee atosibana i didrogesterona [Oxytocin Reactivity of Erythrocytes in Pregnant Women and Parturient Women and the Impact on It of Atosiban and Dydrogesterone]. *Vestnik Ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki*, 2017, vol. 14, no. 4, pp. 399–413.
7. Bishop C.V., Stormshak F. Nongenomic Action of Progesterone Inhibits Oxytocin-Induced Phosphoinositide Hydrolysis and Prostaglandin F_{2α} Secretion in the Ovine Endometrium. *Endocrinology*, 2006, vol. 147, no. 2, pp. 937–942. <https://doi.org/10.1210/en.2005-0869>
8. Bishop C.V. Progesterone Inhibition of Oxytocin Signaling in Endometrium. *Front. Neurosci.*, 2013, vol. 7. Art. no. 138. <https://doi.org/10.3389/fnins.2013.00138>
9. Patil A.S., Swamy G.K., Murtha A.P., Heine R.P., Zheng X., Grotegut C.A. Progesterone Metabolites Produced by Cytochrome P450 3A Modulate Uterine Contractility in a Murine Model. *Reprod. Sci.*, 2015, vol. 22, no. 12, pp. 1577–1586. <https://doi.org/10.1177/1933719115589414>
10. Tsirkin V.I., Trukhina S.I., Trukhin A.N., Anisimov K.Yu. Oksitotsinovyie retseptory (obzor literatury). Chast' 2 [Oxytocin Receptors (Literature Review). Part 2]. *Vestnik Ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki*, 2018, vol. 15, no. 4, pp. 625–640.

11. Paturova I.G., Polezhaeva T.V., Khudyakov A.N., Solomina O.N., Bezmel'tseva O.M., Bratukhina O.A., Tsirkin V.I. The Ability of Gynipral to Modify Dydrogesterone's Non-Genomic Effects on the Free-Radical Activity of Neutrophils in Women at Different Stages of Reproduction. *J. Med. Biol. Res.*, 2017, vol. 5, no. 4, pp. 31–41. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2017.5.4.31>

12. Panasenko L.M., Krasnova E.I., Efremov A.V. Klinicheskoe znachenie khemilyuminescentnogo otveta leykotsitov krovi pri koklyushe [Chemoluminescence of Solid Blood Leukocytes in Children Suffering from Whooping Cough and Its Clinical Significance]. *Byulleten' Sibirskogo otdeleniya RAMN*, 2005, no. 3, pp. 44–47.

13. Paturova I.G., Polezhaeva T.V., Khudyakov A.N., Bezmel'tseva O.M., Sergushkina M.I., Bratukhina O.A., Dmitrieva S.L., Tsirkin V.I. Negenomnoe i genomnoe vliyaniya didrogesterona na adrenoreaktivnost' neytrofilov rozhenits i zhenshchin s ugrozoy prezhdvremennykh rodov [Nongenomic and Genomic Influence of Dydrogesterone on the Adrenoreactivity of Neutrophils of Pregnant Women and Women with Threatened Preterm Labor]. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im I.M. Sechenova*, 2018, vol. 104, no. 4, pp. 506–514.

14. Arrowsmith S., Neilson J., Wray S. The Combination Tocolytic Effect of Magnesium Sulfate and an Oxytocin Receptor Antagonist in Myometrium from Singleton and Twin Pregnancies. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 2016, vol. 215, no. 6, pp. 789.e1–789.e9. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2016.08.015>

15. Renthall N.E., Williams K.C., Mendelson C.R. MicroRNAs – Mediators of Myometrial Contractility During Pregnancy and Labour. *Nat. Rev. Endocrinol.*, 2013, vol. 9, no. 7, pp. 391–401. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2013.96>

16. Luppi P., Irwin T.E., Simhan H., DeLoia J.A. CD11b Expression on Circulating Leukocytes Increases in Preparation for Parturition. *Am. J. Reprod. Immunol.*, 2004, vol. 52, no. 5, pp. 323–329. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0897.2004.00229.x>

17. Yuan M., Jordan F., McInnes I.B., Harnett M.M., Norman J.E. Leukocytes Are Primed in Peripheral Blood for Activation During Term and Preterm Labour. *Mol. Hum. Reprod.*, 2009, vol. 15, no. 11, pp. 713–724. <http://dx.doi.org/10.1093/molehr/gap054>

18. Mehdi S.F., Pusapati S., Khenhrani R.R., Farooqi M.S., Sarwar S., Alnasarat A., Mathur N., Metz C.N., LeRoith D., Tracey K.J., Yang H., Brownstein M.J., Roth J. Oxytocin and Related Peptide Hormones: Candidate Anti-Inflammatory Therapy in Early Stages of Sepsis. *Front. Immunol.*, 2022, vol. 13, Art. no. 864007. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.864007>

19. Szeto A., Cecati M., Ahmed R., McCabe P.M., Mendez A.J. Oxytocin Reduces Adipose Tissue Inflammation in Obese Mice. *Lipids Health Dis.*, 2020, vol. 19, no. 1, Art. no. 188. <https://doi.org/10.1186/s12944-020-01364-x>

20. Jankowski M., Broderick T.L., Gutkowska J. Oxytocin and Cardioprotection in Diabetes and Obesity. *BMC Endocr. Disord.*, 2016, vol. 16, no. 1, Art. no. 34. <https://doi.org/10.1186/s12902-016-0110-1>

21. Szeto A., Rossetti M.A., Mendez A.J., Noller C.M., Herderick E.E., Gonzales J.A., Schneiderman N., McCabe P.M. Oxytocin Administration Attenuates Atherosclerosis and Inflammation in Watanabe Heritable Hyperlipidemic Rabbits. *Psychoneuroendocrinology*, 2013, vol. 38, no. 5, pp. 685–693. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2012.08.009>

Поступила в редакцию 06.03.2023 / Одобрена после рецензирования 24.10.2023 / Принята к публикации 01.11.2023.

Submitted 6 March 2023 / Approved after reviewing 24 October 2023 / Accepted for publication 1 November 2023.

Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 1. С. 16–23.
Journal of Medical and Biological Research, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 16–23.

Научная статья
УДК 616-092.9(599.323.4+616.24-005.98):615.8
DOI: 10.37482/2687-1491-Z172

Иммунометаболический статус крыс при моно-КВЧ-терапии отека легких

Светлана Вячеславовна Копылова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5527-9075>
Эднер Жакет* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2215-2078>

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
(Нижний Новгород, Россия)

Аннотация. При отеке легких скопление тканевой жидкости в интерстициальных пространствах, а также в полостях альвеол препятствует выполнению дыхательной системой функции газообмена. Неэффективность различных терапевтических подходов, предложенных для борьбы с коронавирусом SARS-CoV-2, оправдывает поиск новых средств, которые способны улучшить исход заболевания. Одним из альтернативных методов лечения данной патологии может стать крайне высокочастотная (КВЧ) терапия. **Цель** исследования – оценить иммунометаболический статус крыс при моно-КВЧ-терапии отека легких. **Материалы и методы.** Оценивались концентрация циркулирующих иммунных комплексов в сыворотке крови и активность лактатдегидрогеназы в легочной ткани на фоне экспериментального отека легких и курсовой КВЧ-терапии. Исследование проводилось на 60 половозрелых самцах крыс линии Вистар массой 150–200 г. В ходе эксперимента животных разделили на три группы (интактная, контрольная и опытная). В контрольной и опытной группах моделировали отек легких путем внутрибрюшинного введения адреналина гидрохлорида. Курсовая КВЧ-терапия крыс опытной группы проводилась в течение 10 дней с применением биокорректора СЕМ-ТЕСН (40–43 ГГц, Россия) путем воздействия на три акупунктурные точки. **Результаты.** Показано, что отек легких повышал уровень циркулирующих иммунных комплексов в крови и активность лактатдегидрогеназы в легочной ткани. Воздействие КВЧ-излучения возвращало данные параметры к нормальным значениям. Доказано, что КВЧ-терапия – перспективное средство лечения отека легких и реабилитации после перенесенного заболевания. Выбранные маркеры оценки иммунометаболического статуса могли бы служить дополнением к традиционным методам диагностики исследуемой патологии, в т. ч. и в условиях эксперимента.

Ключевые слова: циркулирующие иммунные комплексы, лактатдегидрогеназа, КВЧ-излучение, отек легких, иммунометаболический статус, SARS-CoV-2.

Для цитирования: Копылова, С. В. Иммунологический статус крыс при моно-КВЧ-терапии отека легких / С. В. Копылова, Э. Жакет // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 16-23. – DOI: 10.37482/2687-1491-Z172.

Ответственный за переписку: Светлана Вячеславовна Копылова, адрес: 603950, Нижний Новгород, просп. Гагарина, д. 23; e-mail: gorelaya@mail.ru

Original article

Immunometabolic Status of Rats in Mono-EHF Therapy for Pulmonary Oedema

Svetlana V. Kopylova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5527-9075>

Edner Jacquet* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2215-2078>

*National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
(Nizhny Novgorod, Russian Federation)

Abstract. In pulmonary oedema, the accumulation of tissue fluid in the interstitial spaces of the lungs as well as in the cavities of the alveoli prevents the respiratory system from performing the gas exchange function. The ineffectiveness of various therapeutic approaches proposed to combat SARS-CoV-2 justifies the search for new therapeutic agents. Extremely high frequency (EHF) therapy could be one of the alternative treatment methods. The **purpose** of this article was to evaluate the immunometabolic status of rats in mono-EHF therapy of pulmonary oedema. **Materials and methods.** The paper evaluated the concentration of circulating immune complexes in the blood serum and the activity of lactate dehydrogenase in the lung tissue at experimental pulmonary oedema and a course of EHF therapy. The study involved 60 rats divided into 3 groups (intact, control and experimental). In the control and experimental groups, pulmonary oedema was simulated by intraperitoneal administration of adrenaline hydrochloride. A 10-day EHF therapy course was given to the experimental group using the CEM-TECH device (40–43 GHz, Russia) by targeting three acupuncture points. **Results.** Pulmonary oedema was shown to increase the level of circulating immune complexes in the blood and the activity of lactate dehydrogenase in the lung tissue. Exposure to EHF radiation restored the normal values of these parameters. EHF therapy proved to be a promising treatment and rehabilitation method for pulmonary oedema. The selected markers for assessing the immunometabolic status could serve as an addition to the traditional methods of diagnosing this pathology, including in experimental conditions.

Keywords: *circulating immune complexes, lactate dehydrogenase, EHF radiation, pulmonary oedema, immunometabolic status, SARS-CoV-2.*

For citation: Kopylova S.V., Jacquet E. Immunometabolic Status of Rats in Mono-EHF Therapy for Pulmonary Oedema. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 16–23. DOI: 10.37482/2687-1491-Z172

Скопление тканевой жидкости в интерстициальных пространствах, а также в полостях альвеол при отеке легких препятствует газообмену. Внешнее дыхание – одна из жизненно важных функций организма. Нарушение данной функции влечет за собой обширные

повреждения органов и систем [1, 2]. Сбой одного или нескольких процессов в дыхательной системе может привести к развитию респираторной недостаточности в острой или хронической форме [1, 2]. Респираторная недостаточность отрицательно влияет на нормальное

Corresponding author: Svetlana Kopylova, *address:* prosp. Gagarina 23, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation; *e-mail:* gorelaya@mail.ru

функционирование других систем организма. В качестве причин развития острого отека легких называют целый ряд заболеваний как легочной (пневмония, тромбоэмболия легочной артерии, ингаляционная травма, эмфизема легких, бронхиальная астма и др.), так и внелегочной (тяжелый сепсис и септический шок, острое нарушение мозгового кровообращения, острая почечная недостаточность, острый гломеруло-нефрит и др.) природы. Кроме того, отек легких зачастую является основной причиной смерти пациентов, инфицированных коронавирусом SARS-CoV-2 [3–8]. Неэффективность различных терапевтических подходов, предложенных для борьбы с указанным заболеванием, оправдывает поиск новых средств, которые способны улучшить исход заболевания. Одним из них может стать крайне высокочастотная терапия (КВЧ-терапия).

КВЧ-терапия – физиотерапевтический метод, при котором используется фиксированная частота электромагнитного излучения (от 30 до 300 ГГц) низкой интенсивности миллиметрового диапазона длин волн [9]. Ранее нами было показано, что КВЧ-терапия при отеке легких у животных в эксперименте снижала уровень свободной сиаловой кислоты, восстанавливала функциональную активность нейтрофилов, улучшала их фагоцитарный резервный потенциал [10, 11].

Известно, что лактатдегидрогеназа (ЛДГ) – тетрамерный фермент, образованный двумя типами субъединиц: М (мышечная) и Н (сердечная), – катализирует обратимое превращение лактата в пируват как в аэробном, так и в анаэробном процессе окисления глюкозы. Энзим является одним из маркеров воспаления и индикаторов разрушения тканей, при повреждении клеток он высвобождается в кровотоке, что увеличивает его концентрацию в крови и приводит к образованию энзимных комплексов [12].

Наряду с уровнем ЛДГ маркером воспаления признается и концентрация циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) в сыворотке крови. ЦИК – это комплекс антигена, компо-

нентов системы комплемента и специфического антитела [13].

Целью работы являлась оценка иммунометаболического статуса экспериментальных животных при моно-КВЧ-терапии отека легких.

Материалы и методы. Исследование выполняли на половозрелых самцах крыс линии Вистар массой 150–200 г ($n = 60$). Животные поступили из вивария Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (Нижний Новгород, Россия). Их содержали в виварии, оборудованном согласно требованиям СП 2.2.1.3218–14. Эксперимент осуществляли в соответствии с правилами проведения работ и использования экспериментальных животных: приложением к федеральному закону № 52-ФЗ от 30.03.1999 «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS № 123) от 18.03.1986 и федеральным законом № 498-ФЗ от 27.12.2018 «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Крысы находились в одинаковых пластиковых клетках с поилками, получали полноценный экструдированный комбикорм и достаточное количество воды (обеспечивался свободный доступ к воде и пище). Протокол исследования одобрен комиссией по биоэтике Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (протокол № 65 от 06.10.2022). Животных разделили на три группы: интактная ($n = 20$), контрольная ($n = 20$) и опытная ($n = 20$).

У животных контрольной и опытной групп после проверки их общего состояния моделировали отек легких путем внутрибрюшинного введения (в правый нижний квадрант живота под углом 45°) адреналина гидрохлорида в дозе 0,25 мг/кг. После введения адреналина у всех крыс наблюдался отек легких, выражавшийся в виде одышки и выделения пены изо рта. В качестве средства для моно-КВЧ-терапии

использовали биокорректор СЕМ-ТЕСН (Россия) с частотой излучения 40–43 ГГц. Облучение животных начинали через 1 сут. после индукции отека легких, проводили 10 сеансов КВЧ-терапии на три точки акупунктуры, по 5 мин в каждой. Точки акупунктуры выбирали в месте пересечения угла грудной клетки и угла лопатки на спине, а также за ухом [14].

Забор крови и образцов легочной ткани осуществляли на 11-е сутки после начала эксперимента. Эвтаназию животных проводили путем цервикальной дислокации.

Определение концентрации ЦИК в сыворотке крови. Цельную кровь, собранную в сухие пробирки, подвергали свертыванию в течение 30 мин при комнатной температуре. Затем сгусток отделяли от сыворотки центрифугированием (около 10 мин, 1000 об/мин). После этого сыворотку пипеткой переносили в пробирки с раствором полиэтиленгликоля для фотометрического определения оптической плотности преципитата при длине волны 450 нм [15]. Использовали следующие реагенты: боратный буфер (0,1 М, рН = 8,3) и полиэтиленгликоль (молекулярная масса 6000 г/моль, 3,75 %-й раствор). Сыворотку в объеме 0,3 мл смешивали с 0,6 мл боратного буфера, затем 0,3 мл этого раствора переносили в пробирку и смешивали с 2,7 мл раствора полиэтиленгликоля. Через 60 мин измеряли оптическую плотность конечного раствора относительно контрольного образца в кювете толщиной 10 мм при длине волны 450 нм. Уровень ЦИК рассчитывали по разнице оптической плотности пробирки с раствором полиэтиленгликоля и контрольной пробирки, умноженной на 1000 и выраженной в международных единицах на литр.

Определение активности ЛДГ в гомогенате легкого. Удаленное легкое дважды промывали 5 мл фосфатного буфера с рН = 7,4. Затем легкие гомогенизировали. Полученный материал переносили в пробирку на 4 мл и центрифугировали при 1500 об/мин в течение 5 мин. Затем супернатант помещали в новую пробирку.

Активность ЛДГ в гомогенате легких определяли по реакции восстановления пирувата

до молочной кислоты, протекающей с участием никотинамидадениндинуклеотида (НАДН), с помощью набора «ЛДГ-УТС» (ООО «Эйлитон», Россия) путем измерения скорости снижения концентрации НАДН при длине волны 340 нм с интервалом в 1 мин [16].

Статистический анализ. Концентрацию ЦИК и активность ЛДГ определяли в трех повторностях. На рисунках приведены средние значения и стандартные ошибки среднего ($M \pm m$). Статистический анализ производили с использованием непараметрического U -критерия Манна–Уитни (R Core Team, версия 4.2.0). Различия при $p < 0,05$ считали статистически значимыми.

Результаты. Для изучения влияния КВЧ-терапии на развитие патологии оценивались уровень ЦИК в сыворотке крови и активность ЛДГ в легочной ткани крыс всех групп.

У интактной группы средний уровень ЦИК в сыворотке крови составил $28,23 \pm 3,29$ МЕ/л, в то время как у контрольной – увеличился в 2,57 раза ($p < 0,0001$) и равнялся $72,54 \pm 4,89$ МЕ/л. Все животные опытной группы, получавшие моно-КВЧ-терапию, показали результат, сопоставимый с таковым у интактных животных (рис. 1).

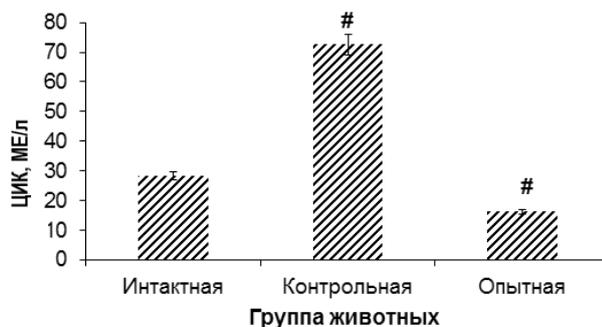


Рис. 1. Влияние моно-КВЧ-терапии на концентрацию циркулирующих иммунных комплексов в сыворотке крови при отеке легких у крыс (# – установлена статистическая значимость различий относительно интактной группы ($p < 0,05$))

Fig. 1. Effect of mono-EHF therapy on the concentration of circulating immune complexes in the blood serum in pulmonary oedema in rats (# – statistical significance of differences in relation to the intact group was established ($p < 0.05$))

С целью анализа степени разрушения клеток легочной ткани, а также эффективности моно-КВЧ-терапии мы оценивали активность ЛДГ в биоптате. Так, активность ЛДГ в легочной ткани крыс интактной группы составила $206,57 \pm 19,40$ МЕ/л, контрольной – $749,71 \pm 26,3$ МЕ/л, что соответствовало увеличению активности фермента в 3,6 раза ($p < 0,0001$). В опытной группе исследуемый показатель снизился до $199,46 \pm 13,6$ МЕ/л (рис. 2). Следует заметить, что у крыс, получавших моно-КВЧ-терапию, активность ЛДГ была сопоставима с показателем у условно здоровых животных ($p = 0,9118$).

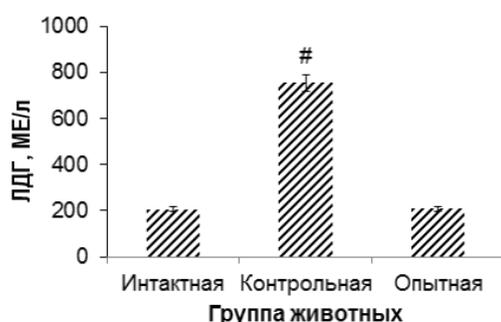


Рис. 2. Влияние моно-КВЧ-терапии на активность лактатдегидрогеназы в легочной ткани при отеке легких у крыс (# – установлена статистическая значимость различий относительно интактной группы ($p < 0,05$))

Fig. 2. Effect of mono-EHF therapy on lactate dehydrogenase activity in rat lung tissue in pulmonary oedema (# – statistical significance of differences in relation to the intact group was established ($p < 0.05$))

Обсуждение. Выбранная нами экспериментальная модель кардиогенного отека легких характеризуется тахикардией, одышкой, повышением проницаемости мембран альвеолокапилляров с последующей перфузией жидкости в них и интерстицию. Осложнением данного состояния является острое воспаление.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

В ходе вышеописанного эксперимента генерация острого воспаления подтверждалась статистически значимым повышением уровня ЦИК в сыворотке крови и активности ЛДГ в легочной ткани ($p < 0,0001$) у крыс с отеком легких по сравнению с интактной группой.

Вероятно, возникал дисбаланс в работе вегетативной нервной системы: в результате гипоксии формировалась гиперактивность симпатической нервной системы на фоне ослабления активности парасимпатической. На уровне периферического звена это выражалось в снижении активности блуждающего нерва и, как следствие, противовоспалительных систем организма [17–19].

После применения моно-КВЧ-излучения исследуемые показатели вернулись к нормальным значениям, что указывает на купирование воспалительного процесса и восстановление нормального уровня кислорода [10, 11].

Воздействие КВЧ-излучения в акупунктурных точках позволяло стимулировать кожные рецепторы, что вызывало антагонистический эффект компонентов вегетативной нервной системы (в пределах нормальных значений), тем самым способствовало поддержанию гомеостаза (ослабляя воспаление и запуская восстановление тканей).

Таким образом, КВЧ-терапия – перспективное средство лечения и реабилитации больных отеком легких. Выбранные маркеры оценки иммунометаболического статуса послужат дополнением к традиционным методам диагностики данной патологии, в т. ч. и в условиях эксперимента.

Можно предположить, что использование КВЧ-излучения приведет к снижению уровня смертности среди пациентов с отеком легких различного генеза, в т. ч. и инфицированных SARS-CoV-2.

Список литературы

1. Сабиров И.С., Мамедова К.М., Султанова М.С., Кожоева М.З., Ибадуллаев Б.М. Роль и значение гипоксического компонента в развитии осложнений новой коронавирусной инфекции (COVID-19) // The Scientific Heritage. 2021. № 62-2(62). С. 21–28. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-62-2-21-28>
2. Грунни М.А. Патопфизиология легких: моногр. М.: Изд. дом Бином, 2022. 304 с.
3. Zhou P., Yang X.-L., Wang X.-G., Hu B., Zhang W., Si H.-R., Zhu Y., Li B., Huang C.-L., Chen H.-D., Chen J., Luo Y., Guo H., Jiang R.-D., Liu M.-Q., Chen Y., Shen X.-R., Wang X., Zheng X.-S., Zhao K., Chen Q.-J., Deng F., Liu L.-L., Yan B., Zhan F.-X., Wang Y.-Y., Xiao G.-F., Shi Z.-L. A Pneumonia Outbreak Associated with a New Coronavirus of Probable Bat Origin // Nature. 2020. Vol. 579, № 7798. P. 270–273. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2012-7>
4. Tan W., Zhao X., Ma X., Wang W., Niu P., Xu W., Gao G.F., Wu G. A Novel Coronavirus Genome Identified in a Cluster of Pneumonia Cases – Wuhan, China 2019–2020 // China CDC Wkly. 2020. Vol. 2, № 4. P. 61–62.
5. Кубанов А.А., Дерябин Д.Г. Новый взгляд на патогенез COVID-19: заболевание является генерализованным вирусным васкулитом, а возникающее при этом поражение легочной ткани – вариантом ангиогенного отека легкого // Вестн. Рос. акад. мед. наук. 2020. Т. 75, № 2. С. 115–117. <http://dx.doi.org/10.15690/vramn1347>
6. Aguiar D., Lobrinus J.A., Schibler M., Fracasso T., Lardi C. Inside the Lungs of COVID-19 Disease // Int. J. Leg. Med. 2020. Vol. 134, № 4. P. 1271–1274. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02318-9>
7. Xu Z., Shi L., Wang Y., Zhang J., Huang L., Zhang C., Liu S., Zhao P., Liu H., Zhu L., Tai Y., Bai C., Gao T., Song J., Xia P., Dong J., Zhao J., Wang F.-S. Pathological Findings of COVID-19 Associated with Acute Respiratory Distress Syndrome // Lancet Respir. Med. 2020. Vol. 8, № 4. P. 420–422. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(20\)30076-x](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(20)30076-x)
8. Баклаушев В.П., Кулемзин С.В., Горчаков А.А., Лесняк В.Н., Юсубалиева Г.М., Сотникова А.Г. COVID-19. Этиология, патогенез, диагностика и лечение // Клин. практика. 2020. Т. 11, № 1. С. 7–20. <https://doi.org/10.17816/clinpract26339>
9. Terrone M., Avakyan R. Extremely High-Frequency Therapy in Oncology // J. Altern. Complement. Med. 2010. Vol. 6, № 11. P. 1211–1216. <https://doi.org/10.1089/acm.2009.0208>
10. Жакет Э., Сацкая Ж.А., Тарасова Д.А. Влияние КВЧ-терапии на функциональную активность нейтрофилов у крыс с отеком легких // Актуальные научные исследования: сб. ст. IV Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2022. С. 27–29.
11. Жакет Э., Сацкая Ж.А., Тарасова Д.А. Состояние свободных сиаловых кислот и функциональной активности нейтрофилов, а также влияние КВЧ-терапии на эти показатели у крыс с отеком легких // Биосистемы: организация, поведение, управление: тез. докл. 75-й Всерос. с междунар. участием шк.-конф. молодых ученых. Н. Новгород, 2022. С. 72.
12. Kumar V., Gill K.D. Determination of Total Lactate Dehydrogenase Activity in Serum Sample // Basic Concepts in Clinical Biochemistry: A Practical Guide. Springer Singapore, 2018. P. 129–130. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8186-6_32
13. Алиева Т.Р. Определение концентрации циркулирующих иммунных комплексов, уровней иммуноглобулинов классов Е и G и гистамина в крови и лимфе при анафилактическом шоке и феномене Артюса в эксперименте // Казан. мед. журн. 2018. Т. 99, № 1. С. 59–63. <https://doi.org/10.17816/КМЖ2018-059>
14. Тарадайник Т.Е., Тарадайник Н.П., Сингина Г.Н. Фундаментальные и прикладные аспекты ветеринарной акупунктуры как способа коррекции физиологического состояния животных // С.-х. биология. 2016. Т. 51, № 2. С. 172–181. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.2.172rus>
15. Лесник Э.В., Гинда С.С. Циркулирующие иммунные комплексы как биомаркеры эндогенной интоксикации при туберкулезе легких // Инфекция и иммунитет. 2022. Т. 12, № 3. С. 486–494. <https://doi.org/10.15789/2220-7619-TCI-1790>
16. Марсянова Ю.А., Звягина В.И. Влияние сукцината на некоторые показатели биоэнергетического обмена в семенных пузырьках и эпидидимисе у самцов крыс в условиях хронической гипоксии // Вопр. биол., мед. и фармацевт. химии. 2021. Т. 24, № 2. С. 49–54. <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-02-08>
17. Тучина О.П. Нейро-иммунные взаимодействия в холинергическом противовоспалительном пути // Гены и клетки. 2020. Т. 15, № 1. С. 23–28. <https://doi.org/10.23868/202003003>
18. Pavlov V.A., Tracey K.J. The Vagus Nerve and the Inflammatory Reflex – Linking Immunity and Metabolism // Nat. Rev. Endocrinol. 2012. Vol. 8, № 12. P. 743–754. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2012.189>

19. De Virgiliis F., Di Giovanni S. Lung Innervation in the Eye of a Cytokine Storm: Neuroimmune Interactions and COVID-19 // *Nat. Rev. Neurol.* 2020. Vol. 16, № 11. P. 645–652. <https://doi.org/10.1038/s41582-020-0402-y>

References

1. Sabirov I.S., Mamedova K.M., Sultanova M.S., Kozhueva M.Z., Ibadullaev B.M. Rol' i znachenie gipoksicheskogo komponenta v razvitii oslozhneniy novoy koronavirusnoy infektsii (COVID-19) [The Role and Significance of the Hypoxic Component in the Development of Complications of the New Coronavirus Infection (COVID-19)]. *Sci. Herit.*, 2021, no. 62-2, pp. 21–28. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-62-2-21-28>
2. Grippi M.A. *Pulmonary Pathophysiology*. Lippincott Williams & Wilkin, 1995. 352 p. (Russ. ed.: Grippi M.A. *Patofiziologiya legkikh*. Moscow, 2022. 304 p.).
3. Zhou P., Yang X.-L., Wang X.-G., Hu B., Zhang L., Zhang W., Si H.-R., Zhu Y., Li B., Huang C.-L., Chen H.-D., Chen J., Luo Y., Guo H., Jiang R.-D., Liu M.-Q., Chen Y., Shen X.-R., Wang X., Zheng X.-S., Zhao K., Chen Q.-J., Deng F., Liu L.-L., Yan B., Zhan F.-X., Wang Y.-Y., Xiao G.-F., Shi Z.-L. A Pneumonia Outbreak Associated with a New Coronavirus of Probable Bat Origin. *Nature*, 2020, vol. 579, no. 7798, pp. 270–273. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2012-7>
4. Tan W., Zhao X., Ma X., Wang W., Niu P., Xu W., Gao G.F., Wu G. A Novel Coronavirus Genome Identified in a Cluster of Pneumonia Cases – Wuhan, China 2019–2020. *China CDC Wkly*, 2020, vol. 2, no. 4, pp. 61–62.
5. Kubanov A.A., Deryabin D.G. A New Look at the COVID-19 Pathogenesis: The Disease Is a Generalized Viral Vasculitis, and the Lung Tissue Damage Is a Variant of Angiogenic Pulmonary Edema. *Ann. Russ. Acad. Med. Sci.*, 2020, vol. 75, no. 2, pp. 115–117 (in Russ.). <http://dx.doi.org/10.15690/vramn1347>
6. Aguiar D., Lobrinus J.A., Schibler M., Fracasso T., Lardi C. Inside the Lungs of COVID-19 Disease. *Int. J. Leg. Med.*, 2020, vol. 134, no. 4, pp. 1271–1274. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02318-9>
7. Xu Z., Shi L., Wang Y., Zhang J., Huang L., Zhang C., Liu S., Zhao P., Liu H., Zhu L., Tai Y., Bai C., Gao T., Song J., Xia P., Dong J., Zhao J., Wang F.-S. Pathological Findings of COVID-19 Associated with Acute Respiratory Distress Syndrome. *Lancet Respir. Med.*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 420–422. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(20\)30076-x](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(20)30076-x)
8. Baklaushev V.P., Kulemzin S.V., Gorchakov A.A., Lesnyak V.N., Ysubalieva G.M., Sotnikova A.G. COVID-19. Etiology, Pathogenesis, Diagnosis and Treatment. *Klinicheskaya praktika*, 2020, vol. 11, no. 1, pp. 7–20 (in Russ.). <https://doi.org/10.17816/clinpract26339>
9. Teppone M., Avakyan R. Extremely High-Frequency Therapy in Oncology. *J. Altern. Complement. Med.*, 2010, vol. 6, no. 11, pp. 1211–1216. <https://doi.org/10.1089/acm.2009.0208>
10. Jacquet E., Satskaya Zh.A., Tarasova D.A. Vliyanie KVCh-terapii na funktsional'nyuyu aktivnost' neytrofilov u krysa s otekomy legkikh [Influence of EHF-Therapy on the Functional Activity of Neutrophils in Rats with Pulmonary Edema]. *Aktual'nye nauchnye issledovaniya* [Current Research]. Penza, 2022, pp. 27–29.
11. Jacquet E., Satskaya Zh.A., Tarasova D.A. Sostoyanie svobodnykh sialovykh kislot i funktsional'noy aktivnosti neytrofilov, a takzhe vliyanie KVCh-terapii na eti pokazateli u krysa s otkom legkikh [Free Sialic Acid Status and the Functional Activity of Neutrophils, as Well as the Effect of EHF-Therapy on These Parameters in Rats with Pulmonary Oedema]. *Biosistemy: organizatsiya, povedenie, upravlenie* [Biosystems: Organization, Behaviour, Management]. Nizhny Novgorod, 2022, p. 72.
12. Kumar V., Gill K.D. Determination of Total Lactate Dehydrogenase Activity in Serum Sample. *Basic Concepts in Clinical Biochemistry: A Practical Guide*. Springer Singapore, 2018, pp. 129–130. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8186-6_32
13. Alieva T.R. Opredelenie kontsentratsii tsirkuliruyushchikh immunnykh kompleksov, urovney immunoglobulinov klassov E i G i gistamina v krovi i limfe pri anafilakticheskom shoke i fenomene Artyusa v eksperimente [Determination of the Concentration of Circulating Immune Complexes, Immunoglobulin E and G and Histamine in the Blood and Lymph in Experimental Anaphylactic Shock and Arthus Phenomenon]. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal*, 2018, vol. 99, no. 1, pp. 59–63. <https://doi.org/10.17816/KMJ2018-059>
14. Taradainik T.E., Taradainik N.P., Singina G.N. Basic and Practical Aspects of Veterinary Acupuncture for Physiological Correction in Animals (Review). *Agric. Biol.*, 2016, vol. 51, no. 2, pp. 172–181. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.2.172rus>

15. Lesnic E.V., Ghinda S.S. The Circulating Immune Complexes as a Biomarker of the Endogenous Intoxication in Pulmonary Tuberculosis. *Russ. J. Infect. Immun.*, 2022, vol. 12, no. 3, pp. 486–494 (in Russ.). <https://doi.org/10.15789/2220-7619-TCI-1790>

16. Marsyanova Y.A., Zvyagina V.I. Influence of Succinate on Some Indicators of Bioenergy Metabolism in Seminal Vesicles and Epididymis in Male Rats Under Conditions of Chronic Hypoxia. *Probl. Biol. Med. Pharm. Chem.*, 2021, vol. 24, no. 2, pp. 49–54. <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-02-08>

17. Tuchina O.P. Neyro-immunnye vzaimodeystviya v kholinergicheskom protivovospalitel'nom puti [Neuro-Immune Interactions in Cholinergic Anti-Inflammatory Pathway]. *Geny i kletki*, 2020, vol. 15, no. 1, pp. 23–28. <https://doi.org/10.23868/202003003>

18. Pavlov V.A., Tracey K.J. The Vagus Nerve and the Inflammatory Reflex – Linking Immunity and Metabolism. *Nat. Rev. Endocrinol.*, 2012, vol. 8, no. 12, pp. 743–754. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2012.189>

19. De Virgiliis F., Di Giovanni S. Lung Innervation in the Eye of a Cytokine Storm: Neuroimmune Interactions and COVID-19. *Nat. Rev. Neurol.*, 2020, vol. 16, no. 11, pp. 645–652. <https://doi.org/10.1038/s41582-020-0402-y>

Поступила в редакцию 13.03.2023 / Одобрена после рецензирования 17.10.2023 / Принята к публикации 23.10.2023.

Submitted 13 March 2023 / Approved after reviewing 17 October 2023 / Accepted for publication 23 October 2023.

Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 1. С. 24–31.
Journal of Medical and Biological Research, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 24–31.

Научная статья
УДК 616.08:613.98
DOI: 10.37482/2687-1491-Z174

Факторная структура показателей походки у пожилых мужчин и женщин

Таисия Петровна Ширяева* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9458-3224>
Денис Михайлович Федотов* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4067-8364>
Оксана Сергеевна Преминина* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9664-8773>
Анатолий Владимирович Грибанов* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4714-6408>

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
(Архангельск, Россия)

Аннотация. Старение негативно влияет на качество походки. Существует взаимосвязь между пожилым возрастом и изменениями основных пространственно-временных показателей походки, однако для мужчин и женщин эта взаимосвязь имеет различный характер. Вопрос влияния пола на походку и поструральный баланс в наши дни остается актуальным, поскольку в доступных источниках встречаются противоречащие друг другу данные. **Цель работы** – изучение половых различий факторной структуры показателей походки у пожилых лиц. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 80 чел. 60–74 лет. Средний возраст в группе женщин ($n = 40$) составил $67,2 \pm 2,1$ года, в группе мужчин ($n = 40$) – $67,4 \pm 2,0$ года. Для оценки ходьбы у пожилых людей проводились следующие тесты компьютерного стабилметрического комплекса Balance Manager: «Вставание из положения сидя», «Простая ходьба», «Тандемная ходьба», «Быстрый разворот», «Шаг/перешагивание». **Результаты.** Выявлены половые особенности факторной структуры показателей походки у пожилых лиц. Установлено, что в группе женщин пожилого возраста ведущим стал фактор, объединяющий показатели времени выполнения двигательного акта (перешагивания через препятствие), а также скорости простой и тандемной ходьбы; в группе мужчин – фактор, объединяющий показатели времени, точности и мышечного усилия при выполнении сложных двигательных актов (разворота при ходьбе и перешагивания через препятствие).

Ключевые слова: походка, женщины, мужчины, пожилой возраст, факторная структура.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых – кандидатов наук в рамках научного проекта № МК-4405.2022.1.4.

Для цитирования: Факторная структура показателей походки у пожилых мужчин и женщин / Т. П. Ширяева, Д. М. Федотов, О. С. Преминина, А. В. Грибанов // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т.12, № 1. – С. 24-31. – DOI: 10.37482/2687-1491-Z174.

Ответственный за переписку: Таисия Петровна Ширяева, адрес: 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17; e-mail: taisia.moroz@yandex.ru

Original article

Factor Structure of Gait Parameters in Older Men and Women

Taisiya P. Shiryayeva* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9458-3224>

Denis M. Fedotov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4067-8364>

Oksana S. Preminina* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9664-8773>

Anatoliy V. Griбанov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4714-6408>

*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russian Federation)

Abstract. Ageing negatively affects the quality of walking. There is a relationship between old age and changes in the main spatiotemporal gait parameters. However, this relationship differs between men and women. The question of the influence of sex on postural balance remains relevant today, since conflicting data are found in various sources. The **purpose** of this research was to study sex-related differences in the factor structure of gait parameters in older adults. **Materials and methods.** The study involved 80 subjects aged 60–74 years. The mean age was 67.2 ± 2.1 years in the group of women ($n = 40$) and 67.4 ± 2.0 years in the group of men ($n = 40$). Gait was assessed using the computer-aided stabilometric complex Balance Manager. The following tests were performed: Sit-to-Stand, Walk Across, Tandem Walk, Step/Quick Turn, and Step-Up-and-Over. **Results.** Sex-related features of the factor structure of gait parameters in older adults were revealed. We established that the leading factor in the group of older women is the factor that combines the following parameters: time to execute a motor act (stepping over an obstacle) and speed of simple and tandem walking. In the group of older men, however, the leading factor combines the parameters of time, accuracy and muscle force when performing complex motor acts (turning while walking and stepping over an obstacle).

Keywords: gait, women, men, older adults, factor structure.

Funding. The research was funded through the Russian presidential grant for young scientists – candidates of sciences no. MK-4405.2022.1.4.

For citation: Shiryayeva T.P., Fedotov D.M., Preminina O.S., Griбанov A.V. Factor Structure of Gait Parameters in Older Men and Women. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 24–31. DOI: 10.37482/2687-1491-Z174

Увеличение продолжительности жизни повлекло за собой быстрый рост доли пожилого населения как в нашей стране, так и во всем мире. Исследования свидетельствуют о том, что большая часть пожилых людей может самостоятельно выполнять основные виды по-

вседневной деятельности и им не требуется дополнительная помощь [1]. Однако известно, что старение приводит к негативным изменениям в структурах опорно-двигательного аппарата, что, в свою очередь, увеличивает риск развития гериатрического синдрома падений и

Corresponding author: Taisiya Shiryayeva, address: nab. Severnoy Dviny 17, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: taisia.moroz@yandex.ru

функциональных ограничений. Основные факторы риска у пожилых людей связаны с изменениями осанки и нарушениями походки [1–6].

Особый интерес вызывает вопрос влияния пола на походку и поструральный баланс в пожилом возрасте, поскольку в различных источниках встречаются противоречащие друг другу данные. Очевидно, что старение негативно влияет на качество походки. Существует взаимосвязь между пожилым возрастом и изменениями основных пространственно-временных показателей походки, однако у мужчин и женщин эта взаимосвязь проявляется по-разному. Исследователи отмечают, что в целом показатели походки у женщин сохраняются в несколько большей степени по сравнению с мужчинами того же возраста [7]. Например, у последних выявляются меньшая точность и большие колебания центра масс, особенно в условиях соматосенсорной и зрительной деприваций, связанных с изменениями в стратегиях поддержания пострурального баланса [8]. По данным N. Šarabon et al. [9] и S. Demura et al. [10], при исследовании пострурального баланса у мужчин наблюдалось большее поструральное раскачивание как в стойках, так и при усложнении заданий. В тестах на функциональную подвижность женщины обычно демонстрируют несколько более низкие показатели, что, вероятно, обусловлено уменьшением мышечной силы нижних конечностей [11–15].

Например, согласно исследованиям, пожилые женщины имеют более короткие шаги и более высокий темп, чем мужчины. Это позволяет предположить, что ухудшение в функционировании систем, участвующих в поддержании пострурального баланса, может компенсироваться по-разному в зависимости от пола [16–19].

Цель работы – изучение половых различий факторной структуры показателей походки у пожилых лиц.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 80 чел. 60–74 лет. Средний возраст в группе женщин ($n = 40$) составил $67,2 \pm 2,1$ года, в группе мужчин ($n = 40$) – $67,4 \pm 2,0$ года. Все участники были

мобильны и не использовали дополнительные средства опоры при ходьбе. Исследование проводилось с соблюдением принципов Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (1964 года, с изменениями и дополнениями 2013 года). Все участники подписали информированное согласие на обследование.

Работу выполняли на компьютерном стабилометрическом комплексе Balance Manager по тестам «Вставание из положения сидя», «Простая ходьба», «Тандемная ходьба», «Быстрый разворот», «Шаг/перешагивание». Предложенные тесты позволяют количественно оценить такие параметры походки, как время (с), отклонение ($^{\circ}$) и мышечное усилие нижних конечностей (% от массы тела) при вставании из положения сидя; ширина (см), длина (см) шага и скорость (см/с) при простой ходьбе; ширина шага (см), скорость (см/с) и отклонение ($^{\circ}$) при тандемной ходьбе; время (с) и отклонение ($^{\circ}$) при развороте с правой и левой ноги; время перешагивания (с), индексы подъема и касания (% от массы тела), отражающие мышечное усилие нижних конечностей при перешагивании через препятствие с правой и левой ноги.

Статистическую обработку данных осуществляли с применением пакета прикладных программ SPSS 23.0. Для построения факторных моделей показателей походки провели факторный анализ с использованием ортогонального вращения по методу Варимакс.

Результаты. В ходе анализа полученных данных было установлено (табл. 1), что ведущим в группе женщин пожилого возраста стал фактор (удельный вес – 17,5 %), объединяющий показатели времени выполнения двигательного акта (перешагивания через препятствие), а также скорости простой и тандемной ходьбы.

Во втором факторе (15,4 %) нашли свое отражение показатель мышечного усилия при выполнении двигательного акта (перешагивания через препятствие), а также отклонение и ширина шага при тандемной ходьбе, определяющие точность и качество выполнения движения.

Таблица 1

Матрица факторных нагрузок показателей походки у женщин пожилого возраста
Factor load matrix of gait parameters in older women

Показатель	Фактор			
	1	2	3	4
Время движения при перешагивании с правой ноги	-0,811			
Время движения при перешагивании с левой ноги	-0,713			
Скорость тандемной ходьбы	0,640			
Скорость простой ходьбы	0,615			
Индекс касания при перешагивании с левой ноги		0,861		
Индекс касания при перешагивании с правой ноги		0,778		
Отклонение при тандемной ходьбе		0,753		
Ширина шага при тандемной ходьбе		0,655		
Время разворота с правой ноги			0,789	
Отклонение при развороте с правой ноги			0,783	
Время разворота с левой ноги			0,641	
Отклонение при развороте с левой ноги			0,601	
Время вставания из положения сидя				0,865
Отклонение при вставании из положения сидя				-0,861

Третий фактор (15,0 %) включает показатели времени и точности выполнения разворота при ходьбе. Четвертый фактор (11,5 %) содержит показатели времени и точности движения при вставании из положения сидя. Суммарная дисперсия составила 59,4 %.

В свою очередь, в группе мужчин пожилого возраста наблюдается некоторое перераспределение факторов и изменение их удельного веса (табл. 2, см. с. 28). Так, ведущим является фактор (23,6 %), объединяющий показатели времени, точности и мышечного усилия при выполнении сложных двигательных актов (разворота при ходьбе и перешагивания через препятствие).

Второй фактор (14,8 %) охватывает такие показатели простой ходьбы, как скорость движения, длина и ширина шага, а также скорость тандемной ходьбы.

Третий фактор (13,0 %) описывает мышечное усилие при перешагивании через препятствие. В четвертом факторе (10,8 %) изменений не происходит, он, как и в группе женщин, объединя-

ет показатели времени и точности выполнения двигательного акта при вставании из положения сидя. Суммарная дисперсия составила 69,3 %.

Обсуждение. В результате исследования определена факторная структура показателей походки у женщин и мужчин пожилого возраста и установлено, что у женщин на передний план выступают скоростные характеристики, в то время как у мужчин наиболее значимыми являются мощностные показатели в совокупности с показателями качества выполнения сложных двигательных актов.

Среди причин формирования данных различий можно рассматривать полоспецифические особенности процессов старения системы постурального баланса. Старение обычно связывают с возрастающей функциональной и социальной зависимостью в обществе, а негативные изменения в механизмах поддержания постурального баланса вносят значительный вклад в эту зависимость и, очевидно, отражаются на походке [20–22]. Известно, что с возрастом происходит снижение ка-

Таблица 2

Матрица факторных нагрузок показателей походки у мужчин пожилого возраста
Factor load matrix of gait parameters in older men

Показатель	Фактор			
	1	2	3	4
Отклонение при развороте с правой ноги	0,841			
Время разворота с правой ноги	0,838			
Время разворота с левой ноги	0,716			
Отклонение при развороте с левой ноги	0,694			
Индекс подъема при перешагивании с левой ноги	-0,666			
Время движения при перешагивании с левой ноги	0,648			
Время движения при перешагивании с правой ноги	0,601			
Индекс подъема при перешагивании с правой ноги	0,600			
Ширина шага при простой ходьбе		0,755		
Скорость простой ходьбы		0,651		
Ширина шага при тандемной ходьбе		-0,650		
Скорость тандемной ходьбы		0,615		
Индекс касания при перешагивании с правой ноги			0,866	
Индекс касания при перешагивании с левой ноги			0,793	
Время вставания из положения сидя				-0,919
Отклонение при вставании из положения сидя				0,836

чества контроля равновесия и поддержания позы, а также увеличивается риск падений [23, 24]. Однако у женщин и мужчин данные изменения происходят несколько по-разному, что согласуется с нашими предыдущими исследованиями и работами других авторов [7, 20, 21].

Вероятно, полученные результаты обусловлены антропометрическими особенностями испытуемых. Даже в пожилом возрасте сохраняется тенденция более высоких силовых показателей мужчин при сравнении с женщинами, что подтверждается и другими работами [24]. Так, по результатам исследования J.J. Reiffer et al., кроме очевидного преимущества в абсолютной силе, пожилые мужчины демонстрируют также большие значения относительной силы [25]. Вместе с тем более качественное выполнение быстрых разворотов при ходьбе у мужчин связано со способно-

стью быстро развить силу крутящего момента [26–28]. Все это обуславливает особую роль мышечной силы в поддержании пострурального баланса у пожилых мужчин. Также в работе J. Espinoza-Araneda et al. у пожилых мужчин выявлена отрицательная корреляция между площадью опоры и параметрами походки, в то время как у женщин наблюдалась положительная взаимосвязь между аналогичными параметрами [17].

Таким образом, результаты факторного анализа подтверждают высокий вклад показателей, характеризующих выполнение сложно-ординационных действий. У пожилых мужчин возрастные изменения данных показателей могут иллюстрировать снижение точности движений и большее поструральное раскачивание по сравнению с женщинами, которые были выявлены в исследованиях других авторов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

1. *Puszczalowska-Lizis E., Bujas P., Jandzis S., Omorczyk J., Zak M.* Inter-Gender Differences of Balance Indicators in Persons 60–90 Years of Age // *Clin. Interv. Aging.* 2018. № 13. P. 903–912. <https://doi.org/10.2147/CIA.S157182>
2. *Butler A.A., Menant J.C., Tiedemann A.C., Lord S.R.* Age and Gender Differences in Seven Tests of Functional Mobility // *J. Neuroeng. Rehabil.* 2009. Vol. 6. Art. № 31. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-6-31>
3. *Cameron E.J., Bowles S.K., Marshall E.G., Andrew M.K.* Falls and Long-Term Care: A Report from the Care by Design Observational Cohort Study // *BMC Fam. Pract.* 2018. Vol. 19, № 1. Art. № 73. <https://doi.org/10.1186/s12875-018-0741-6>
4. *Ширяева Т.П., Торшин В.И., Грибанов А.В., Федотов Д.М., Багрецов С.Ф.* Функциональное состояние динамического компонента пострального баланса у женщин пожилого возраста и влияющие на него факторы // *Экология человека.* 2020. № 3. С. 10–15. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-3-10-15>
5. *Nascimento M.d.M., Gouveia É.R., Gouveia B.R., Marques A., França C., Marconcin P., Freitas D.L., Ihle A.* Sex Differences in Falls: The Mediating Role of Gait Stability Ratio and Body Balance in Vulnerable Older Adults // *J. Clin. Med.* 2023. Vol. 12, № 2. Art. № 450. <https://doi.org/10.3390/jcm12020450>
6. *Berková M., Berka Z.* Falls: A Significant Cause of Morbidity and Mortality in Elderly People // *Vnitr. Lek.* 2018. Vol. 64, № 11. P. 1076–1083.
7. *Грибанов А.В., Мороз Т.П., Дёмин А.В.* Особенности ходьбы у женщин 55–64 лет, проживающих на Европейском Севере России // *В мире науч. открытий.* 2014. № 2(50). С. 65–71.
8. *Ribeiro D.M., Bueno G.A.S., Gervásio F.M., Menezes R.L.* Foot-Ground Clearance Characteristics in Women: A Comparison Across Different Ages // *Gait Posture.* 2019. Vol. 69. P. 121–125. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.01.028>
9. *Šarabon N., Kozinc Ž., Marković G.* Effects of Age, Sex and Task on Postural Sway During Quiet Stance // *Gait Posture.* 2022. Vol. 92. P. 60–64. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.11.020>
10. *Demura S., Yamada T., Shin S.* Age and Sex Differences in Various Stepping Movements of the Elderly // *Geriatr. Gerontol. Int.* 2008. Vol. 8, № 3. P. 180–187. <https://doi.org/10.1111/j.1447-0594.2008.00468.x>
11. *Burns E., Kakara R.* Deaths from Falls Among Persons Aged ≥65 Years – United States, 2007–2016 // *MMWR Morb. Mortal. Wkly. Rep.* 2018. Vol. 67, № 18. P. 509–514. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6718a1>
12. *Nascimento M.d.M., Gouveia B.R., Gouveia É.R., Campos P., Marques A., Ihle A.* Muscle Strength and Balance as Mediators in the Association Between Physical Activity and Health-Related Quality of Life in Community-Dwelling Older Adults // *J. Clin. Med.* 2022. Vol. 11, № 16. Art. № 4857. <https://doi.org/10.3390/jcm11164857>
13. *Cao C., Schultz A.B., Ashton-Miller J.A., Alexander N.B.* Sudden Turns and Stops While Walking: Kinematic Sources of Age and Gender Differences // *Gait Posture.* 1998. Vol. 7, № 1. P. 45–52. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(97\)00031-3](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(97)00031-3)
14. *Nascimento M.D.M., Gouveia É.R., Gouveia B.R., Marques A., Martins F., Przednowek K., França C., Peralta M., Ihle A.* Associations of Gait Speed, Cadence, Gait Stability Ratio, and Body Balance with Falls in Older Adults // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022. Vol. 19, № 21. Art. № 13926. <https://doi.org/10.3390/ijerph192113926>
15. *Granacher U., Gollhofer A., Hortobágyi T., Kressig R.W., Muehlbauer T.* The Importance of Trunk Muscle Strength for Balance, Functional Performance, and Fall Prevention in Seniors: A Systematic Review // *Sports Med.* 2013. Vol. 43, № 7. P. 627–641. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0041-1>
16. *Osoba M.Y., Rao A.K., Agrawal S.K., Lalwani A.K.* Balance and Gait in the Elderly: A Contemporary Review // *Laryngoscope Investig. Otolaryngol.* 2019. Vol. 4, № 1. P. 143–153. <https://doi.org/10.1002/lio2.252>
17. *Espinoza-Araneda J., Bravo-Carrasco V., Álvarez C., Marzuca-Nassr G.N., Muñoz-Mendoza C.L., Muñoz J., Caparrós-Manosalva C.* Postural Balance and Gait Parameters of Independent Older Adults: A Sex Difference Analysis // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022. Vol. 19, № 7. Art. № 4064. <https://doi.org/10.3390/ijerph19074064>
18. *Pauelsen M., Nyberg L., Röijezon U., Vikman I.* Both Psychological Factors and Physical Performance Are Associated with Fall-Related Concerns // *Aging Clin. Exp. Res.* 2018. Vol. 30, № 9. P. 1079–1085. <https://doi.org/10.1007/s40520-017-0882-9>
19. *Ganz D.A., Latham N.K.* Prevention of Falls in Community-Dwelling Older Adults // *N. Engl. J. Med.* 2020. Vol. 382, № 8. P. 734–743. <https://doi.org/10.1056/NEJMc1903252>
20. *Ширяева Т.П., Грибанов А.В.* Половые особенности пострального баланса у лиц пожилого возраста // *Новые исследования.* 2020. № 3(63). С. 40–46.

21. Ширяева Т.П., Грибанов А.В., Федотов Д.М. Половые различия динамического компонента постурального баланса у лиц пожилого возраста // Журн. мед.-биол. исслед. 2020. Т. 8, № 4. С. 442–446. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z037>
22. Hamacher D., Liebl D., Hödl C., Heßler V., Kniewasser C.K., Thönnessen T., Zech A. Gait Stability and Its Influencing Factors in Older Adults // *Front. Physiol.* 2019. Vol. 9. Art. № 1955. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01955>
23. Papalia G.F., Papalia R., Diaz Balzani L.A., Torre G., Zampogna B., Vasta S., Fossati C., Alifano A.M., Denaro V. The Effects of Physical Exercise on Balance and Prevention of Falls in Older People: A Systematic Review and Meta-Analysis // *J. Clin. Med.* 2020. Vol. 9, № 8. Art. № 2595. <https://doi.org/10.3390/jcm9082595>
24. Patton S., Vincenzo J., Lefler L. Gender Differences in Older Adults' Perceptions of Falls and Fall Prevention // *Health Promot. Pract.* 2022. Vol. 23, № 5. P. 785–792. <https://doi.org/10.1177/15248399211009783>
25. Peiffer J.J., Galvão D.A., Gibbs Z., Smith K., Turner D., Foster J., Martins R., Newton R.U. Strength and Functional Characteristics of Men and Women 65 Years and Older // *Rejuvenation Res.* 2010. Vol. 13, № 1. P. 75–82. <https://doi.org/rej.2009.0916>
26. Scaglioni-Solano P., Aragón-Vargas L.F. Gait Characteristics and Sensory Abilities of Older Adults Are Modulated by Gender // *Gait Posture.* 2015. Vol. 42, № 1. P. 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.04.002>
27. Sotoudeh G.R., Mohammadi R., Mosallanezhad Z., Viitasara E., Soares J.J.F. The Prevalence, Circumstances and Consequences of Unintentional Falls Among Elderly Iranians: A Population Study // *Arch. Gerontol. Geriatr.* 2018. Vol. 79. P. 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2018.08.001>
28. Wang Q., Li L., Mao M., Sun W., Zhang C., Mao D., Song Q. The Relationships of Postural Stability with Muscle Strength and Proprioception Are Different Among Older Adults Over and Under 75 Years of Age // *J. Exerc. Sci. Fit.* 2022. Vol. 20, № 4. P. 328–334. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2022.07.004>

References

1. Puszczalowska-Lizis E., Bujas P., Jandzis S., Omorczyk J., Zak M. Inter-Gender Differences of Balance Indicators in Persons 60–90 Years of Age. *Clin. Interv. Aging*, 2018, no. 13, pp. 903–912. <https://doi.org/10.2147/CIA.S157182>
2. Butler A.A., Menant J.C., Tiedemann A.C., Lord S.R. Age and Gender Differences in Seven Tests of Functional Mobility. *J. Neuroeng. Rehabil.*, 2009, vol. 6. Art. no. 31. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-6-31>
3. Cameron E.J., Bowles S.K., Marshall E.G., Andrew M.K. Falls and Long-Term Care: A Report from the Care by Design Observational Cohort Study. *BMC Fam. Pract.*, 2018, vol. 19, no. 1. Art. no. 73. <https://doi.org/10.1186/s12875-018-0741-6>
4. Shiryayeva T.P., Torshin V.P., Griбанov A.V., Fedotov D.M., Bagretsov S.F. Functional State of the Dynamic Component of the Postural Balance in Elderly Women and Its Determinants. *Ekologiya cheloveka*, 2020, no. 3, pp. 10–15 (in Russ.). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-3-10-15>
5. Nascimento M.d.M., Gouveia É.R., Gouveia B.R., Marques A., França C., Marconcin P., Freitas D.L., Ihle A. Sex Differences in Falls: The Mediating Role of Gait Stability Ratio and Body Balance in Vulnerable Older Adults. *J. Clin. Med.*, 2023, vol. 12, no. 2. Art. no. 450. <https://doi.org/10.3390/jcm12020450>
6. Berková M., Berka Z. Falls: A Significant Cause of Morbidity and Mortality in Elderly People. *Vnitř. Lek.*, 2018, vol. 64, no. 11, pp. 1076–1083.
7. Griбанov A.V., Moroz T.P., Demin A.V. Osobennosti khod'by u zhenshchin 55–64 let, prozhivayushchikh na Evropeyskom Severe Rossii [Features of Walk in Women of 55–64 Years, Living in the European North of Russia]. *V mire nauchnykh otkrytiy*, 2014, no. 2, pp. 65–71.
8. Ribeiro D.M., Bueno G.A.S., Gervásio F.M., Menezes R.L. Foot-Ground Clearance Characteristics in Women: A Comparison Across Different Ages. *Gait Posture*, 2019, vol. 69, pp. 121–125. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.01.028>
9. Šarabon N., Kozinc Ž., Marković G. Effects of Age, Sex and Task on Postural Sway During Quiet Stance. *Gait Posture*, 2022, vol. 92, pp. 60–64. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.11.020>
10. Demura S., Yamada T., Shin S. Age and Sex Differences in Various Stepping Movements of the Elderly. *Geriatr. Gerontol. Int.*, 2008, vol. 8, no. 3, pp. 180–187. <https://doi.org/10.1111/j.1447-0594.2008.00468.x>
11. Burns E., Kakara R. Deaths from Falls Among Persons Aged ≥65 Years – United States, 2007–2016. *MMWR Morb. Mortal. Wkly. Rep.*, 2018, vol. 67, no. 18, pp. 509–514. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6718a1>

12. Nascimento M.d.M., Gouveia B.R., Gouveia É.R., Campos P., Marques A., Ihle A. Muscle Strength and Balance as Mediators in the Association Between Physical Activity and Health-Related Quality of Life in Community-Dwelling Older Adults. *J. Clin. Med.*, 2022, vol. 11, no. 16. Art. no. 4857. <https://doi.org/10.3390/jcm11164857>
13. Cao C., Schultz A.B., Ashton-Miller J.A., Alexander N.B. Sudden Turns and Stops While Walking: Kinematic Sources of Age and Gender Differences. *Gait Posture*, 1998, vol. 7, no. 1, pp. 45–52. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(97\)00031-3](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(97)00031-3)
14. Nascimento M.d.M., Gouveia É.R., Gouveia B.R., Marques A., Martins F., Przednowek K., França C., Peralta M., Ihle A. Associations of Gait Speed, Cadence, Gait Stability Ratio, and Body Balance with Falls in Older Adults. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, vol. 19, no. 21. Art. no. 13926. <https://doi.org/10.3390/ijerph192113926>
15. Granacher U., Gollhofer A., Hortobágyi T., Kressig R.W., Muehlbauer T. The Importance of Trunk Muscle Strength for Balance, Functional Performance, and Fall Prevention in Seniors: A Systematic Review. *Sports Med.*, 2013, vol. 43, no. 7, pp. 627–641. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0041-1>
16. Osoba M.Y., Rao A.K., Agrawal S.K., Lalwani A.K. Balance and Gait in the Elderly: A Contemporary Review. *Laryngoscope Investig. Otolaryngol.*, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 143–153. <https://doi.org/10.1002/lio2.252>
17. Espinoza-Araneda J., Bravo-Carrasco V., Álvarez C., Marzuca-Nassr G.N., Muñoz-Mendoza C.L., Muñoz J., Caparrós-Manosalva C. Postural Balance and Gait Parameters of Independent Older Adults: A Sex Difference Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, vol. 19, no. 7. Art. no. 4064. <https://doi.org/10.3390/ijerph19074064>
18. Pauelsen M., Nyberg L., Röijezon U., Vikman I. Both Psychological Factors and Physical Performance Are Associated with Fall-Related Concerns. *Aging Clin. Exp. Res.*, 2018, vol. 30, no. 9, pp. 1079–1085. <https://doi.org/10.1007/s40520-017-0882-9>
19. Ganz D.A., Latham N.K. Prevention of Falls in Community-Dwelling Older Adults. *N. Engl. J. Med.*, 2020, vol. 382, no. 8, pp. 734–743. <https://doi.org/10.1056/NEJMcp1903252>
20. Shiryayeva T.P., Griбанov A.V. Polovye osobennosti postural'nogo balansa u lits pozhilogo vozrasta [Gender Peculiarities of Postural Balance in the Elderly]. *Novye issledovaniya*, 2020, no. 3, pp. 40–46.
21. Shiryayeva T.P., Griбанov A.V., Fedotov D.M. Sex Differences in the Dynamic Component of Postural Balance in Older Adults. *J. Med. Biol. Res.*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 442–446. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z037>
22. Hamacher D., Liebl D., Hödl C., Heßler V., Kniewasser C.K., Thönnessen T., Zech A. Gait Stability and Its Influencing Factors in Older Adults. *Front. Physiol.*, 2019, vol. 9. Art. no. 1955. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01955>
23. Papalia G.F., Papalia R., Diaz Balzani L.A., Torre G., Zampogna B., Vasta S., Fossati C., Alifano A.M., Denaro V. The Effects of Physical Exercise on Balance and Prevention of Falls in Older People: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Clin. Med.*, 2020, vol. 9, no. 8. Art. no. 2595. <https://doi.org/10.3390/jcm9082595>
24. Patton S., Vincenzo J., Lefler L. Gender Differences in Older Adults' Perceptions of Falls and Fall Prevention. *Health Promot. Pract.*, 2022, vol. 23, no. 5, pp. 785–792. <https://doi.org/10.1177/15248399211009783>
25. Peiffer J.J., Galvão D.A., Gibbs Z., Smith K., Turner D., Foster J., Martins R., Newton R.U. Strength and Functional Characteristics of Men and Women 65 Years and Older. *Rejuvenation Res.*, 2010, vol. 13, no. 1, pp. 75–82. <https://doi.org/10.1089/rej.2009.0916>
26. Scaglioni-Solano P., Aragón-Vargas L.F. Gait Characteristics and Sensory Abilities of Older Adults Are Modulated by Gender. *Gait Posture*, 2015, vol. 42, no. 1, pp. 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.04.002>
27. Sotoudeh G.R., Mohammadi R., Mosallanezhad Z., Viitasara E., Soares J.J.F. The Prevalence, Circumstances and Consequences of Unintentional Falls Among Elderly Iranians: A Population Study. *Arch. Gerontol. Geriatr.*, 2018, vol. 79, pp. 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2018.08.001>
28. Wang Q., Li L., Mao M., Sun W., Zhang C., Mao D., Song Q. The Relationships of Postural Stability with Muscle Strength and Proprioception Are Different Among Older Adults Over and Under 75 Years of Age. *J. Exerc. Sci. Fit.*, 2022, vol. 20, no. 4, pp. 328–334. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2022.07.004>

Поступила в редакцию 27.03.2023 / Одобрена после рецензирования 12.10.2023 / Принята к публикации 16.10.2023.
Submitted 27 March 2023 / Approved after reviewing 12 October 2023 / Accepted for publication 16 October 2023.

Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 1. С. 32–39.
Journal of Medical and Biological Research, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 32–39.

Научная статья
УДК 591.423+616.233
DOI: 10.37482/2687-1491-Z176

Влияние кромогликата натрия и интрамуральных ганглиев на экспрессию гена *TNFR1* в бронхах крыс с овальбумин-индуцированной бронхиальной астмой

Валентина Михайловна Кирилина* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4679-7767>
Ольга Евгеньевна Смирнова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0045-3814>
Любовь Евгеньевна Блажевич* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8306-738X>
Петр Михайлович Маслюков** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6230-5024>

*Петрозаводский государственный университет
(Петрозаводск, Россия)

**Ярославский государственный медицинский университет
(Ярославль, Россия)

Аннотация. Цель исследования – изучение экспрессии гена *TNFR1* в бронхах крыс с овальбумин-индуцированной бронхиальной астмой с учетом влияния интрамуральных метасимпатических ганглиев и стабилизации мембран тучных клеток кромогликатом натрия. В этой работе под экспрессией гена понимается накопление мРНК в тканях бронхов. Экспрессия гена и рецептора *TNFR1* играет большую роль в развитии аллергической астмы. По данной причине для анализа был выбран именно ген *TNFR1*. **Материалы и методы.** Образцы бронхов крыс популяции Вистар исследовались при помощи метода полимеразной цепной реакции в режиме реального времени. Для опытов брались бронхи с ганглиями (в области бифуркаций) и бронхи без ганглиев (прямые участки). Забор материала проводился у 7 групп крыс: с овальбумин-индуцированной бронхиальной астмой (6 групп) и контрольных животных (1 группа). Для лечения трех групп крыс с моделью астмы применялся стабилизатор мембран тучных клеток – кромогликат натрия. **Результаты.** Установлено, что экспрессия мРНК, кодирующей *TNFR1*, увеличивается у крыс в случае развития бронхиальной астмы. В образцах бронхов с ганглиями экспрессия гена *TNFR1* была выше, чем в препаратах бронхов без ганглиев. Под воздействием стабилизатора мембран тучных клеток кромогликата натрия она снижалась. На основании полученных результатов сделано предположение о том, что тучные клетки и нейроны интрамурального ганглия оказывают довольно выраженное влияние на экспрессию гена *TNFR1*.

Ключевые слова: *TNFR1*, тучные клетки, интрамуральный ганглий, кромогликат натрия, овальбумин-индуцированная астма, фактор некроза опухоли- α .

Ответственный за переписку: Ольга Евгеньевна Смирнова, адрес: 185910, г. Петрозаводск, просп. Ленина, д. 33; e-mail: smmirnova.olga@yandex.ru

Для цитирования: Влияние кромогликата натрия и интрамуральных ганглиев на экспрессию гена *TNFR1* в бронхах крыс с овальбумин-индуцированной бронхиальной астмой / В. М. Кирилина, О. Е. Смирнова, Л. Е. Блажевич, П. М. Маслюков // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 32-39. – DOI: 10.37482/2687-1491-Z176.

Original article

Effect of Sodium Cromoglycate and Intramural Ganglia on *TNFR1* Gene Expression in the Bronchi of Rats with Ovalbumin-Induced Bronchial Asthma

Valentina M. Kirilina* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4679-7767>

Olga E. Smirnova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0045-3814>

Lubov E. Blazhevich* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8306-738X>

Petr M. Maslyukov** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6230-5024>

*Petrozavodsk State University
(Petrozavodsk, Russian Federation)

**Yaroslavl State Medical University
(Yaroslavl, Russian Federation)

Abstract. The **purpose** of this article was to study *TNFR1* gene expression in the bronchi of rats with ovalbumin-induced bronchial asthma, taking into account intramural metasympathetic ganglia and the stabilization of mast cell membranes with sodium cromoglycate. In this paper, gene expression refers to the accumulation of mRNA in bronchial tissues. Expression of the *TNFR1* gene and receptor plays an important role in the development of allergic asthma. For this reason, the *TNFR1* gene was chosen for the analysis. **Materials and methods.** Bronchial samples from Wistar rats were studied using real-time polymerase chain reaction. For experiments, bronchi with ganglia (in the bifurcation area) and bronchi without ganglia (straight sections) were taken. The material was collected from 7 groups of rats: with ovalbumin-induced bronchial asthma (6 groups) and control animals (1 group). Mast cell stabilizer sodium cromoglycate was used to treat 3 groups of rats with simulated asthma. **Results.** It was found that the expression of mRNA encoding *TNFR1* increases in rats developing bronchial asthma. In bronchial samples with ganglia, *TNFR1* gene expression was higher than in bronchial preparations without ganglia. Under the influence of sodium cromoglycate, *TNFR1* gene expression decreased. Based on the results obtained, it was suggested that mast cells and neurons of the intramural ganglion have a rather pronounced effect on *TNFR1* gene expression.

Keywords: *TNFR1*, mast cells, intramural ganglion, sodium cromoglycate, ovalbumin-induced asthma, tumour necrosis factor- α .

For citation: Kirilina V.M., Smirnova O.E., Blazhevich L.E., Maslyukov P.M. Effect of Sodium Cromoglycate and Intramural Ganglia on *TNFR1* Gene Expression in the Bronchi of Rats with Ovalbumin-Induced Bronchial Asthma. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 32–39. DOI: 10.37482/2687-1491-Z176

Corresponding author: Olga Smirnova, address: prosp. Lenina 33, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation; e-mail: mmirnova.olga@yandex.ru

Передача сигналов цитокина – фактора некроза опухоли- α (tumour necrosis factor- α , TNF- α) – на соответствующие рецепторы играет центральную роль в развитии патологических состояний, в т. ч. бронхиальной астмы [1, 2]. В данной статье особое внимание уделяется гену, нуклеотидная последовательность которого кодирует рецептор *TNFR1*, принимающий сигналы от вышеупомянутого цитокина. Актуальность исследования гена *TNFR1* обусловлена не только его существенной ролью в патогенезе астмы, но и недостаточной изученностью степени его экспрессии с учетом интрамуральных метасимпатических ганглиев, а также влияния тучных клеток [3, 4].

В тканях кровеносных сосудов экспрессия гена *TNFR1* вызывает апоптоз эндотелиальных клеток, в миокарде – способствует развитию фиброза [5], в отношении нервной системы – к воспалению нервной ткани и демиелинизации волокон [3].

На иммунных клетках, обнаруженных в слизистом слое респираторных путей и крови человека, отмечалось увеличение экспрессии гена *TNFR1* и содержания рецептора *TNFR1* в условиях нейтрофильной и ненейтрофильной астмы [6, 7]. M. Berry et al. показали, что экспрессия *TNFR1* в моноцитах пациентов с астмой возрастала по сравнению с контрольной группой [8].

G.S. Whitehead et al. и A Proudfoot et al. в опытах на нокаутных мышах по гену *TNFR1* с моделью овальбумин-индуцированной астмы доказали, что повышенная экспрессия *TNFR1* играет решающую роль в аллергическом воспалении посредством рекрутирования эозинофилов, нейтрофилов и других лимфоцитов. При устранении эффектов *TNFR1* последовательно уменьшались и такие признаки воспаления, как количество иммунных клеток и цитокинов в лаважной жидкости и тканях легких [9, 10].

Большую роль в патогенезе аллергической бронхиальной астмы играют тучные клетки. Они опосредуют иммунную реакцию на местном уровне, выделяя в процессе дегрануляции медиаторы, цитокины, протеазы, лейкотриены.

Среди провоспалительных цитокинов тучных клеток одна из центральных патогенетических функций принадлежит TNF- α . Цитокин способствует увеличению продукции слизи в бронхах, рекрутированию иммунных клеток и цитокинов в слизистый слой нижних дыхательных путей [9], воспалению в нервной ткани и демиелинизации волокон [3]. Можно предположить, что повышение содержания TNF- α в тканях нижних дыхательных путей будет оказывать стимулирующее влияние на экспрессию *TNFR1*.

Патогенез бронхиальной астмы нельзя рассматривать без учета нервных структур. Интрамуральные метасимпатические ганглии представляют собой группы нейронов, объединенных в автономную систему регуляции стенки трахеи или бронхов. Прежде всего, они регулируют тонус гладкой мышцы, определяя тем самым величину просвета трахеи или бронха. Также нейроны ганглия способны участвовать в нейрогенном воспалении, выделяя медиаторы – нейрокинин А и субстанцию Р. Эти соединения, воздействуя на мембраны тучных клеток, вызывают их дегрануляцию с запуском аллергической реакции. В процессе дегрануляции выделяются все факторы воспаления, в т. ч. TNF- α . Таким образом, можно выдвинуть гипотезу, что интрамуральный метасимпатический ганглий будет оказывать стимулирующее влияние на экспрессию генов, кодирующих цитокиновые рецепторы, в частности на экспрессию гена *TNFR1*. Подтверждение или опровержение данной гипотезы будет представлять собой новый научный результат.

Таким образом, эффекты, связанные с экспрессией гена *TNFR1*, разнообразны. Однако исследований экспрессии этого гена в условиях модели овальбумин-индуцированной астмы с учетом такой важной структуры, как интрамуральный метасимпатический ганглий, в доступных источниках не обнаружено. Поскольку нейроны ганглия потенциально способны принимать участие в формировании нейрогенного воспаления [11], можно ожидать влияния

ганглия на экспрессию гена *TNFR1*, кодирующего соответствующий цитокиновый рецептор. Также не найдены работы о роли стабилизации мембран тучных клеток в регуляции экспрессии этих генов (в т. ч. гена *TNFR1*), в то время как именно с дегрануляции тучных клеток начинается воспаление в условиях аллергической астмы. Выделяемые тучными клетками продукты, в т. ч. TNF- α , могут оказывать существенное влияние на запуск экспрессии гена *TNFR1*.

В связи с вышеизложенным целью данного исследования было изучение экспрессии гена *TNFR1* в бронхах крыс с моделируемой астмой с учетом влияния интрамуральных метасимпатических ганглиев и стабилизации мембран тучных клеток кромогликатом натрия.

Материалы и методы. В данном исследовании применялась модель овалбумин-индуцированной бронхиальной астмы. Изучение экспрессии гена *TNFR1* в бронхах крыс проводилось при помощи метода полимеразной цепной реакции (ПЦР) в режиме реального времени.

Схема эксперимента. Исследование проведено на крысах популяции Вистар. Все животные были разделены на несколько групп: контрольная (крысы без бронхиальной астмы, получала физиологический раствор, $n = 10$), опытная 1 (крысы с овалбумин-индуцированной бронхиальной астмой, забор материала бронхов проводился через 72 ч после последней ингаляции овалбумином, $n = 10$), опытная 2 (крысы с овалбумин-индуцированной бронхиальной астмой, забор биоматериала – через 10 дней после последней ингаляции овалбумином, $n = 10$), опытная 3 (крысы с овалбумин-индуцированной бронхиальной астмой, забор биоматериала – через 17 дней после последней ингаляции овалбумином, $n = 10$). Параллельно были сформированы группы, аналогичные группам № 1–3 ($n = 10$ для каждой), но в них крысы получали лечение в виде инъекций и ингаляций кромогликата натрия (Aventis Pharma Holmes Chapel, Великобритания). От каждого животного брались препараты бронхов с ган-

глиями и без. Места расположения ганглиев в респираторном тракте крысы описаны в работе С.Н. Chiang [12]. С целью получения образцов респираторного тракта производилась декаптация с предварительной анестезией (рекомендации по эвтаназии экспериментальных животных, Европейская комиссия) [13].

Модель бронхиальной астмы. Крыс сенсibilizировали инъекциями овалбумина (Sigma-Aldrich, Германия; 0,5 мг овалбумина на 1 мл физиологического раствора). Каждому животному раствор овалбумина вводили по 0,1 мл в области шеи, спины, ступней, паха подкожно и 0,5 мл – внутрибрюшинно (всего 1 мл). Инъекции овалбумина делали на 1, 14 и 21-й день. Параллельно с инъекциями проводили ингаляцию овалбумином (1 г овалбумина на 100 мл физиологического раствора) при помощи небулайзера (Omron, NE C29-E, Россия) на 14, 16, 18, 21 и 24-й день в течение 30 мин. Последняя ингаляция раствором овалбумина осуществлялась за 72 ч до эвтаназии животных. Несенсibilizированной группе вводили физиологический раствор внутрибрюшинно в качестве контроля.

Успешность моделирования бронхиальной астмы на животных определялась по состоянию нижних дыхательных путей. В тканях бронхов оценивали количество эозинофилов и тучных клеток, слизистого компонента в просветах малых бронхов, тучных клеток в лаважной жидкости [14].

Молекулярно-генетические методы. Для определения уровня транскриптов гена *TNFR1* были использованы образцы тканей бронхов с ганглиями и без них. При помощи PureZOL™ RNA Isolation Reagent (Bio-Rad, США) выделяли тотальную рибонуклеиновую кислоту (РНК). Уровень экспрессии гена оценивали с помощью ПЦР в режиме реального времени на приборе LightCycler®96 (Roche, Швейцария). В качестве референсного гена использовали *18S rRNA* (18S рибосомальная РНК). Анализ значений производили с помощью софта LightCycler®96 для прибора LightCycler®96 (Roche).

Протокол ПЦР: денатурация комплементарной дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) в течение 5 мин при 95 °С; 35 циклов: денатурация при 95 °С – 15 с; отжиг при 60 °С – 15 с; элонгация при 72 °С – 15 с.

Нуклеотидные последовательности и ПЦР-фрагментов для гена *TNFR1* (*TNFRSF1B*) следующие: 5'СААGСААGAGTCACAGCGGA 3' (exon 9), 5'GGTTAGCATCTGGGTCTCCC 3' (exon 10). Размер ПЦР-фрагмента – 193 нуклеотидных пар [15].

Для всех данных вычисляли среднее значение (*M*), стандартное отклонение (*SD*), определяли достоверность различий по *t*-критерию Стьюдента [16]. Критический уровень значимости различий – $p < 0,05$.

Результаты. В бронхах с ганглиями опытных групп экспрессия гена рецептора *TNFR1* по сравнению контрольной группой статистически значимо возрастала ($p < 0,05$). В бронхах без ганглиев наблюдалось аналогичное повышение экспрессии. Между препаратами бронхов с ганглиями и без них в опытных группах 1 и 2 наблюдалось статистически значимое различие (в бронхах с ганглиями экспрессия гена выше ($p < 0,05$) – см. таблицу).

Кромогликат натрия оказывал подавляющее действие на экспрессию гена *TNFR1* в бронхах с ганглиями у экспериментальных животных. Во всех случаях отличия в экспрессии матричной РНК (мРНК) между животными, получавшими кромогликат натрия и не получавшими его, были статистически значимы ($p < 0,05$). В образцах бронхов без ганглиев кромогликат натрия так же снижал экспрессию гена *TNFR1* во всех группах животных ($p < 0,05$) (см. таблицу).

Обсуждение. Сравнивая содержание мРНК, кодирующей *TNFR1*, в бронхах с ганглиями и без них, отметим, что в опытных группах 1 и 2 этот показатель выше в бронхах с ганглиями, чем в бронхах без них. Можно сделать предположение, что присутствие нейронов интрамурального ганглия способствовало более интенсивному синтезу мРНК, кодирующей рецептор *TNFR1*. Мы связываем это с тем, что в условиях воспалительного процесса нейро-тучно-клеточные отношения проявляются более выразительно. В нормальных физиологических условиях влияние тучных клеток на расположенные рядом нервные структуры минимально, поскольку дегрануляция мастоцитов крайне незначительна. В условиях овалбумин-индуцированной брон-

Содержание матричной РНК, отображающее уровень экспрессии гена *TNFR1* в препаратах бронхов контрольных крыс, крыс с овалбумин-индуцированной бронхиальной астмой без лечения и при лечении кромогликатом натрия ($M \pm SD$), отн. ед.

Content of matrix RNA reflecting the expression level of the *TNFR1* gene in bronchial preparations of control rats, rats with ovalbumin-induced bronchial asthma without treatment and treated with sodium cromoglycate ($M \pm SD$), relative units

Вариант эксперимента	Контрольная группа	Опытные группы		
		1	2	3
<i>Бронхи с ганглиями</i>				
Астма без лечения	0,48±0,04	2,61±0,06*^#	2,23±0,06*^#	0,71±0,05*^#
Астма с лечением		2,34±0,04	1,67±0,05	0,46±0,06
<i>Бронхи без ганглиев</i>				
Астма без лечения	0,34±0,05	2,05±0,07*#	1,66±0,06*#	0,53±0,05*#
Астма с лечением		1,76±0,02	0,85±0,05	0,37±0,04

Примечание. Установлены статистически значимые отличия по *t*-критерию Стьюдента ($p < 0,05$): * – от контрольной группы; ^ – от бронхов без ганглиев; # – от животных с бронхиальной астмой, получавших лечение.

химальной астмы содержимое их гранул выделяется в межклеточное пространство и возбуждает нервные структуры при помощи гистамина, серотонина, аденозина. Таким образом, в условиях воспаления развивается более высокая активность нейронов ганглия.

Под влиянием кромогликата натрия происходило снижение синтеза мРНК, кодирующей рецептор *TNFR1*. Можно сделать вывод, что стабилизация мембран тучных клеток кромогликатом приводила к уменьшению экспрессии гена *TNFR1* в бронхах. В бронхах без ганглиев данный эффект был выражен сильнее. Результаты исследования позволяют предположить, что выделяемые тучными клетками цитокины, прежде всего сам TNF- α , способствуют экспрессии гена *TNFR1* в бронхах крыс, а нейроны ганглия усиливают экспрессию гена *TNFR1*. Частично подтверждает данное предположение публикация А.Н. Кучера, который полагает, что нейрональные медиаторы и активные вещества (например, субстанция P, вазоактивный интестинальный полипептид) воздействуют

на рецепторы тучных клеток, вызывая их дегрануляцию. Выделившиеся в ходе этого процесса медиаторы, цитокины, лейкотриены способствуют усилению воспалительной реакции, синтезу цитокиновых рецепторов [11].

Доказательство того, что нейроны способны воспринимать тучноклеточный цитокин TNF- α , представлено в статье I. Papazian et al., где установлено наличие *TNFR1* на нейронах мышечей [17]. Также полученные нами результаты могут найти подтверждение в работе S. Kumar et al. (показали увеличение экспрессии рецептора *TNFR1* в легких мышечей при воспалении, вызванном ингаляцией частиц дизельного выхлопа) [18].

Таким образом, проведенное нами исследование продемонстрировало увеличение экспрессии гена *TNFR1* в бронхах крыс с овальбумин-индуцированной бронхиальной астмой. Его результаты свидетельствуют о том, что тучные клетки и нейроны интрамурального ганглия оказывают выраженное влияние на экспрессию гена *TNFR1*.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов: Кирилина В.М. – идея работы, планирование эксперимента, написание статьи; Блажевич Л.Е., Смирнова О.Е. – сбор и обработка данных, написание статьи; Маслюков П.М. – редактирование статьи.

Authors' contributions: V.M. Kirilina proposed the research idea, planned the experiment and contributed to writing the manuscript; L.E. Blazhevich and O.E. Smirnova collected and processed data and contributed to writing the manuscript; P.M. Maslyukov edited the manuscript.

Список литературы

1. Ahmad S., Azid N.A., Boer J.C., Lim J., Chen X., Plebanski M., Mohamud R. The Key Role of TNF-TNFR2 Interactions in the Modulation of Allergic Inflammation: A Review // Front. Immunol. 2018. Vol. 9. Art. № 2572. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.02572>
2. Bystrom J., Clanchy F.I., Taher T.E., Mangat P., Jawad A.S., Williams R.O., Mageed R.A. TNF- α in the Regulation of Treg and Th17 Cells in Rheumatoid Arthritis and Other Autoimmune Inflammatory Diseases // Cytokine. 2018. Vol. 101. P. 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.cyto.2016.09.001>
3. Probert L. TNF and Its Receptors in the CNS: The Essential, the Desirable and the Deleterious Effects // Neuroscience. 2015. Vol. 302. P. 2–22. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2015.06.038>
4. Pasparakis M., Vandenabeele P. Necroptosis and Its Role in Inflammation // Nature. 2015. Vol. 517. P. 311–320. <https://doi.org/10.1038/nature14191>

5. Kleinbongard P., Schulz R., Heusch G. TNF- α in Myocardial Ischemia/Reperfusion, Remodeling and Heart Failure // *Heart Fail. Rev.* 2011. Vol. 16, № 1. P. 49–69. <https://doi.org/10.1007/s10741-010-9180-8>
6. Niessen N.M., Gibson P.G., Simpson J.L., Scott H.A., Baines K.J., Fricker M. Airway Monocyte Modulation Relates to Tumour Necrosis Factor Dysregulation in Neutrophilic Asthma // *ERJ Open Res.* 2021. Vol. 7, № 3. P. 00131–02021. <https://doi.org/10.1183/23120541.00131-2021>
7. Alshevskaya A., Zhukova J., Kireev F., Lopatnikova J., Evsegneeva I., Demina D., Nepomniashchikh V., Gladkikh V., Karaulov A., Sennikov S. Redistribution of TNF Receptor 1 and 2 Expression on Immune Cells in Patients with Bronchial Asthma // *Cells.* 2022. Vol. 11, № 11. Art. № 1736. <https://doi.org/10.3390/cells11111736>
8. Berry M.A., Hargadon B., Shelley M., Parker D., Shaw D.E., Green R.H., Bradding P., Brightling C.E., Wardlaw A.J., Pavord I.D. Evidence of a Role of Tumor Necrosis Factor α in Refractory Asthma // *N. Engl. J. Med.* 2006. Vol. 354, № 7. P. 697–708. <https://doi.org/10.1056/nejmoa050580>
9. Whitehead G.S., Thomas S.Y., Shalaby K.H., Nakano K., Moran T.P., Ward J.M., Flake G.P., Nakano H., Cook D.N. TNF Is Required for TLR Ligand-Mediated but Not Protease-Mediated Allergic Airway Inflammation // *J. Clin. Invest.* 2017. Vol. 127, № 9. P. 3313–3326. <https://doi.org/10.1172/jci90890>
10. Proudfoot A., Bayliff A., O’Kane C.M., Wright T., Serone A., Bareille P.J., Brown V., Hamid U.I., Chen Y., Wilson R., Cordy J., Morley P., de Wildt R., Elborn S., Hind M., Chilvers E.R., Griffiths M., Summers C., McAuley D.F. Novel Anti-Tumour Necrosis Factor Receptor-1 (TNFR1) Domain Antibody Prevents Pulmonary Inflammation in Experimental Acute Lung Injury // *Thorax.* 2018. Vol. 73, № 8. P. 723–730. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2017-210305>
11. Кучер А.Н. Нейрогенное воспаление: биохимические маркеры, генетический контроль и болезни // *Бюл. сиб. медицины.* 2020. Т. 19, № 2. С. 171–181. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2020-2-171-181>
12. Chiang C.H. Distribution of Ganglion Neurons in the Trachea of the Rat // *Kaibogaku Zasshi.* 1993. Vol. 68, № 6. P. 607–616.
13. Close B., Banister K., Baumans V., Bernoth E.M., Bromage N., Bunyan J., Erhardt W., Flecknell P., Gregory N., Hackbarth H., Morton D., Warwick C. Recommendations for Euthanasia of Experimental Animals: Part 2 // *Lab. Anim.* 1997. Vol. 31, № 1. P. 1–32. <https://doi.org/10.1258/002367797780600297>
14. Yamaguchi M., Shibata O., Nishioka K., Makita T., Sumikawa K. Propofol Attenuates Ovalbumin-Induced Smooth Muscle Contraction of the Sensitized Rat Trachea: Inhibition of Serotonergic and Cholinergic Signaling // *Anesth. Analg.* 2006. Vol. 103, № 3. P. 594–600. <https://doi.org/10.1213/01.ane.0000229853.01875.60>
15. Yilmaz A., Onen H., Alp E., Menevse S. Real-Time PCR for Gene Expression Analysis // *Polymerase Chain Reaction / ed. by P. Hernandez-Rodriguez, A.P. Ramirez Gomez.* Intech, 2012. P. 229–254.
16. Masuda N., Mantani Y., Yoshitomi C., Yuasa H., Nishida M., Aral M., Kawano J., Yokoyama T., Hoshi N., Kitagawa H. Immunohistochemical Study on the Secretory Host Defense System with Lysozyme and Secretory Phospholipase A2 Throughout Rat Respiratory Tract // *J. Vet. Med. Sci.* 2018. Vol. 80, № 2. P. 323–332. <https://doi.org/10.1292/jvms.17-0503>
17. Papazian I., Tsoukala E., Boutou A., Karamita M., Kambas K., Iliopoulou L., Fischer R., Kontermann R.E., Denis M.C., Kollias G., Lassmann H., Probert L. Fundamentally Different Roles of Neuronal TNF Receptors in CNS Pathology: TNFR1 and IKK β Promote Microglial Responses and Tissue Injury in Demyelination While TNFR2 Protects Against Excitotoxicity in Mice // *J. Neuroinflammation.* 2021. Vol. 18, № 1. Art. № 222. <https://doi.org/10.1186/s12974-021-02200-4>
18. Kumar S., Joos G., Boon L., Tournoy K., Provoost S., Maes T. Role of Tumor Necrosis Factor- α and Its Receptors in Diesel Exhaust Particle-Induced Pulmonary Inflammation // *Sci. Rep.* 2017. Vol. 7, № 1. Art. № 11508. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11991-7>

References

1. Ahmad S., Azid N.A., Boer J.C., Lim J., Chen X., Plebanski M., Mohamud R. The Key Role of TNF-TNFR2 Interactions in the Modulation of Allergic Inflammation: A Review. *Front. Immunol.*, 2018, vol. 9. Art. no. 2572. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.02572>
2. Bystrom J., Clanchy F.I., Taher T.E., Mangat P., Jawad A.S., Williams R.O., Mageed R.A. TNF- α in the Regulation of Treg and Th17 Cells in Rheumatoid Arthritis and Other Autoimmune Inflammatory Diseases. *Cytokine*, 2018, vol. 101, pp. 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.cyto.2016.09.001>

3. Probert L. TNF and Its Receptors in the CNS: The Essential, the Desirable and the Deleterious Effects. *Neuroscience*, 2015, vol. 302, pp. 2–22. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2015.06.038>
4. Pasparakis M., Vandenabeele P. Necroptosis and Its Role in Inflammation. *Nature*, 2015, vol. 517, pp. 311–320. <https://doi.org/10.1038/nature14191>
5. Kleinbongard P., Schulz R., Heusch G. TNF- α in Myocardial Ischemia/Reperfusion, Remodeling and Heart Failure. *Heart Fail. Rev.*, 2011, vol. 16, no. 1, pp. 49–69. <https://doi.org/10.1007/s10741-010-9180-8>
6. Niessen N.M., Gibson P.G., Simpson J.L., Scott H.A., Baines K.J., Fricker M. Airway Monocyte Modulation Relates to Tumour Necrosis Factor Dysregulation in Neutrophilic Asthma. *ERJ Open Res.*, 2021, vol. 7, no. 3, pp. 00131–02021. <https://doi.org/10.1183/23120541.00131-2021>
7. Alshevskaya A., Zhukova J., Kireev F., Lopatnikova J., Evsegneeva I., Demina D., Nepomniashchikch V., Gladkikh V., Karaulov A., Sennikov S. Redistribution of TNF Receptor 1 and 2 Expression on Immune Cells in Patients with Bronchial Asthma. *Cells*, 2022, vol. 11, no. 11. Art. no. 1736. <https://doi.org/10.3390/cells11111736>
8. Berry M.A., Hargadon B., Shelley M., Parker D., Shaw D.E., Green R.H., Bradding P., Brightling C.E., Wardlaw A.J., Pavord I.D. Evidence of a Role of Tumor Necrosis Factor α in Refractory Asthma. *N. Engl. J. Med.*, 2006, vol. 354, no. 7, pp. 697–708. <https://doi.org/10.1056/nejmoa050580>
9. Whitehead G.S., Thomas S.Y., Shalaby K.H., Nakano K., Moran T.P., Ward J.M., Flake G.P., Nakano H., Cook D.N. TNF Is Required for TLR Ligand-Mediated but Not Protease-Mediated Allergic Airway Inflammation. *J. Clin. Invest.*, 2017, vol. 127, no. 9, pp. 3313–3326. <https://doi.org/10.1172/jci90890>
10. Proudfoot A., Bayliffe A., O’Kane C.M., Wright T., Serone A., Bareille P.J., Brown V., Hamid U.I., Chen Y., Wilson R., Cordy J., Morley P., de Wildt R., Elborn S., Hind M., Chilvers E.R., Griffiths M., Summers C., McAuley D.F. Novel Anti-Tumour Necrosis Factor Receptor-1 (TNFR1) Domain Antibody Prevents Pulmonary Inflammation in Experimental Acute Lung Injury. *Thorax*, 2018, vol. 73, no. 8, pp. 723–730. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2017-210305>
11. Kucher A.N. Neurogenic Inflammation: Biochemical Markers, Genetic Control and Diseases. *Bull. Sib. Med.*, 2020, vol. 19, no. 2, pp. 171–181. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2020-2-171-181>
12. Chiang C.H. Distribution of Ganglion Neurons in the Trachea of the Rat. *Kaibogaku Zasshi*, 1993, vol. 68, no. 6, pp. 607–616.
13. Close B., Banister K., Baumans V., Bernoth E.M., Bromage N., Bunyan J., Erhardt W., Flecknell P., Gregory N., Hackbarth H., Morton D., Warwick C. Recommendations for Euthanasia of Experimental Animals: Part 2. *Lab. Anim.*, 1997, vol. 31, no. 1, pp. 1–32. <https://doi.org/10.1258/002367797780600297>
14. Yamaguchi M., Shibata O., Nishioka K., Makita T., Sumikawa K. Propofol Attenuates Ovalbumin-Induced Smooth Muscle Contraction of the Sensitized Rat Trachea: Inhibition of Serotonergic and Cholinergic Signaling. *Anesth. Analg.*, 2006, vol. 103, no. 3, pp. 594–600. <https://doi.org/10.1213/01.ane.0000229853.01875.60>
15. Yilmaz A., Onen H., Alp E., Menevse S. Real-Time PCR for Gene Expression Analysis. Hernandez-Rodriguez P., Ramirez Gomez A.P. (eds.). *Polymerase Chain Reaction*. Intech, 2012, pp. 229–254.
16. Masuda N., Mantani Y., Yoshitomi C., Yuasa H., Nishida M., Aral M., Kawano J., Yokoyama T., Hoshi N., Kitagawa H. Immunohistochemical Study on the Secretory Host Defense System with Lysozyme and Secretory Phospholipase A2 Throughout Rat Respiratory Tract. *J. Vet. Med. Sci.*, 2018, vol. 80, no. 2, pp. 323–332. <https://doi.org/10.1292/jvms.17-0503>
17. Papazian I., Tsoukala E., Boutou A., Karamita M., Kambas K., Iliopoulou L., Fischer R., Kontermann R.E., Denis M.C., Kollias G., Lassmann H., Probert L. Fundamentally Different Roles of Neuronal TNF Receptors in CNS Pathology: TNFR1 and IKK β Promote Microglial Responses and Tissue Injury in Demyelination While TNFR2 Protects Against Excitotoxicity in Mice. *J. Neuroinflammation*, 2021, vol. 18, no. 1. Art. no. 222. <https://doi.org/10.1186/s12974-021-02200-4>
18. Kumar S., Joos G., Boon L., Tournoy K., Provoost S., Maes T. Role of Tumor Necrosis Factor- α and Its Receptors in Diesel Exhaust Particle-Induced Pulmonary Inflammation. *Sci. Rep.*, 2017, vol. 7, no. 1. Art. no. 11508. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11991-7>

Поступила в редакцию 04.05.2023 / Одобрена после рецензирования 26.10.2023 / Принята к публикации 01.11.2023.
Submitted 4 May 2023 / Approved after reviewing 26 October 2023 / Accepted for publication 1 November 2023.

Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 1. С. 40–48.

Journal of Medical and Biological Research, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 40–48.

Научная статья

УДК 612

DOI: 10.37482/2687-1491-Z173

Динамика физиологических показателей студентов г. Луганска при прохождении практики в высокогорье

Диана Адамовна Хашхожева* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8393-0945>

Анна Васильевна Иваненко** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8831-5386>

Юлия Сергеевна Фоминова** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9656-6348>

Имирлан Хазретович Эристов* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2974-5634>

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
(Нальчик, Россия)

**Луганский государственный педагогический университет
(Луганск, Россия)

Аннотация. Молодежь, проживающая в экологически неблагоприятной местности, испытывает потребность в поддержке функциональных резервов организма. Гипоксические тренировки в горах являются золотым стандартом адаптационной физиологии. **Цель** данной работы – изучить физиологические показатели молодых жителей г. Луганска при перемещении с равнинной территории в высокогорье. **Материалы и методы.** Обследованы студенты Луганского государственного педагогического университета ($n = 19$) до, в период и после пребывания в Приэльбрусье. Для наблюдения за физиологическими показателями проводили пульсоксиметрию на приборе MD300M, измеряли артериальное давление аускультативным методом, определяли вегетативный индекс Кердо (ВИК) и концентрацию CO_2 в крови методом капнометрии. **Результаты.** Выявлен низкий фоновый уровень здоровья студентов. После 5-дневного пребывания в горах отмечался некоторый рост физиологического благополучия, наблюдавшийся и по возвращении в Луганск (период последствий). Так, частота сердечных сокращений (ЧСС) снизилась с $86,14 \pm 3,63$ до $81,16 \pm 2,19$ уд/мин, на 10-й день последствий эффект сохранился – ЧСС составила $80,87 \pm 4,77$ уд/мин. Сатурация повысилась с $94,86 \pm 0,31$ до $96,16 \pm 0,32$ %, а на 10-й день последствий составила $95,29 \pm 0,33$ %. Вегетативное равновесие сместилось с симпатикотонии (ВИК = $22,92 \pm 5,48$ у. е.) в сторону нормотонии (ВИК = $15,56 \pm 3,55$ у. е.). Концентрация CO_2 в артериальной крови составила: фоновая – $4,73 \pm 0,08$ %, на 3-й день пребывания в горах – $5,03 \pm 0,15$ %, на 2-й день последствий – $5,16 \pm 0,20$ %, а на 10-й – $4,86 \pm 0,09$ %. Одновременно увеличилось время задержки дыхания, что свидетельствует о состоявшейся адаптации к гипоксии. В период пребывания в горах студенты ежедневно перемещались на высоте 1500–3450 м над уровнем моря, колебательный режим гипоксических тренировок сопровождался субъективно плохим самочувствием, слабостью и голово-

Ответственный за переписку: Диана Адамовна Хашхожева, адрес: 360003, г. Нальчик, ул. Чернышевского, д. 173; e-mail: dianaadamovna@mail.ru

кружением, что объяснимо с позиций механизмов физиологической адаптации к гипоксии. Результаты исследования подтверждают необходимость принятия мер по повышению уровня функциональных резервов молодежи Луганска.

Ключевые слова: адаптация к гипоксии, горная местность, студенты, физиологические резервы, частота сердечных сокращений, сатурация крови кислородом, концентрация углекислого газа в крови.

Для цитирования: Динамика физиологических показателей студентов г. Луганска при прохождении практики в высокогорье / Д. А. Хашхожева, А. В. Иваненко, Ю. С. Фомина, И. Х. Эристов // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 40-48. – DOI: 10.37482/2687-1491-Z173.

Original article

Dynamics of Physiological Parameters in Lugansk Students During Internship in the Highlands

Diana A. Khaskhozheva* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8393-0945>

Anna V. Ivanenko** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8831-5386>

Yuliya S. Fominova** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9656-6348>

Imirlan Kh. Eristov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2974-5634>

*Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov
(Nalchik, Russian Federation)

**Lugansk State Pedagogical University
(Lugansk, Russian Federation)

Abstract. Adverse ecological conditions put a strain on the functional reserves of young people. Hypoxic training in the mountains is the gold standard of adaptive physiology. The **purpose** of this paper was to study the physiological parameters of young Lugansk residents moving from the lowlands to the highlands. **Materials and methods.** Students of Lugansk State Pedagogical University ($n = 19$) were examined before, during and after their stay in the Elbrus region. To monitor the physiological parameters, pulse oximetry was performed using the MD300M device, blood pressure was measured using the auscultation method, Kérdö index and CO₂ concentration in the blood using capnometry were determined. **Results.** The baseline level of health in students was found to be low. After a 5-day stay in the mountains, a certain increase in physiological well-being was noted, which persisted upon returning to Lugansk (aftereffect period). Namely, heart rate (HR) decreased from 86.14 ± 3.63 to 81.16 ± 2.19 bpm; 10 days later the effect remained: HR was 80.87 ± 4.77 bpm. Oxygen saturation increased from 94.86 ± 0.31 to 96.16 ± 0.32 %; on the 10th day upon returning to the city, it was 95.29 ± 0.33 %. Autonomic balance shifted from sympathicotonia (Kérdö index = 22.92 ± 5.48 conventional units) towards normotonia (Kérdö index = 15.56 ± 3.55 conventional units). CO₂ concentration in the arterial blood was 4.73 ± 0.08 % at baseline, 5.03 ± 0.15 % on the 3rd day in the mountains, 5.16 ± 0.20 % on the 2nd day of aftereffect, and 4.86 ± 0.09 % on the 10th day. Breath-holding time increased, which indicates that

Corresponding author: Diana Khaskhozheva, address: ul. Chernyshevskogo 173, Nalchik, 360003, Russian Federation; e-mail: dianaadamovna@mail.ru

adaptation to hypoxia occurred. During their stay in the mountains, students went on daily hikes at 1500–3450 m above sea level. The fluctuating mode of hypoxic training was accompanied by a subjective feeling of unwellness, weakness and vertigo, which is understandable considering the mechanisms of physiological adaptation to hypoxia. The results of the study confirm that measures need to be taken in order to increase the level of functional reserves of young people living in Lugansk.

Keywords: *adaptation to hypoxia, mountainous area, students, physiological reserves, heart rate, oxygen saturation, carbon dioxide level in the blood.*

For citation: Khashkhozheva D.A., Ivanenko A.V., Fominova Yu.S., Eristov I.Kh. Dynamics of Physiological Parameters in Lugansk Students During Internship in the Highlands. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 40–48. DOI: 10.37482/2687-1491-Z173

Вопрос о механизмах адаптации человека к изменяющимся условиям среды и способах поддержки организма, несмотря на повышенный к нему интерес и большое количество исследований, по-прежнему актуален. Среди населения отмечается бесконтрольный прием биологически активных добавок с целью повышения функциональных резервов и восполнения дефицитов, хотя показано, что такая тенденция может иметь последствия в виде отклонения физиологических показателей в сторону патологии [1, 2]. Требуется поиск средств повышения уровня здоровья без высокой степени инвазивности.

В поддержке функциональных резервов организма, несомненно, нуждается и молодежь. В последние десятилетия отечественные ученые отмечают снижение общего уровня функциональных резервов молодых людей РФ [3, 4]. Общемировая тенденция, за исключением стран Африки к югу от Сахары, противоположная: наблюдается постепенный рост физиологического благополучия молодых людей [5]. Однако даже эта незначительная тенденция к повышению уровня функциональных резервов детей и молодежи была поставлена под угрозу пандемией COVID-19 [6]. Очевидно, что необходимо интенсифицировать исследования в части изучения причин фонового снижения здоровья молодежи, а также поиска инструментов нормализации их адаптационного потенциала. Здоровое, тру-

доспособное молодое население является залогом развития любого общества. Тенденция к снижению физического благополучия молодежи не может не вызывать беспокойство. Предотвращение патологии путем повышения уровня функциональных резервов организма – классический и безопасный способ оздоровления в адаптационной физиологии.

Цель работы состояла в исследовании физиологических показателей молодых людей при перемещении с равнинной территории в высокогорье.

Материалы и методы. Настоящее исследование проведено в июле 2022 года, в период летней практики студентов Луганского государственного педагогического университета (ЛГПУ), которая проходила в Эльбрусском учебно-научном комплексе Кабардино-Балкарского государственного университета (с. Эльбрус). В нем приняли участие 19 студентов 1-го курса факультета естественных наук, которые были ознакомлены с целями работы и дали информированное согласие. Средний возраст участников исследования составил $19,00 \pm 0,12$ года. Выборка была равномерно разделена по полу, исключены лица с хроническими заболеваниями сердечно-сосудистой системы, т. к. именно на органы данной системы приходится основная нагрузка адаптационного ответа организма.

Участники исследования – студенты ЛГПУ – проживают в экологически небла-

гоприятной среде [7–9]. В последние годы в Луганской области регистрируется рост загрязненности воздуха и воды, а также повышение антропогенной нагрузки. Равнинная территория региона располагается преимущественно в степной зоне, на высоте до 300 м над уровнем моря, климат – умеренно-континентальный [10]. Однако ученые отмечают, что температура воздуха зимой имеет тенденцию к снижению, а летом – к повышению [11].

Исследуемая группа переместилась с территории Луганской области в район Приэльбрусья. Учебно-научный комплекс, в котором проводилось исследование, находится на высоте 1850 м над уровнем моря. В период пребывания в горах молодые люди ежедневно перемещались по территории национального парка «Приэльбрусье» в пределах 1500–3450 м над уровнем моря. Данный регион характеризуется разнообразным ландшафтом, сложным радиационным и тепловым балансом [12], что в сочетании с физическими нагрузками стимулирует симпатoadреналовую систему человека.

Для наблюдения за физиологическими показателями студентов выполняли пульсоксиметрию на приборе MD300M, измеряли арте-

риальное давление аускультативным методом, концентрацию CO₂ в крови методом капнометрии, а также определяли вегетативный индекс Кердо (ВИК). Измерения проводили в три этапа: до поездки в горную местность (фоновые значения), в период пребывания в горах и по возвращении в г. Луганск (2-й и 10-й дни последствия). Оценку статистической значимости различий между фоновыми и последующими показателями производили по *t*-критерию Стьюдента (при *p* < 0,05 в сравнении с фоном).

Результаты. Фоновое значение частоты сердечных сокращений (ЧСС) в среднем составило 86,14±3,63 уд/мин (рис. 1). В 1-й день пребывания в высокогорье показатель повысился до 88,68±2,66 уд/мин, однако в последующие дни отмечено его снижение. К 5-му дню пребывания в горах средняя ЧСС студентов составила 81,16±2,19 уд/мин. Через 10 дней после возвращения в Луганск значение показателя стало 80,87±4,77 уд/мин.

Сатурация кислорода статистически значимо повышалась с 94,86±0,31 % (фон) до 96,16±0,32 % (период пребывания в горах). По возвращении на равнину отмечалось сни-

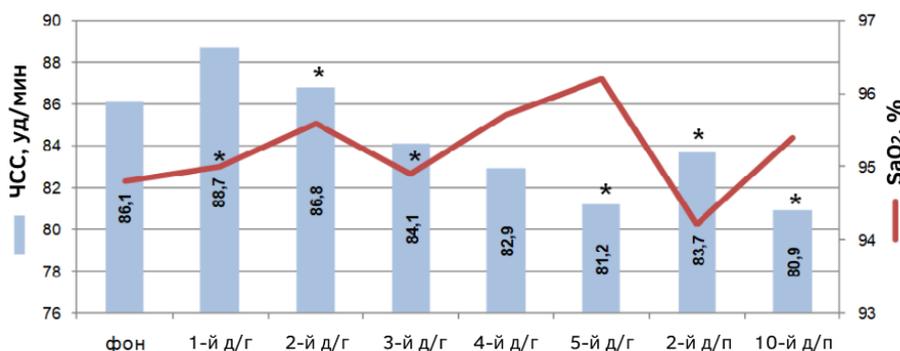


Рис. 1. Динамика частоты сердечных сокращений (ЧСС) и сатурации кислорода в крови (SaO₂) студентов Луганского государственного педагогического университета при адаптации к высокогорью (здесь и далее: д/г – дни в горах; д/п – дни последствия; * – установлены статистически значимые различия с фоновыми значениями, *p* < 0,05)

Fig. 1. Dynamics of heart rate and blood oxygen saturation in Lugansk State Pedagogical University students during adaptation to high altitudes (* – statistically significant differences from baseline were established, *p* < 0,05)

жение показателя до $94,14 \pm 0,37$ %, однако к 10-му дню последствия он статистически значимо повысился в сравнении с фоном (до $95,29 \pm 0,33$ %).

Вегетативное равновесие оценивалось по ВИК. Значение индекса в интервале от -10 до $+10$ у. е. соответствует нормотонии, больше $+10$ у. е. – симпатикотонии (преобладание тонуса симпатической нервной системы), меньше -10 у. е. – парасимпатикотонии (преобладание тонуса парасимпатического отдела вегетативной нервной системы). Фоновое значение ВИК у студентов было в среднем $22,92 \pm 5,48$ у. е., что говорит о превалировании тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы (рис. 2). С первых дней пребывания в горах отмечалось смещение веге-

низме саморегуляции дыхания, а также обеспечения спонтанной ритмической деятельности дыхательного центра. Дефицит CO_2 может провоцировать кислородное голодание: кислород поступает в ткани в обмен на CO_2 , низкое содержание последнего в ткани приводит к неполноценной отдаче кислорода гемоглобином. Кроме того, углекислый газ участвует в нормализации важных физиологических показателей – тонуса гладкой мускулатуры и возбудимости нервной системы [13]. Таким образом, углекислый газ способствует полноценному усвоению кислорода, а его процентное содержание в артериальной крови является важным физиологическим критерием оценки состояния кровоснабжения тканей.

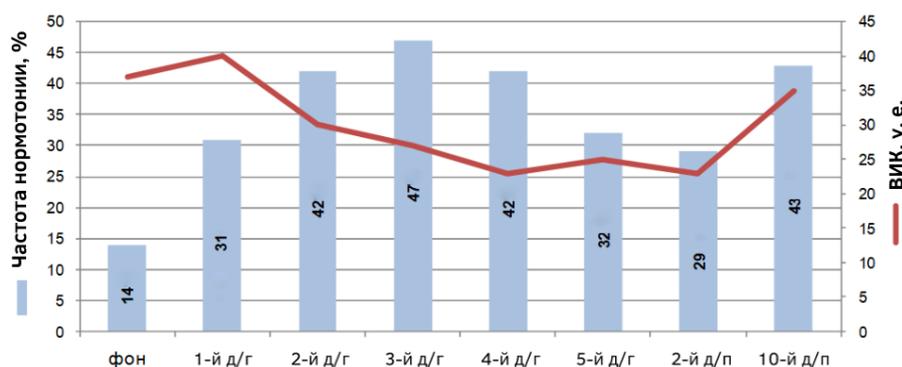


Рис. 2. Динамика вегетативного равновесия студентов Луганского государственного педагогического университета при адаптации к высокогорью (ВИК – вегетативный индекс Кердо)

Fig. 2. Dynamics of autonomic balance in Lugansk State Pedagogical University students during adaptation to high altitudes

тативного равновесия в сторону нормотонии. На 4-й день пребывания в высокогорье значение показателя стало $12,85 \pm 3,49$ у. е. Доля студентов с нормотонией в течение всего периода наблюдения увеличивалась. На 2-й и 10-й дни последствия ВИК составил $13,84 \pm 6,75$ и $21,23 \pm 2,31$ у. е. соответственно. Флуктуации показателя сглажены и свидетельствуют о реализации адаптационных механизмов.

Известно, что физиологическое значение углекислого газа состоит в участии в меха-

В нашем исследовании фоновое значение концентрации углекислого газа в крови студентов в среднем составило $4,73 \pm 0,08$ % (рис. 3). В течение всего периода пребывания в горах отмечались незначительные флуктуации показателя, несмотря на которые можно говорить о росте концентрации углекислого газа в крови участников исследования. На 2-й день последствия наблюдалось статистически значимое повышение показателя по сравнению с фоном (до $5,16 \pm 0,20$ %).

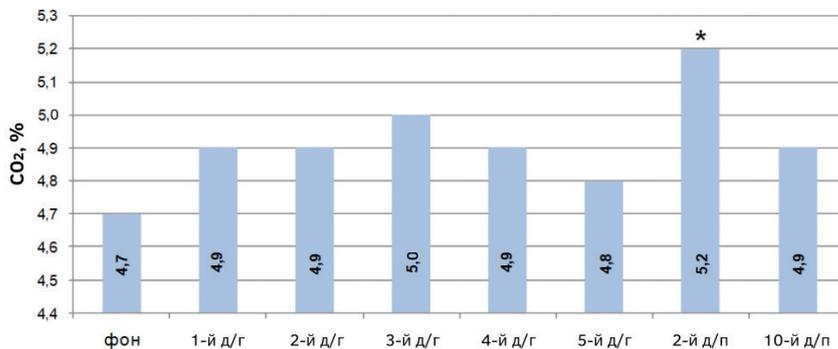


Рис. 3. Динамика концентрации углекислого газа в крови студентов Луганского государственного педагогического университета при адаптации к высокогорью

Fig. 3. Dynamics of carbon dioxide level in the blood of Lugansk State Pedagogical University students during adaptation to high altitudes

Обсуждение. Повышение функциональных резервов организма через высокогорную адаптацию субъективно нельзя назвать комфортным: студенты периодически отмечали головные боли, общую слабость и высокую утомляемость. Однако динамика физиологических показателей объективно демонстрирует их нормализацию: повышалось насыщение гемоглобина крови кислородом на фоне снижения ЧСС, росла доля участников исследования с нормотонией, концентрация углекислого газа в крови также увеличивалась. Наиболее резкие изменения произошли в 1-й день пребывания в горах и на 2-й день последствия. В 1-й день практики у студентов при средней ЧСС 88,68 уд/мин сатурация составила лишь 95,05 %. По возвращении в Луганск средняя ЧСС стала 83,71 уд/мин, а сатурация упала до 94,14 %, однако к 10-му дню последствия произошло увеличение сатурации до 95,29 %.

За весь период наблюдения доля студентов с нормотонией выросла с 14 до 43 %, содержание углекислоты в артериальной крови и сатурация незначительно повысились, а ЧСС уменьшилась и стабилизировалась. В физиологии известен эффект Вериго–Бора [14]: снижение содержания углекислоты в артери-

альной крови влечет за собой увеличение коэффициента сродства кислорода к гемоглобину. Это затрудняет высвобождение кислорода в ткань и способствует развитию гипоксии. Поэтому кажущееся противоречивым одновременное повышение концентрации углекислого газа в артериальной крови и насыщения гемоглобина крови кислородом является физиологически обусловленным и адаптивным для организма. Кроме того, известно, что рост концентрации углекислого газа в крови связан с увеличением времени задержки дыхания, что также указывает на состоявшуюся приспособительную реакцию организма. Исследования свидетельствуют, что при этом растут концентрация оксигемоглобина, минутный объем дыхания и емкость легких при неизменной частоте дыхательных движений [15, 16]. Однако есть работы, показывающие, что при адаптации к высокогорной гипоксии возможны суточная нестабильность сатурации и уменьшение содержания оксигемоглобина в ночное время [17].

Фоновые значения физиологических показателей демонстрируют выраженно сниженный уровень здоровья среди студентов Луганска. Стоит подчеркнуть, что пребывание студентов в горах длилось лишь неделю и со-

проводилось физическими нагрузками, с чем связаны флуктуации физиологических показателей. Предполагаем, что более длительное пребывание в горах с умеренной физической нагрузкой будет иметь более сильный адаптационный эффект с меньшими флуктуациями.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

1. *Stickel F., Shouval D.* Hepatotoxicity of Herbal and Dietary Supplements: An Update // *Arch. Toxicol.* 2015. Vol. 89. P. 851–865. <https://doi.org/10.1007/s00204-015-1471-3>
2. *White C.M.* Dietary Supplements Pose Real Dangers to Patients // *Ann. Pharmacother.* 2020. Vol. 54, № 8. P. 815–819. <https://doi.org/10.1177/1060028019900504>
3. *Журавлева И.В., Лакомова Н.В.* Здоровье молодежи как объект социальной политики // *Соц. аспекты здоровья населения.* 2018. № 4(62). Ст. № 8. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2018-62-4-8>
4. *Коданева Л.Н., Кетлерова Е.С.* Образ жизни и отношение к здоровью студенческой молодежи // *Уч. зап. ун-та им. П.Ф. Лесгафта.* 2019. № 3(169). С. 152–156.
5. *Masquelier B., Hug L., Sharrow D., You D., Mathers C., Gerland P., Alkema L.* Global, Regional, and National Mortality Trends in Youth Aged 15–24 Years Between 1990 and 2019: A Systematic Analysis // *Lancet Glob. Health.* 2021. Vol. 9, № 4. P. e409–e417. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(21\)00023-1](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(21)00023-1)
6. *Kyeremateng R., Oguda L., Asemota O.* COVID-19 Pandemic: Health Inequities in Children and Youth // *Arch. Dis. Child.* 2022. Vol. 107, № 3. P. 297–299. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2020-320170>
7. *Лобачева К.Е.* Сравнительная оценка экологического состояния атмосферного воздуха города Луганска // *Достижения молодых ученых в развитии сельскохозяйственной науки и АПК: сб. материалов VII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых (с. Соленое Займище, 18–19 июля 2018 г.).* Соленое Займище, 2018. С. 222–226.
8. *Тресницкий С.Н., Авдеенко В.С., Тресницкая В.А., Енин М.В.* Анализ экологической ситуации в регионе Донбасса // *Науч. вестн. ГОУ ЛНР «Луган. нац. аграр. ун-т».* 2019. № 6-2. С. 442–450.
9. *Козьякова С.С., Шабанова Ю.Н., Негода А.А.* Мониторинг состояния окружающей среды в Луганской Народной Республике // *Материалы пула научно-практических конференций (Донецк–Керчь–Луганск, 24–28 янв. 2022 г.).* Керчь, 2022. С. 290–293.
10. *Слонова Т.И.* Географическое положение Луганщины и его влияние на социально-экономическое развитие региона // *Туристическая индустрия: современное состояние и приоритеты: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Луганск, 27–28 апр. 2017 г.).* Вып. 10. Луганск, 2017. С. 345–349.
11. *Долгих Е.Д.* Климат Луганщины и его современные изменения // *Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Біологічні науки.* 2013. № 50. С. 94–97.
12. *Шальнев В.А., Лысенко А.В.* Климатические условия развития туристско-рекреационной деятельности в Западном Приэльбрусье // *Наука. Инновации. Технологии.* 2020. № 4. С. 53–74.
13. *Шаов М.Т., Пишкова О.В., Шаова З.А.* Дистанционное управление здоровьем человека с помощью квантово-волновых физиологических технологий (квантово-волновая физиология) // *Успехи соврем. естествознания.* 2010. № 5. С. 21–28.
14. *Буянтян Н.Д., Дрогвоз С.М., Кононенко А.В., Зеленкова Г., Прокофьев А.Б.* Карбокситерапия – одно из инновационных направлений в курортологии // *Вопр. курортологии, физиотерапии и лечеб. физ. культуры.* 2018. Т. 95, № 5. С. 72–76. <https://doi.org/10.17116/kurort20189505172>
15. *Анзоров В.А., Морякина С.В.* Адаптация респираторной системы студентов к горной гипоксии // *Перспективы науки.* 2016. № 1(76). С. 19–23.

16. Lee P., Chandel N.S., Simon M.C. Cellular Adaptation to Hypoxia Through Hypoxia Inducible Factors and Beyond // *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 2020. Vol. 21, № 5. C. 268–283. <https://doi.org/10.1038/s41580-020-0227-y>

17. Hill C.M., Baya A., Gavlak J., Carroll A., Heathcote K., Dimitriou D., L'Esperance V., Webster R., Holloway J., Virues-Ortega J., Kirkham F.J., Bucks R.S., Hogan A.M. Adaptation to Life in the High Andes: Nocturnal Oxyhemoglobin Saturation in Early Development // *Sleep.* 2016. Vol. 39, № 5. P. 1001–1008. <https://doi.org/10.5665/sleep.5740>

References

1. Stickel F., Shouval D. Hepatotoxicity of Herbal and Dietary Supplements: An Update. *Arch. Toxicol.*, 2015, vol. 89, pp. 851–865. <https://doi.org/10.1007/s00204-015-1471-3>

2. White C.M. Dietary Supplements Pose Real Dangers to Patients. *Ann. Pharmacother.*, 2020, vol. 54, no. 8, pp. 815–819. <https://doi.org/10.1177/1060028019900504>

3. Zhuravleva I.V., Lakomova N.V. Zdorov'e molodezhi kak ob'ekt sotsial'noy politiki [Health of Youth as a Object of Social Policy]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2018, no. 4. Art. no. 8. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2018-62-4-8>

4. Kodaneva L.N., Ketlerova E.S. Obraz zhizni i otnoshenie k zdorov'yu studencheskoy molodezhi [Life Style and Attitude to Health of Students]. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*, 2019, no. 3, pp. 152–156.

5. Masquelier B., Hug L., Sharrow D., You D., Mathers C., Gerland P., Alkema L. Global, Regional, and National Mortality Trends in Youth Aged 15–24 Years Between 1990 and 2019: A Systematic Analysis. *Lancet Glob. Health*, 2021, vol. 9, no. 4, pp. e409–e417. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(21\)00023-1](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(21)00023-1)

6. Kyeremateng R., Oguda L., Asemota O. COVID-19 Pandemic: Health Inequities in Children and Youth. *Arch. Dis. Child.*, 2022, vol. 107, no. 3, pp. 297–299. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2020-320170>

7. Lobacheva K.E. Sravnitel'naya otsenka ekologicheskogo sostoyaniya atmosfernogo vozdukh goroda Luganska [Comparative Assessment of the Ecological State of the Atmospheric Air in the City of Lugansk]. *Dostizheniya molodykh uchennykh v razvitiy sel'skokhozyaystvennoy nauki i APK* [Achievements of Young Scientists in the Development of Agricultural Science and Industrial Agriculture]. *Solyonoye Zaymishche*, 2018, pp. 222–226.

8. Tresnitskiy S.N., Avdeenko V.S., Tresnitskaya V.A., Enin M.V. Analiz ekologicheskoy situatsii v regione Donbassa [The Analysis of the Environmental Situation in the Region of Donbass]. *Nauchnyy vestnik GOU LNR "Luganskiy natsional'nyy agrarnyy universitet"*, 2019, no. 6-2, pp. 442–450.

9. Koz'yakova S.S., Shabanova Yu.N., Negoda A.A. Monitoring sostoyaniya okruzhayushchey sredy v Luganskoy Narodnoy Respublike [Monitoring of the State of the Environment in the Lugansk People's Republic]. *Materialy pula nauchno-prakticheskikh konferentsiy* [Materials of the Pool of Research-to-Practice Conferences]. Kerch, 2022, pp. 290–293.

10. Sloneva T.I. Geograficheskoe polozhenie Luganshchiny i ego vliyanie na sotsial'no-ekonomicheskoe razvitiye regiona [Geographical Location of Lugansk Region and Its Impact on the Region's Socio-Economic Development]. *Turisticheskaya industriya: sovremennoe sostoyanie i priority* [Tourism Industry: Current State and Priorities]. Iss. 10. Lugansk, 2017, pp. 345–349.

11. Dolgikh E.D. Luhansk Climate and Its Modern Changes. *Sci. Bull. Lugansk Natl. Agrar. Univ. Biol. Sci.*, 2013, no. 50, pp. 94–97 (in Ukrainian).

12. Shal'nev V.A., Lysenko A.V. Klimaticheskie usloviya razvitiya turistsko-rekreatsionnoy deyatel'nosti v Zapadnom Priel'brus'e [Climatic Conditions of the Development of Tourist and Recreational Activities in the Western Elbrus Region]. *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*, 2020, no. 4, pp. 53–74.

13. Shaov M.T., Pshikova O.V., Shaova Z.A. Dstantsionnoe upravlenie zdorov'em cheloveka s pomoshch'yu kvantovo-volnovykh fiziologicheskikh tekhnologiy (kvantovo-volnovaya fiziologiya) [Remote Control by Health of the Man with the Help of Quant-Wave Physiological Technologies (Quant-Wave Physiology)]. *Uspekhi sovremennoy estestvoznaniya*, 2010, no. 5, pp. 21–28.

14. Bunyatyan N.D., Drogovoz S.M., Kononenko A.V., Zelenkova G., Prokofiev A.B. Carboxytherapy – an Innovative Trend in Resort Medicine. *Probl. Balneol. Physiother. Exerc. Ther.*, 2018, vol. 95, no. 5, pp. 72–76 (in Russ.). <https://doi.org/10.17116/kurort20189505172>

15. Anzorov V.A., Moryakina S.V. Adaptatsiya respiratornoy sistemy studentov k gornoy gipoksii [Adaptation of Respiratory System of Students to Mountain Hypoxia]. *Perspektivy nauki*, 2016, no. 1, pp. 19–23.

16. Lee P., Chandel N.S., Simon M.C. Cellular Adaptation to Hypoxia Through Hypoxia Inducible Factors and Beyond. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.*, 2020, vol. 21, no. 5, pp. 268–283. <https://doi.org/10.1038/s41580-020-0227-y>

17. Hill C.M., Baya A., Gavlak J., Carroll A., Heathcote K., Dimitriou D., L'Esperance V., Webster R., Holloway J., Virues-Ortega J., Kirkham F.J., Bucks R.S., Hogan A.M. Adaptation to Life in the High Andes: Nocturnal Oxyhemoglobin Saturation in Early Development. *Sleep*, 2016, vol. 39, no. 5, pp. 1001–1008. <https://doi.org/10.5665/sleep.5740>

*Поступила в редакцию 28.02.2023 / Одобрена после рецензирования 19.10.2023 / Принята к публикации 23.10.2023.
Submitted 28 February 2023 / Approved after reviewing 19 October 2023 / Accepted for publication 23 October 2023.*

Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 1. С. 49–59.
Journal of Medical and Biological Research, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 49–59.

Научная статья
УДК 612.17-053.2(470.11)
DOI: 10.37482/2687-1491-Z177

Морфометрические особенности сердца у детей 7–10 лет, проживающих на территории Архангельской области

Игорь Сергеевич Чуб* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8593-2808>
Ольга Евгеньевна Карякина* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0781-0164>
Алексей Владиславович Артемов** ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2905-9549>
Анна Павловна Борейко* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1578-4333>
Алексей Андреевич Карякин*** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4458-8702>
Ульяна Романовна Захарченко* ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3685-7886>

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
(Архангельск, Россия)

**Архангельская областная детская клиническая больница имени П.Г. Выжлецова
(Архангельск, Россия)

***Северный государственный медицинский университет
(Архангельск, Россия)

Аннотация. Цель исследования – определение морфометрических особенностей сердца у детей 7–10 лет, проживающих в Архангельской области, во взаимосвязи с показателями физического развития. **Материалы и методы.** На базе Архангельской областной детской клинической больницы имени П.Г. Выжлецова методом эхокардиографии изучены морфометрические параметры сердца 990 детей 7–10 лет обоего пола без признаков патологии сердечно-сосудистой системы, определены их антропометрические данные. **Результаты.** При относительной стабильности процессов морфофункционального созревания на данном этапе онтогенеза, обнаружены как половые, так и возрастные структурные особенности сердца. Наибольшее число половых различий установлено для детей 8 лет, и характеризуются они большими значениями параметров сердца у мальчиков по сравнению с девочками. Половые различия по ширине магистральных сосудов «стираются» к 10 годам. Параметры физического развития закономерно увеличиваются с возрастом, равномерно по годам, половой диморфизм не выражен; суммарный рост с 7 до 10 лет составляет у мальчиков и девочек соответственно: длины тела – 12,67 и 14,10 %; массы тела – 38,68 и 40,66 %; площади поверхности тела (ППТ) – 24,21 и 27,17 %. Наиболее устойчивыми и однонаправленными изменениями в возрастном аспекте характеризуется ППТ, которая демонстрирует значительную взаимосвязь с морфологией сердца, особенно в позднем препубертате. Наибольшей стабильностью в отращивании доли вариации показателей эхокардиограммы во всех возрастно-половых группах обладает ППТ,

Ответственный за переписку: Игорь Сергеевич Чуб, адрес: 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17; e-mail: i.chub@narfu.ru

определенная по формуле Мостеллера. Выявлена гетерохронность возрастного созревания размеров камер сердца, с более ранним началом и более продолжительным периодом у мальчиков. Левые отделы сердца у мальчиков увеличиваются с 8 до 10 лет, тогда как у девочек – в период 9–10 лет. Факторный анализ позволил установить усиление с возрастом вклада параметров физического развития в дисперсию морфометрических признаков сердца.

Ключевые слова: дети Архангельской области, младший школьный возраст, эхокардиография, морфометрия сердца, площадь поверхности тела, индекс массы тела.

Для цитирования: Морфометрические особенности сердца у детей 7–10 лет, проживающих на территории Архангельской области / И. С. Чуб, О. Е. Карякина, А. В. Артемов, А. П. Бореико, А. А. Карякин, У. Р. Захарченко // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 49-59. – DOI: 10.37482/2687-1491-Z177.

Original article

Morphometric Characteristics of the Heart in Children Aged 7–10 Years Living in the Arkhangelsk Region

Igor' S. Chub* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8593-2808>

Ol'ga E. Karyakina* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0781-0164>

Aleksey V. Artemov** ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2905-9549>

Anna P. Boreyko* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1578-4333>

Aleksey A. Karyakin*** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4458-8702>

Ul'yana R. Zakharchenko* ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3685-7886>

*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russian Federation)

**Vyzhletsov Arkhangelsk Regional Children's Clinical Hospital
(Arkhangelsk, Russian Federation)

***Northern State Medical University
(Arkhangelsk, Russian Federation)

Abstract. The purpose of this paper was to determine the morphometric characteristics of the heart in 7–10-year-old children living in the Arkhangelsk Region in relation to their physical development parameters. **Materials and methods.** The research was performed in Vyzhletsov Arkhangelsk Regional Children's Clinical Hospital. Using echocardiography, we studied the morphometric parameters of 990 children of both sexes aged between 7 and 10 years without cardiovascular pathologies and collected their anthropometric data. **Results.** With the relative stability of the processes of morphofunctional maturation at this stage of ontogenesis, both sex- and age-related structural features of the heart were detected. The largest number of sex-related differences was found for children aged 8 years, and they were associated with greater values of cardiac parameters in boys compared to girls. Sex-related differences in the width of the major vessels get levelled out by the age of 10. Parameters of

Corresponding author: Igor' Chub, address: nab Severnoy Dviny 17, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: i.chub@narfu.ru

physical development naturally increase with age, evenly over the years; sexual dimorphism is not pronounced. The total increase in anthropometric values from 7 to 10 years in boys and girls was: 12.67 % and 14.10 % for body length, 38.68 % and 40.66 % for body weight, and 24.21 % and 27.17 % for body surface area (BSA), respectively. The most consistent and unidirectional age-related changes concern BSA, which demonstrates a significant correlation with cardiac morphology, especially in late prepuberty. The greatest stability in reflecting the share of variation in echocardiogram parameters in all age and sex groups has BSA calculated by the Mosteller formula. The left heart in boys starts to enlarge from 8 to 10 years, while in girls, between 9 and 10 years. Factor analysis showed an increase in the contribution of physical development parameters to the dispersion of morphological characteristics of the heart with age.

Keywords: children of the Arkhangelsk Region, primary school age, echocardiography, heart morphometry, body surface area, body mass index.

For citation: Chub I.S., Karyakina O.E., Artemov A.V., Boreyko A.P., Karyakin A.A., Zakharchenko U.R. Morphometric Characteristics of the Heart in Children Aged 7–10 Years Living in the Arkhangelsk Region. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 49–59. DOI: 10.37482/2687-1491-Z177

Функциональные нарушения сердечно-сосудистой системы занимают одно из ведущих мест в структуре отклонений, выявляемых у детей [1, 2]. Гетерохронность морфофункционального развития ребенка характеризуется неодинаковыми приростами морфометрических параметров сердца на различных этапах онтогенеза. При относительной стабильности пластических и энергетических процессов в период второго детства, приходящегося на младший школьный возраст, повышенные требования предъявляются к кислородтранспортной системе организма, поскольку данный этап является сенситивным для развития двигательных функций. В возрастной физиологии известен феномен отставания увеличения объемов сердца от роста линейных размеров тела ребенка. Несмотря на завершённую дифференцировку структур миокарда в период второго детства, относительно большой объем циркулирующей крови и высокий уровень метаболизма создают предпосылки для ограничения резервных возможностей системы гемодинамики. Известна возрастная неравномерность созревания различных отделов сердца: интенсивный рост предсердий – до 2 лет, выравнивание роста всех камер – в период 2–10 лет, рост размеров желудочков – после 10 лет. Показаны и половые различия в морфогенезе миокарда: большие линейные размеры у мальчиков, за исключением

начала пубертата, когда девочки опережают их по морфофункциональному развитию [3].

Современные методы ультразвуковых исследований позволяют устанавливать морфометрические параметры миокарда в различные возрастные периоды, поэтому они являются не только ценным инструментом прогноза заболеваний, но и неинвазивным способом изучения созревания функций сердечно-сосудистой системы у детей. Доступность, мобильность и относительная простота эхокардиографии (эхоКГ) делают ее методом визуализации первой линии при подозрении на врожденные пороки сердца в течение последних десятилетий [4–6]. Существует большое число работ, посвященных ультразвуковым исследованиям морфометрических особенностей сердца детей, но они являются во многом противоречивыми. Имеющиеся в литературе данные получены в изолированных исследованиях, выполненных на выборках малого объема и не учитывающих полный перечень морфометрических показателей сердца, что приводит к риску неверной интерпретации, обусловленной колебаниями нормальных популяционных значений размеров сердца [7–10]. С целью интерпретации эхоКГ-результатов морфометрические параметры миокарда сравниваются с нормативными значениями. В различных работах показана наиболее тесная связь

морфометрических показателей сердца с антропометрическими параметрами физического развития [9, 11]. При этом взаимосвязь отдельных продольных или поперечных координат телосложения с морфологией сердца неоднозначна и нелинейна, куда большую взаимосвязь демонстрируют интегральные параметры, или индексы, такие как индекс массы тела (ИМТ) и площадь поверхности тела (ППТ) [3].

В связи с вышеуказанным необходимо изучение взаимосвязи параметров эхоКГ с показателями физического развития детей. Целью настоящего исследования стало определение морфометрических особенностей сердца у детей 7–10 лет, проживающих на территории Архангельской области, во взаимосвязи с антропометрическими параметрами.

Материалы и методы. Исследование проведено на базе отделения функциональной диагностики Архангельской областной детской клинической больницы имени П.Г. Выжлецова. Всего обработано 990 протоколов эхоКГ у детей 7–10 лет без признаков патологии сердечно-сосудистой системы, среди обследованных 61,3 % мальчиков и 38,7 % девочек. Согласно принципам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (с изменениями 2013 года), было получено информированное согласие законных представителей детей.

Морфометрические параметры сердца определялись в М- и В-режимах на ультразвуковом сканере Vivid E9 (GE Healthcare, США), использовались матричные фазированные секторальные датчики M5S-D (1,5–4,6 МГц) и 12S-D (4,0–12,0 МГц). Анализировались следующие параметры эхоКГ: АК – раскрытие аортального клапана; АО – ширина корня аорты на уровне синусов Вальсальвы; ЛП – размер левого предсердия; ПЖ – размер правого желудочка; ЛЖ_{кдр} – размер левого желудочка в диастоле (конечно-диастолический); ЛЖ_{ксп} – размер левого желудочка в систоле (конечно-систолический); ТЗСЛЖ – толщина задней стенки ЛЖ; ТМЖП – толщина межжелудочковой перегородки; ЛА – ширина легочной артерии; ПП – размер правого предсердия. Рутинными антро-

пометрическими методами измерялись длина и масса тела. Рассчитывались ИМТ (стандартная формула) и ППТ (формулы Дюбуа, Мостеллера, Хейкока, Гехана и Джорджа, Бойда, Фудзимото, Такахира) [12].

Статистический анализ осуществлялся программными средствами Statistica 7.0 (США). Проводилась проверка на нормальность распределения и вычислялась одномерная описательная статистика с использованием критериев Шапиро–Уилка и χ^2 Пирсона. Взаимосвязь антропометрических параметров и морфометрических показателей сердца устанавливалась на основании расчета коэффициента корреляции Пирсона.

Сравнение количественных признаков двух разных групп выполнялось с помощью *t*-критерия Стьюдента для независимых выборок, трех и более групп – с использованием однофакторного дисперсионного анализа. Выявление доли вариации показателей эхоКГ под влиянием ППТ, определенной различными способами, осуществлялось путем расчета коэффициента детерминации в ходе линейного регрессионного анализа. Для выделения структуры комплексных факторов использовался метод главных компонент, количество факторных совокупностей определялось с помощью статистического критерия Кайзера. С целью максимизации коэффициентов корреляции в факторных совокупностях проводилось вращение факторных нагрузок методами варимакс, биквартимакс, квартимакс, эквимакс. Уровень значимости в работе был принят равным 5 %.

Результаты. Данные нашего исследования демонстрируют отсутствие статистически значимых различий по длине и массе тела у мальчиков и девочек Архангельской области во всех рассматриваемых возрастных группах. Весоростовые отношения также у большинства детей не имеют значимых половых различий, за исключением детей 9 лет, среди которых ИМТ у девочек значимо ниже, чем у мальчиков ($16,51 \pm 2,68$ и $17,23 \pm 2,84$ соответственно; $p = 0,040$). Установлен дефицит массы тела у 84,04 % детей младшего школьного возраста,

дети с нормальным весом составили 14,34 %, с избыточным – 1,62 %. Данные оценки ППТ в рассматриваемой выборке также свидетельствуют об однородности по половому признаку внутри возрастных групп.

Результаты нашего исследования демонстрируют, что большинство из рассматриваемых морфометрических показателей сердца

статистически значимо различаются у мальчиков и девочек: у мальчиков во всех возрастных группах они выше, чем у девочек (см. *таблицу*). Наибольшим числом различий характеризуется возраст 8 лет. В остальных группах отмечаются отсутствие половых различий по следующим показателям: 7 лет – ПЖ; 9 лет – ПЖ и ЛА; 10 лет – АК, АО и ЛА.

Морфометрические параметры сердца 7–10-летних детей Архангельской области ($M \pm \sigma$), мм

Morphometric parameters of the heart in 7–10-year-old children living in the Arkhangelsk Region ($M \pm \sigma$), mm

Параметр	Возраст, годы			
	7	8	9	10
АК:				
мальчики	15,45±1,94	15,70±1,88	16,32±2,03	16,62±1,80
девочки	14,60±1,97**	14,82±1,97**	15,42±1,82***	16,16±2,11
АО:				
мальчики	21,59±2,09	21,92±2,27	22,70±2,22	22,92±2,21
девочки	20,01±2,10***	20,75±2,28***	21,63±2,19***	22,47±2,25
ЛП:				
мальчики	23,72±2,98	24,35±2,81	25,13±2,93	25,95±3,19
девочки	22,58±2,51**	23,45±2,99*	23,92±2,80**	24,44±2,92***
ПЖ:				
мальчики	15,69±2,96	16,38±2,35	17,02±2,32	17,39±2,45
девочки	15,32±2,38	15,36±2,39**	16,49±2,32	16,32±2,47**
ЛА:				
мальчики	16,44±2,15	17,52±2,27	17,46±2,25	18,22±2,53
девочки	15,88±2,18*	16,37±2,34***	17,02±2,55	17,71±2,61
ЛЖ _{кдр} :				
мальчики	38,30±2,75	39,03±2,76	40,04±2,79	41,33±3,30
девочки	36,83±2,60***	37,44±2,73***	38,44±2,78***	39,84±3,19**
ЛЖ _{ксп} :				
мальчики	23,32±2,20	23,76±2,04	24,34±2,25	25,04±2,54
девочки	22,41±2,15**	22,84±2,04**	23,39±2,12**	24,09±2,54**
ТЗСЛЖ:				
мальчики	5,55±0,73	5,69±0,80	5,86±0,72	6,06±0,84
девочки	5,29±0,71**	5,36±0,71**	5,48±0,73***	5,70±0,79**
ТМЖП:				
мальчики	5,77±0,80	5,92±0,83	6,00±0,72	6,29±0,87
девочки	5,48±0,74**	5,60±0,81**	5,69±0,72**	5,90±0,77***
ПП:				
мальчики	27,04±3,02	27,29±3,14	28,09±2,97	29,01±3,03
девочки	25,52±3,09***	26,05±2,99**	26,70±2,75***	27,84±3,38**

Примечание: $M \pm \sigma$ – среднее значение и среднеквадратичное отклонение; *, **, *** – установлены статистически значимые различия между средними значениями параметров у мальчиков и девочек одного возраста ($p < 0,05$; $p < 0,01$ и $p < 0,001$ соответственно).

Анализ возрастной динамики антропометрических показателей и индексов показывает статистически значимое увеличение с возрастом длины и массы тела, а также ППТ как у мальчиков, так и у девочек. При этом изменения ИМТ остаются статистически не значимыми, что сильно ограничивает использование этого показателя для разработки нормативов данных эхоКГ. Напротив, изменения ППТ с возрастом устойчивые и однонаправленные. Статистически значимые приросты между возрастными периодами 7–10 лет равномерны, но неодинаковы по параметрам: суммарное увеличение длины тела составляет 12,67 % у мальчиков и 14,10 % у девочек, массы тела – 38,68 и 40,66 %, ППТ – 24,21 и 27,17 % соответственно.

Межгрупповые возрастные различия морфометрических параметров сердца неодинаковы у мальчиков и девочек. Наблюдается асимметрия в приростах просветов сосудов и размеров камер сердца. АО статистически значимо различается у девочек во всех возрастных группах, нарастая с $20,01 \pm 2,10$ мм (7 лет) до $22,47 \pm 2,25$ мм (10 лет) ($p < 0,001$), тогда как у мальчиков различия выявляются только между 8 и 9 годами ($21,92 \pm 2,27$ и $22,70 \pm 2,21$ мм; $p = 0,005$). ЛА у мальчиков значимо увеличивается с 7 до 8 лет ($16,44 \pm 2,15$ до $17,52 \pm 2,27$ мм; $p < 0,001$) и с 9 до 10 лет ($17,46 \pm 2,25$ до $18,22 \pm 2,53$ мм; $p = 0,006$), а в группах девочек статистически значимо не различается.

Схожие различия в размерах отделов сердца проявляются у мальчиков 8–10 лет. В этот возрастной период наблюдается увеличение размеров левых камер сердца (ЛП – на 6,57 %, ЛЖ_{ксп} – на 5,38 %) и ПП (на 6,30 %), различия в ПЖ отмечаются между группами 7 и 8 лет (на 6,43 %), а также 8 и 9 лет (на 3,91 %). ТЗСЛЖ (на 3,41–4,01 %) и ТМЖП (на 3,69–4,83 %) независимо от пола увеличиваются на этапе 9–10 лет, совместно с повышением линейных размеров отделов сердца. Рост линейных размеров камер сердца у девочек неодинаков: так, ПП и ЛЖ_{ксп} статистически значимо различаются между 9 и 10 годами (ПП – на 4,27 %, ЛЖ – на 2,99 %), ЛП – меж-

ду 7 и 8 годами (на 3,85 %), ПЖ – между 8 и 9 годами (на 7,30 %).

Сравнение коэффициентов детерминации (R^2) при оценке точности построения регрессионных моделей зависимости показателей эхоКГ от ППТ демонстрирует более высокое среднее значение R^2 при использовании формулы Мостеллера по сравнению с другими способами расчета ППТ: для формулы Дюбуа – 17,73, Хейкока – 17,81, Такахира – 18,00, Фудзимото – 18,05, Гехана и Джорджа – 18,10, Бойда – 18,12, Мостеллера – 18,20.

Корреляционный анализ взаимосвязей антропометрических параметров и морфометрических характеристик сердца показывает наиболее выраженную зависимость структурных составляющих сердца от ППТ (рис. 1). Взаимосвязь отдельных показателей физического развития (длины и массы тела), а также ИМТ и данных эхоКГ менее выражена и непостоянна. Масса тела демонстрирует более стойкую взаимосвязь с параметрами сердца, нежели длина тела. Для большинства морфологических показателей сердца установлена положительная корреляционная связь с ППТ (по Мостеллеру), различающаяся по выраженности в разных возрастно-половых группах. ППТ выступает как интегративная характеристика физического развития, она тесным образом взаимосвязана с величиной периферического сосудистого сопротивления и закономерным образом соотносится с морфологией сердца. У детей 7 лет, независимо от пола, отмечены умеренные взаимосвязи ППТ со всеми морфометрическими характеристиками сердца, но наиболее выраженной оказывается ее связь с размерами левых отделов сердца. ИМТ демонстрирует статистически значимые умеренные положительные взаимосвязи с ЛП ($r = 0,36$, $p < 0,001$), ПЖ ($r = 0,31$, $p < 0,001$), ЛЖ_{ксп} ($r = 0,33$, $p < 0,001$), ТМЖП ($r = 0,31$, $p < 0,001$).

Полученные результаты также подтверждаются процедурой факторного анализа, который позволил сгруппировать изучаемые параметры у детей 7 лет в два фактора. Первый фактор (27,96 % дисперсии) включает в себя ЛЖ_{ксп} и

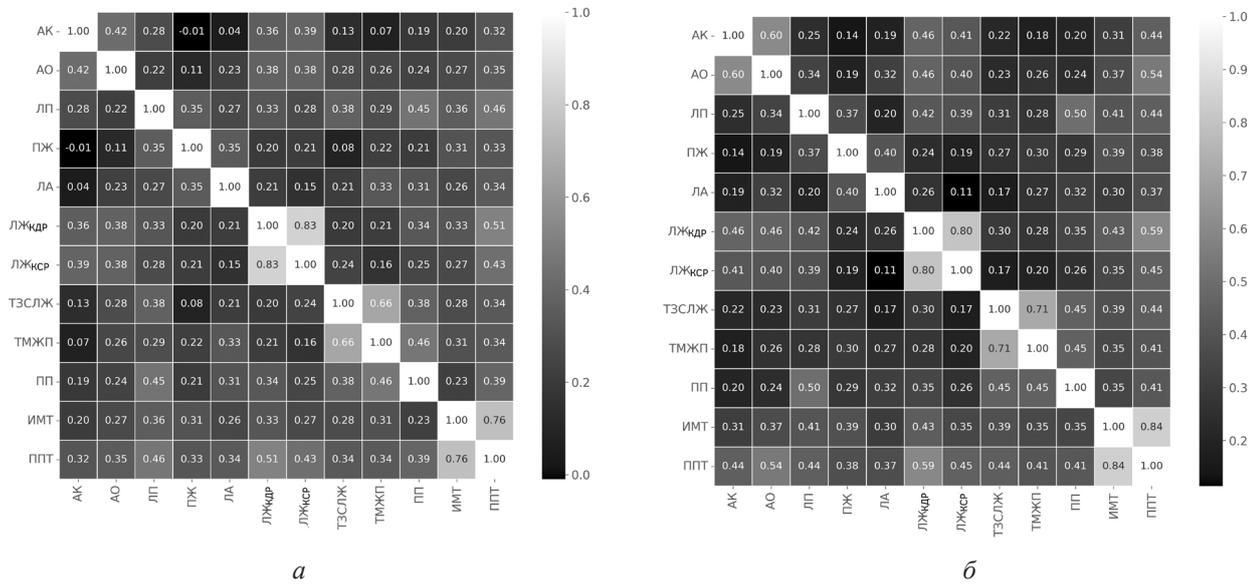


Рис. 1. Корреляционные матрицы взаимосвязи антропометрических индексов и морфометрических параметров сердца у 7-летних (а) и 10-летних (б) детей Архангельской области

Fig. 1. Correlation matrices of the relationship between anthropometric indices and morphometric parameters of the heart in children aged 7 (a) and 10 (b) years living in the Arkhangelsk Region

ЛЖ_{кдр}, ППТ, длину и массу тела, а также АО (рис. 2), второй фактор (23,17 %) – ТЗСЛЖ, ТМЖП, ЛП, ПП и ИМТ.

В структурах корреляционных взаимосвязей наблюдаются различия по полу: если в группе девочек сохраняются все корреляции, то у мальчиков отсутствует взаимосвязь ППТ с ЛА и ТМЖП.

В группе 8-летних детей без учета пола отмечены умеренные и средние по силе положительные корреляции ППТ практически со всеми морфометрическими параметрами сердца, за исключением АК. Наблюдается усиление взаимосвязей исследуемых показателей с ИМТ по сравнению с предыдущим возрастом. Половые различия корреляционных взаимодействий повторяемы, за исключением появления у девочек положительной умеренной корреляции ППТ и АК ($r = 0,31, p < 0,001$).

У детей в возрасте 9 лет картина взаимосвязей сохраняет тенденции предыдущего этапа, с увеличением силы корреляционной связи с

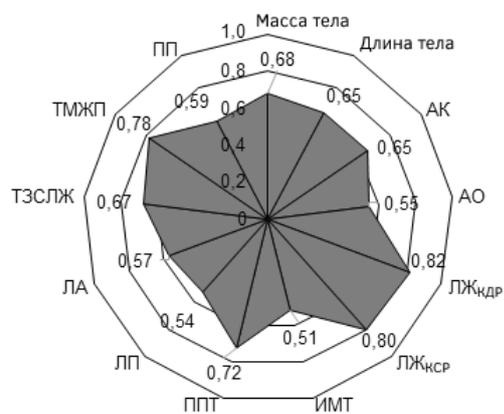


Рис. 2. Факторная структура взаимосвязей морфометрических параметров сердца и антропометрических показателей физического развития у 7-летних детей Архангельской области

Fig. 2. Factor structure of the relationships between morphometric parameters of the heart and anthropometric parameters of physical development in 7-year-old children living in the Arkhangelsk Region

ППТ и появлением значительного числа взаимодействий структурных параметров сердца с ИМТ. Корреляционная матрица взаимосвязей в этой возрастной группе у девочек повторяет общую для 9-летних детей тенденцию с усилением зависимости от ИМТ. В группе мальчиков ППТ не имеет взаимосвязей с ЛП, а ИМТ не взаимосвязан с ПП, ПЖ и ЛА.

В группе 10-летних детей корреляционные взаимосвязи антропометрических параметров и морфологических показателей сердца достигают максимальных значений, причем структура корреляций с ППТ одинакова вне зависимости от пола, тогда как ИМТ не имеет взаимосвязей: у мальчиков – с АК и АО, у девочек – с ЛЖ_{КСР} и ТМЖП. Факторная структура взаимодействия исследованных параметров не претерпевает качественных изменений по сравнению с началом периода второго детства, однако наблюдается усиление значимости антропометрических показателей и появление ИМТ в первом факторе, а во втором факторе среди показателей отсутствует ЛА (рис. 3).

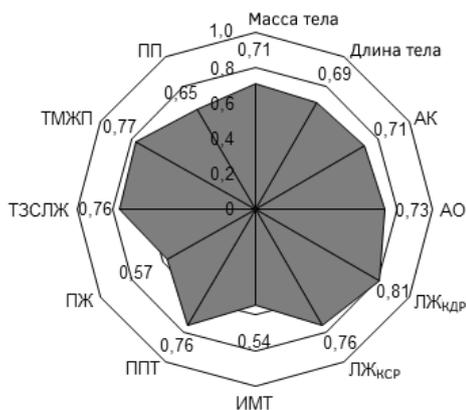


Рис. 3. Факторная структура взаимосвязей морфометрических параметров сердца и антропометрических показателей физического развития у 10-летних детей Архангельской области

Fig. 3. Factor structure of the relationships between morphometric parameters of the heart and anthropometric parameters of physical development in 10-year-old children living in the Arkhangelsk Region

Обсуждение. Литературные данные свидетельствуют об отсутствии выраженного полового диморфизма по параметрам физического развития у детей в младшем школьном возрасте [13]. Наши данные подтверждают это, исключая ИМТ в 9 лет, который оказался значимо выше у мальчиков. Исходя из результатов анализа показателей физического развития, у детей Архангельской области сохраняется тенденция к астенизации, что согласуется с результатами ранее опубликованных исследований [2, 13].

Отсутствие полового диморфизма наблюдается в отношении характеристик магистральных сосудов в конце периода второго детства. Расширение просвета магистральных сосудов наряду с увеличением массы сердца рассматривается как адаптивное приспособление, облегчающее гемодинамику у растущего организма [11].

Анализ половозрастных различий морфологии сердца позволяет сделать вывод о более раннем, синхронном для левых отделов и продолжительном росте размеров сердца у мальчиков (в период 8–10 лет), тогда как значимые приросты у девочек наблюдаются в 9–10 лет и, вероятно, ассоциированы с завершением препубертатного периода и подготовкой к пубертату.

Все рассматриваемые формулы расчета ППТ могут быть использованы у детей 7–10 лет, но наибольшей универсальностью и стабильностью для отражения доли объяснимой вариации морфометрических показателей сердца от вклада ППТ обладает способ Мостеллера.

Установлена наиболее устойчивая взаимосвязь структурных параметров сердца с ППТ у школьников в периоде второго детства, которая усиливается с возрастом. Вероятно, появление зависимости параметров эхоКГ и ИМТ в 9- и 10-летнем возрасте обусловлено стабилизацией ростовых процессов в плане как физического развития, так и структурно-функционального созревания сердца.

Итак, исследование с участием детей 7–10 лет, проживающих в Архангельской области, позволило сделать следующие выводы:

1. Возрастные различия параметров эхоКГ выражаются в гетерохронности увеличения размеров сердца: у мальчиков линейных размеров отделов сердца начинаются на год раньше, чем у девочек, и поэтому более продолжительны по времени.

2. Половой диморфизм в структурных параметрах сердца у детей связан с закономерным превышением значений у мальчиков относительно девочек, при этом к окончанию периода второго детства не наблюдается различий по ширине магистральных сосудов.

3. Использование различных формул расчета ППТ допустимо для сопоставления с данными эхоКГ в изученном возрастном периоде. Большую стабильность соответствия показывает формула Мостеллера.

4. Взаимосвязь морфометрических показателей сердца с отдельными антропометрическими параметрами слабее, чем связь с ППТ. К окончанию препубертата эта взаимосвязь усиливается как по отдельным параметрам антропометрии, так и по индексам физического развития (ИМТ, ППТ).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

1. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Терлецкая Р.Н., Байбарина Е.Н., Чумакова О.В., Устинова Н.В., Антонова Е.В., Вишнева Е.А. Результаты профилактических медицинских осмотров несовершеннолетних в Российской Федерации // Рос. педиатр. журн. 2016. Т. 19, № 5. С. 287–293.
2. Кучма В.Р., Рапопорт И.К., Сухарева Л.М., Скоблина Н.А., Седова А.С., Чубаровский В.В., Соколова С.Б. Здоровье детей и подростков в школьном онтогенезе как основа совершенствования системы медицинского обеспечения и санитарно-эпидемиологического благополучия обучающихся // Здравоохранение Рос. Федерации. 2021. Т. 65, № 4. С. 325–333. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-4-325-333>
3. Ткачук Е.А., Куренкова Г.В., Черевикова И.А., Глобенко Н.Э., Васильева А.Р., Масленникова Ю.А., Ласкина В.А. Функциональные особенности сердечно-сосудистой системы у детей, перенесших COVID-2019 // Якут. мед. журн. 2023. № 1(81). С. 74–79. <https://doi.org/10.25789/УМЖ.2023.81.19>
4. Мирзоян Е.С., Неласов Н.Ю., Бабаев М.В., Волков Г.П., Шумарин К.А. Дифференцированный подход в оценке систолической функции правого желудочка сердца с помощью импульсно-волновой доплерографии // Клини. медицина. 2017. Т. 95, № 2. С. 132–135. <https://doi.org/10.18821/0023-2149-2017-95-2-132-135>
5. Liu Y., Chen S., Zühlke L., Babu-Narayan S.V., Black G.C., Choy M.K., Li N., Keavney B.D. Global Prevalence of Congenital Heart Disease in School-Age Children: A Meta-Analysis and Systematic Review // BMC Cardiovasc. Disord. 2020. Vol. 20, № 1. Art. № 488. <https://doi.org/10.1186/s12872-020-01781-x>
6. Opfer E., Shah S. Advances in Pediatric Cardiovascular Imaging // Mo. Med. 2018. Vol. 115, № 4. P. 354–360.
7. Dallaire F., Bigras J.-L., Prsa M., Dahdah N. Bias Related to Body Mass Index in Pediatric Echocardiographic Z Scores // Pediatr. Cardiol. 2015. Vol. 36, № 3. P. 667–676. <https://doi.org/10.1007/s00246-014-1063-7>
8. Cantinotti M., Giordano R., Scalese M., Murzi B., Assanta N., Spadoni I., Maura C., Marco M., Molinaro S., Kutty S., Iervasi G. Nomograms for Two-Dimensional Echocardiography Derived Valvular and Arterial Dimensions in Caucasian Children // J. Cardiol. 2017. Vol. 69, № 1. P. 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.jjcc.2016.03.010>
9. Lopez L., Colan S., Stylianou M., Granger S., Trachtenberg F., Frommelt P., Pearson G., Camarda J., Cnota J., Cohen M., Dragulescu A., Frommelt M., Garuba O., Johnson T., Lai W., Mahgerefteh J., Pignatelli R., Prakash A., Sachdeva R., Soriano B., Soslow J., Spurney C., Srivastava S., Taylor C., Thankavel P., van der Velde M., Minich L. Relationship of Echocardiographic Z Scores Adjusted for Body Surface Area to Age, Sex, Race, and Ethnicity: The Pediatric Heart Network Normal Echocardiogram Database // Circ. Cardiovasc. Imaging. 2017. Vol. 10, № 11. Art. № e006979. <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.117.006979>

10. Wang S.S., Hong W.J., Zhang Y.Q., Chen S.B., Huang G.Y., Zhang H.Y., Chen L.J., Wu L.P., Shen R., Liu Y.Q., Zhu J.X. Regression Equations for Calculation of Z Scores for Echocardiographic Measurements of Left Heart Structures in Healthy Han Chinese Children // *J. Clin. Ultrasound*. 2018. Vol. 46, № 5. P. 328–333. <https://doi.org/10.1002/jcu.22579>
11. Марцинкевич Г.И., Соколов А.А. Эхокардиография у детей, антропометрические и возрастные нормы, сравнительные возможности трехмерной эхокардиографии // *Сиб. мед. журн. (г. Томск)*. 2010. Т. 25, № 4-1. С. 67–71.
12. Воронцова И.Л., Колунин Е.Т., Прокопьев Н.Я. Площадь поверхности тела мальчиков периода второго детства г. Тюмень, имеющих нарушения прикуса и дефекты речи, на начальном этапе занятий спортом // *Науч.-исслед. публ.* 2014. № 9(13). С. 88–93.
13. Коданева Л.Н., Кетлерова Е.С., Соколова И.И. Физическое развитие детей и подростков // *Уч. зап. ун-та им. П.Ф. Лесгафта*. 2020. № 10(188). С. 181–184.

References

1. Baranov A.A., Namazova-Baranova L.S., Terletskaia R.N., Baybarina E.N., Chumakova O.V., Ustinova N.V., Antonova E.V., Vishneva E.A. Results of Preventive Medical Examinations of Minors in the Russian Federation. *Russ. Pediatr. J.*, 2016, vol. 19, no. 5, pp. 287–293 (in Russ.).
2. Kuchma V.R., Rapoport I.K., Sukhareva L.M., Skoblina N.A., Sedova A.S., Chubarovsky V.V., Sokolova S.B. The Health of Children and Adolescents in School Ontogenesis as a Basis for Improving the System of School Health Care and Sanitary-Epidemiological Wellbeing of Students. *Health Care Russ. Fed.*, 2021, vol. 65, no. 4, pp. 325–333 (in Russ.). <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-4-325-333>
3. Tkachuk E.A., Kurenkova G.V., Cherevikova I.A., Globenko N.E., Vasil'eva A.R., Maslennikova Yu.A., Laskina V.A. Funktsional'nye osobennosti serdechno-sosudistoy sistemy u detey, perenessikh COVID-2019 [Functional Features of the Cardiovascular System in Covid-19 Children]. *Yakutskiy meditsinskiy zhurnal*, 2023, no. 1, pp. 74–79. <https://doi.org/10.25789/YMJ.2023.81.19>
4. Mirzoyan E.S., Nelasov N.Yu., Babaev M.V., Volkov G.P., Shumarin K.A. Differentsirovannyi podkhod v otsenke sistolicheskoy funktsii pravogo zheludochka serdtsa s pomoshch'yu impul'sno-volnovoy dopplerografii [Differential Approach to the Evaluation of Right Ventricular Systolic Function by Pulsed Wave Doppler Ultrasound]. *Klinicheskaya meditsina*, 2017, vol. 95, no. 2, pp. 132–135. <https://doi.org/10.18821/0023-2149-2017-95-2-132-135>
5. Liu Y., Chen S., Zühlke L., Babu-Narayan S.V., Black G.C., Choy M.K., Li N., Keavney B.D. Global Prevalence of Congenital Heart Disease in School-Age Children: A Meta-Analysis and Systematic Review. *BMC Cardiovasc. Disord.*, 2020, vol. 20, no. 1. Art. no. 488. <https://doi.org/10.1186/s12872-020-01781-x>
6. Opfer E., Shah S. Advances in Pediatric Cardiovascular Imaging. *Mo. Med.*, 2018, vol. 115, no. 4, pp. 354–360.
7. Dallaire F., Bigras J.-L., Prsa M., Dahdah N. Bias Related to Body Mass Index in Pediatric Echocardiographic Z Scores. *Pediatr. Cardiol.*, 2015, vol. 36, no. 3, pp. 667–676. <https://doi.org/10.1007/s00246-014-1063-7>
8. Cantinotti M., Giordano R., Scalese M., Murzi B., Assanta N., Spadoni I., Maura C., Marco M., Molinaro S., Kutty S., Iervasi G. Nomograms for Two-Dimensional Echocardiography Derived Valvular and Arterial Dimensions in Caucasian Children. *J. Cardiol.*, 2017, vol. 69, no. 1, pp. 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.jcc.2016.03.010>
9. Lopez L., Colan S., Stylianou M., Granger S., Trachtenberg F., Frommelt P., Pearson G., Camarda J., Cnota J., Cohen M., Dragulescu A., Frommelt M., Garuba O., Johnson T., Lai W., Mahgerefteh J., Pignatelli R., Prakash A., Sachdeva R., Soriano B., Soslow J., Spurney C., Srivastava S., Taylor C., Thankavel P., van der Velde M., Minich L. Relationship of Echocardiographic Z Scores Adjusted for Body Surface Area to Age, Sex, Race, and Ethnicity: The Pediatric Heart Network Normal Echocardiogram Database. *Circ. Cardiovasc. Imaging*, 2017, vol. 10, no. 11. Art. no. e006979. <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.117.006979>
10. Wang S.S., Hong W.J., Zhang Y.Q., Chen S.B., Huang G.Y., Zhang H.Y., Chen L.J., Wu L.P., Shen R., Liu Y.Q., Zhu J.X. Regression Equations for Calculation of Z Scores for Echocardiographic Measurements of Left Heart Structures in Healthy Han Chinese Children. *J. Clin. Ultrasound*, 2018, vol. 46, no. 5, pp. 328–333. <https://doi.org/10.1002/jcu.22579>

11. Martsinkevich G.I., Sokolov A.A. Ekhokardiografiya u detey, antropometricheskie i vozrastnye normy, sravnitel'nye vozmozhnosti trekhmernoy ekhokardiografii [Echocardiography in Children, Anthropometrical and Age Norms, Comparative Possibilities of Three-Dimensional Echocardiography]. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (g. Tomsk)*, 2010, vol. 25, no. 4-1, pp. 67–71.

12. Vorontsova I.L., Kolunin E.T., Prokop'ev N.Ya. Ploshchad' poverkhnosti tela mal'chikov perioda vtorogo detstva g. Tyumen', imeyushchikh narusheniya prikusa i defekty rechi, na nachal'nom etape zanyatiy sportom [Body Surface Area of Boys Aged 8–12 Years Living in Tyumen with Malocclusion and Speech Defects at the Initial Stage of Playing Sports]. *Nauchno-issledovatel'skie publikatsii*, 2014, no. 9, pp. 88–93.

13. Kodaneva L.N., Ketlerova E.S., Sokolenova I.I. Fizicheskoe razvitie detey i podrostkov [Physical Development of Children and Adolescents]. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*, 2020, no. 10, pp. 181–184.

*Поступила в редакцию 27.03.2023 / Одобрена после рецензирования 27.10.2023 / Принята к публикации 01.11.2023.
Submitted 27 March 2023 / Approved after reviewing 27 October 2023 / Accepted for publication 1 November 2023.*

Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 1. С. 60–69.
Journal of Medical and Biological Research, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 60–69.

Научная статья
УДК 612.8:796.332
DOI: 10.37482/2687-1491-Z179

Постуральный баланс при выполнении теста Ромберга у футболистов с различными типами вегетативной регуляции

Николай Алексеевич Тишутин* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5429-8306>

*Белорусский государственный университет физической культуры
(Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. Актуальность изучения особенностей поддержания постурального баланса в усложненных условиях в зависимости от исходного типа вегетативной регуляции ритма сердца у футболистов обусловлена важной ролью высокого уровня постурального баланса и оптимальной вегетативной регуляции в спортивно-игровой деятельности, а также отсутствием подобных комплексных исследований. **Целью** работы являлось изучение особенностей поддержания постурального баланса при выполнении теста Ромберга на стабиллоплатформе у футболистов с различными исходными типами вегетативной регуляции сердечного ритма. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 100 спортсменов-футболистов. В исходном состоянии у всех участников регистрировалась кардиоинтервалограмма, на основании показателей которой производилось разделение на группы по типам вегетативной регуляции. Далее фиксировались колебания центра давления на стабиллоплатформе при поддержании позы в вертикальной стойке с открытыми (54 с) и закрытыми (54 с) глазами. **Результаты.** Футболисты с нормотоническим и ваготоническим типами вегетативной регуляции характеризуются более высоким уровнем поддержания постурального баланса в стойке с открытыми глазами. В стойке с закрытыми глазами более высокий уровень поддержания постурального баланса зафиксирован у футболистов с ваготоническим типом вегетативной регуляции ритма сердца. Нормотонический и ваготонический типы вегетативной регуляции у футболистов можно рассматривать как оптимальные для эффективного поддержания позы в простых условиях, а также для нормального протекания компенсаторно-адаптивных перестроек в организме и успешной адаптации к усложненным условиям поддержания позы. Полученные в настоящем исследовании результаты расширяют имеющиеся представления о функционировании постуральной системы у футболистов, а также о роли исходного типа вегетативной регуляции в эффективном поддержании постурального баланса в усложненных условиях.

Ключевые слова: *постуральный баланс, тип вегетативной регуляции, вариабельность сердечного ритма, тест Ромберга, футболисты.*

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Б23М-038).

Ответственный за переписку: Николай Алексеевич Тишутин, *адрес:* 210021, Республика Беларусь, Минск, просп. Победителей, д. 105; *e-mail:* nickocknik@mail.ru

Для цитирования: Тишутин, Н. А. Постуральный баланс при выполнении теста Ромберга у футболистов с различными типами вегетативной регуляции / Н. А. Тишутин // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 60-69. – DOI: 10.37482/2687-1491-Z179.

Original article

Postural Balance in Football Players with Different Types of Autonomic Regulation When Performing the Romberg Test

Nikolay A. Tishutin* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5429-8306>

*Belarusian State University of Physical Culture
(Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The study is relevant due to the importance of a high level of postural balance and optimal autonomic regulation in football players' athletic activity, as well as due to the lack of such comprehensive research. The **purpose** of the article was to study postural balance maintenance during the Romberg test on a stabilometric platform in football players with different types of autonomic heart rate regulation. **Materials and methods.** The research involved 100 football players. Based on the cardiointervalograms recorded initially, the participants were divided into groups according to the types of autonomic regulation. Further, centre of pressure fluctuations on the platform were recorded while maintaining a vertical posture with eyes open (54 s) and closed (54 s). **Results.** Football players with the normotonic and vagotonic types of autonomic regulation are characterized by a higher level of postural balance maintenance in the position with eyes open. In the position with eyes closed, a higher level of postural balance maintenance was found in football players with the vagotonic type of autonomic regulation. The normotonic and vagotonic types of autonomic regulation in football players can be considered optimal for effective posture maintenance under simple conditions, as well as for a normal course of compensatory-adaptive rearrangements in the body and successful adaptation to complicated posture maintenance conditions. The results obtained in this study broaden the current understanding of the postural control system in football players, as well as of the role of the type of autonomic regulation in maintaining postural balance under complicated conditions.

Keywords: *postural balance, type of autonomic regulation, heart rate variability, Romberg test, football players.*

Funding. The study received financial support from the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (grant no. B23M-038).

For citation: Tishutin N.A. Postural Balance in Football Players with Different Types of Autonomic Regulation When Performing the Romberg Test. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 60–69. DOI: 10.37482/2687-1491-Z179

Corresponding author: Nikolay Tishutin, *address:* prosp. Pobediteley 105, Minsk, 210021, Republic of Belarus; *e-mail:* nickocknik@mail.ru

Высокий уровень развития способности к поддержанию постурального баланса (ПБ) в настоящее время рассматривается как важное условие достижения успеха в спортивной деятельности. Отмечается, что высокий уровень ПБ является фактором снижения риска получения травм [1]. Исследователи Е. Земкова, Л. Заплеталова считают, что потери равновесия при сменах направления движения, которые характерны для игровых видов спорта, могут стать причиной получения травм опорно-двигательного аппарата [2]. В игровых видах спорта требования к уровню поддержания различных поз крайне высоки, причем значимость этих требований увеличивается в сложных игровых ситуациях, где сохранение баланса тела – необходимое условие для оптимальной реализации двигательных действий [3]. Несмотря на более развитые способности к поддержанию ПБ у спортсменов по сравнению с лицами, не занимающимися спортом, зачастую эти различия обнаруживаются лишь в усложненных постуральных условиях [4], что обуславливает важность изучения особенностей поддержания ПБ у спортсменов именно в таких условиях.

Одним из наиболее популярных, а также предъявляющих высокие требования к координационным способностям игровым видом спорта является футбол. Имеются сведения, что уровень поддержания ПБ у футболистов положительно взаимосвязан с их технической подготовкой, скоростными способностями, а также со снижением риска травм [5]. Иностранные исследователи J.M. Bukowska et al. сообщают о значительном влиянии оптимального постурального контроля на эффективность реализации технических действий в футболе, включая дриблинг и обработку мяча [6]. Следовательно, изучение системы регуляции позы у футболистов в усложненных условиях позволит выявить особенности ее функционирования с целью дальнейшего совершенствования уровня поддержания ПБ.

А.В. Грибанов и А.К. Шерстенникова отмечают актуальность исследований по проблемам взаимодействия ПБ и вегетативных

функций [7]. Имеются сведения, что занимаемое положение тела оказывает существенное влияние на уровень артериального давления и сердечного ритма, а изменение глубины и частоты дыхательных движений – на устойчивость тела [7, 8]. Соответственно, особенности функционирования вегетативной нервной системы (ВНС), структуры которой участвуют в регуляции деятельности кардиореспираторной системы, определяют формирование специфических изменений в механизмах поддержания позы [9, 10].

К настоящему времени имеется всего пара работ, в которых изучаются особенности поддержания позы в зависимости от типа вегетативной регуляции сердечного ритма (ВРСР) – у спортсменов-единоборцев [11] и спортсменов с различной направленностью физических нагрузок [12]. Их авторы сходятся во мнении, что ВРСР является важным звеном реализации спортивной деятельности в общем и функционирования постуральной системы в частности. Ранее нами было показано [13], что футболисты с исходным ваготоническим и нормотоническим типами ВРСР характеризуются более высоким уровнем поддержания ПБ в динамических условиях. Вместе с тем отсутствуют подобные исследования, направленные на выявление особенностей поддержания ПБ у футболистов в усложненных статических условиях, что обуславливает актуальность настоящей работы.

Цель – изучение особенностей поддержания ПБ при выполнении теста Ромберга на стабиллоплатформе у футболистов с различными исходными типами ВРСР.

Материалы и методы. Участники исследования – 100 действующих студентов-футболистов, имеющих I или II спортивный разряд, со стажем занятий футболом более 10 лет. Все футболисты – мужского пола, в возрасте от 18 до 20 лет. Обследование проводилось в период с 9.00 до 11.00. Согласно принципам Хельсинкской декларации, все спортсмены были проинформированы о ходе исследования и дали свое согласие на участие в нем.

Для создания усложненных статических условий поддержания ПБ выполнялся тест Ромберга на стабилотренинге. Данный тест состоял из последовательного поддержания ПБ в вертикальной двухопорной стойке с открытыми (ОГ) и закрытыми (ЗГ) глазами – по 54 с. Проведение данного теста реализовывалось с использованием встроенной программы на стабилотренинговой платформе ST-150 (ООО «Мера-ТСП», Москва).

Оценивались следующие стабилотренинговые показатели: V – скорость перемещения центра давления (ЦД), мм/с; L – длина траектории ЦД, мм; S – площадь стахокинезиограммы, мм²; Q_x , Q_y – среднее квадратическое отклонение ЦД во фронтальной и сагиттальной плоскостях соответственно, мм.

Перед прохождением теста Ромберга у всех футболистов производилась регистрация исходной кардиоинтервалограммы (КИГ) в положении лежа (200 кардиоинтервалов). Зафиксированный ряд кардиоинтервалов проходил автоматическую обработку с расчетом показателей вариабельности сердечного ритма (ВРСР), которые позволили дать характеристику текущего уровня ВРСР [14]. Перед регистрацией КИГ все спортсмены находились в положении лежа не менее 5 мин для адаптации к условиям комнаты, а также к занимаемому положению тела. Регистрация КИГ осуществлялась с использованием электрокардиографа «Поли-Спектр-8» фирмы «Нейрософт» (г. Иваново).

Значения индекса напряжения (ИН), зафиксированные в положении лежа до выполнения теста Ромберга, являлись основой для разделения футболистов на группы по типу ВРСР: ваготония (ИН ≤ 50 у. е.); нормотония (50 < ИН < 200 у. е.); симпатикотония (ИН ≥ 200 у. е.) [15]. В результате в группе ваготонии оказалось 45 футболистов, нормотонии – 41 футболист, симпатикотонии – 14 футболистов.

Статистическая обработка полученных данных выполнялась в программном пакете Statistica 12. При проверке результатов на нормальность распределения применялся критерий Шапиро–Уилка. Ненормальное распреде-

ление стабилотренинговых данных, а также значений показателей ВРСР обусловило использование для описательной статистики медианы (Me) и интерквартильного размаха [Q_1 ; Q_3]. Статистическая оценка межгрупповых различий осуществлялась через попарное сравнение групп с различными типами ВРСР при помощи критерия Манна–Уитни. Достоверность внутригрупповых различий между стойками с ОГ и ЗГ определялась с применением критерия Уилкоксона. Критический уровень значимости различий считался достигнутым при $p \leq 0,05$.

Результаты. Распределение футболистов по исходному типу ВРСР показало, что большинство из них имеют ваготонический тип регуляции (45 %). Следующая по представленности группа – футболисты с нормотоническим типом регуляции (41 %). Наиболее малочисленную группу составили футболисты с исходным симпатикотоническим типом регуляции (14 %), который отличается напряжением функционирования регуляторных систем в организме и может рассматриваться как менее оптимальный по сравнению с двумя другими типами [14].

Анализ стабилотренинговых показателей, характеризующих особенности перемещений ЦД в стойке с ОГ у футболистов с различными типами ВРСР (см. таблицу, с. 64), выявил наиболее высокие значения длины и площади перемещений ЦД в группе с преобладанием симпатикотонии в ВРСР: $L = 478$ мм; $S = 175$ мм². Наименьшие значения данных показателей, достоверно отличающиеся от таковых в предыдущих группах, зафиксированы у футболистов с ваготоническим типом ВРСР: $L = 344$ мм ($p \leq 0,05$); $S = 78$ мм² ($p \leq 0,05$). У футболистов с нормотоническим типом ВРСР значения длины и площади девиаций ЦД были достоверно более низкие, чем в группе с преобладанием симпатикотонии, но большие, чем у футболистов с ваготонией.

Большая степень девиаций ЦД наблюдалась в сагиттальной плоскости, причем во всех группах. Среди рассматриваемых групп футболистов наиболее высокая степень колеба-

**Стабилометрические показатели у футболистов
с различными типами вегетативной регуляции при выполнении теста Ромберга,
Me [Q₁; Q₃]**
**Stabilometric parameters of football players with different types of autonomic regulation
when performing the Romberg test, Me [Q₁; Q₃]**

Показатель	Тип вегетативной регуляции		
	симпатикотония	нормотония	ваготония
<i>Стойка с открытыми глазами</i>			
<i>L</i> , мм	478 [344; 540]	364* [285; 426]	344# [282; 417]
<i>V</i> , мм/с	8,9 [6,5; 10,2]	6,8* [5,5; 8,0]	6,5# [5,3; 7,8]
<i>S</i> , мм ²	175 [109; 194]	87* [55; 114]	78# [54; 119]
<i>Q_x</i> , мм	2,6 [2,2; 3,0]	2,1 [1,6; 2,8]	2,0# [1,6; 2,4]
<i>Q_y</i> , мм	4,6 [3,9; 5,0]	3,1* [2,7; 3,9]	3,0# [2,4; 3,5]
<i>Стойка с закрытыми глазами</i>			
<i>L</i> , мм	683* [503; 803]	541* [406; 663]	486*# [394; 649]
<i>V</i> , мм/с	12,8* [9,5; 15,1]	10,1* [7,6; 12,2]	9,2*# [7,5; 12,0]
<i>S</i> , мм ²	165 [110; 188]	121* [84; 181]	106* [67; 179]
<i>Q_x</i> , мм	2,7 [2,1; 3,3]	2,4* [1,8; 2,9]	2,4* [1,5; 3,1]
<i>Q_y</i> , мм	4,6 [3,3; 5,6]	3,7* [3,1; 4,2]	3,7*# [3,1; 4,3]

Примечание. Установлена статистическая значимость различий ($p \leq 0,05$): * – между значениями показателей у групп с симпатикотонией и нормотонией (критерий Манна–Уитни); # – между значениями показателей у групп с симпатикотонией и ваготонией (критерий Манна–Уитни); • – между значениями показателей в стойках с открытыми и закрытыми глазами внутри групп (критерий Уилкоксона).

ний ЦД в обеих плоскостях выявлена у представителей симпатикотонического типа ВРСР: $Q_x = 2,6$ мм; $Q_y = 4,6$ мм. Значительно более низкая степень девиаций ЦД по сравнению с группой с симпатикотонией установлена у футболистов с ваготоническим типом ВРСР: Q_x – на 23 % ($p \leq 0,05$); Q_y – на 35 % ($p \leq 0,05$). Сравнение степени девиаций ЦД у футболистов с симпатикотоническим и нормотоническим типами ВРСР показало достоверные различия

лишь между колебаниями в сагиттальной плоскости: Q_x – на 19 %; Q_y – на 33 % ($p \leq 0,05$).

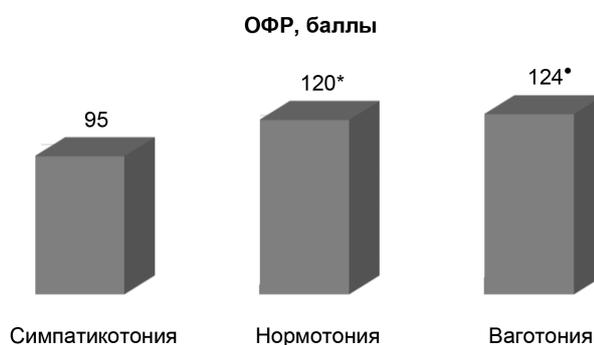
Скорость перемещений ЦД у футболистов с нормотоническим и ваготоническим типами ВРСР была ниже на 24 % ($p \leq 0,05$) и 27 % ($p \leq 0,05$) соответственно, чем у футболистов с симпатикотонией.

Отключение зрительного контроля сопровождалось повышением значений всех анализируемых стабилометрических пока-

зателей, однако не у всех групп футболистов оно было достоверным. Длина и площадь перемещений ЦД в стойке с ЗГ характеризовались теми же соотношениями значений в трех выделенных группах, что и в стойке с ОГ: более низкие выявлены у футболистов с ваготоническим типом ВРСР. Однако в стойке с отсутствием зрительной афферентной информации не установлено достоверных различий по площади колебаний ЦД. Вместе с тем у футболистов с симпатикотоническим типом ВРСР отмечалось значимое возрастание длины перемещений ЦД (на 43 %; $p \leq 0,05$), величина которого превышала таковую у футболистов с ваготоническим типом на 41 % ($p \leq 0,05$). Значения скорости перемещения ЦД при отключении зрительного контроля значимо увеличились у всех групп футболистов, однако были выше у лиц с симпатикотоническим типом регуляции на 27 и 39 % ($p \leq 0,05$) по сравнению со спортсменами, имеющими нормотонический и ваготонический типы соответственно.

Степень девиаций ЦД в сагиттальной и фронтальной плоскостях в стойке с ЗГ оказалась ниже у футболистов с нормотоническим и ваготоническим типами ВРСР по сравнению с лицами с симпатикотонией, однако достоверные различия установлены только в сагиттальной плоскости. Так, показатель Q_y на 24 % ($p \leq 0,05$) был выше у футболистов с симпатикотонией, чем у футболистов с ваготонией.

Значения интегрального показателя «оценка функции равновесия» (ОФР), характеризующего эффективность выполнения теста Ромберга на стабилоплатформе, оказались наиболее высокими в группе спортсменов с ваготоническим типом ВРСР (см. рисунок). Меньшие значения ОФР отмечены в группе спортсменов с нормотоническим типом регуляции, однако без достоверных различий с группой, у которой преобладала парасимпатическая активность. Группа футболистов с высокой активностью симпатического звена ВНС демонстрировала гораздо меньшие значения ОФР по сравнению с группами футболистов с нормотоническим и



Медианы оценки функции равновесия у футболистов с различными типами вегетативной регуляции (установлена статистическая значимость различий ($p \leq 0,05$, критерий Манна–Уитни): * – между группами с симпатикотонией и нормотонией; • – между группами с симпатикотонией и ваготонией)

Medians of balance function assessment in football players with different types of autonomic regulation, points (statistical significance of differences was established ($p \leq 0,05$, Mann–Whitney U test): * – between the groups with sympatricotonia and normotonia; • – between the groups with sympatricotonia and vagotonia)

ваготоническими типами ВРСР – на 21 % ($p \leq 0,05$) и 23 % ($p \leq 0,05$) соответственно.

Обсуждение. Значения рассмотренных стабилметрических показателей свидетельствуют о более высоком уровне поддержания ПБ у футболистов, имеющих нормотонический и ваготонический типы ВРСР, по сравнению с футболистами с симпатикотоническим типом. Этот факт подтверждается меньшей длиной и площадью перемещений ЦД в стойке с ОГ у футболистов с нормотоническим и ваготоническим типами регуляции, что указывает на необходимость меньшего количества девиаций ЦД для эффективного поддержания позы и характеризует их вариант сохранения ПБ как более экономичный. Эта же тенденция подкрепляется и различиями в скорости колебаний ЦД, по данным которой футболисты, имеющие симпатикотонический тип ВРСР, демонстрировали более напряженный уровень функционирования постуральной системы.

Отключение зрительного контроля приводило к увеличению значений большинства стабилметрических показателей во всех группах футболистов. Данная направленность изменений указывает на возрастание напряжения механизмов постурального контроля, обусловленное необходимостью поддержания ПБ в усложненных условиях зрительной информации в более частых позных коррекциях. Данный срочный адаптационный механизм характерен для всех футболистов, независимо от типа ВРСР.

В стойке с ЗГ достоверные различия отмечались по длине, скорости перемещений ЦД и среднеквадратическому отклонению ЦД в сагиттальной плоскости только между группами футболистов с ваготоническим и симпатикотоническим типами ВРСР. Эти различия свидетельствуют о том, что футболистам с ваготонией в стойке с ЗГ необходимо меньше позных коррекций и более низкая их скорость для обеспечения эффективного постурального контроля по сравнению с футболистами, характеризующимися симпатикотонией. Факт меньших колебаний ЦД в сагиттальной плоскости указывает на необходимость меньшего вовлечения в постуральный контроль голеностопной стратегии поддержания позы у футболистов с ваготоническим типом регуляции.

При поддержании позы в стойке с ЗГ не выявлено значимых межгрупповых различий по площади перемещений ЦД. Вероятно, это связано с наличием среди футболистов с нормотоническим и ваготоническим типами ВРСР лиц, у которых значения данного показателя при ЗГ увеличивались весьма сильно. Однако большинство футболистов из этих групп показали небольшую степень увеличения площади перемещений ЦД, что позволяет сделать вывод о высокой среднегрупповой эффективности работы их постуральной системы без получения информации от одной из ведущих сенсорных систем. Несмотря на отсутствие достоверных межгрупповых различий по площади перемещений ЦД в стойке с ЗГ, футболисты с симпатикотоническим типом ВРСР характеризовались

большими ее значениями, а также значительно большими длиной и скоростью перемещений ЦД по сравнению с группой футболистов, у которой преобладали парасимпатические влияния. Следовательно, уровень поддержания ПБ в стойке с ЗГ у футболистов с симпатикотоническим типом ВРСР находился на более низком уровне, чем у представителей двух других типов.

Факт более высокого уровня поддержания ПБ у футболистов с нормотоническим и ваготоническим типами ВРСР подтверждается также значениями интегрального показателя ОФР, которые были достоверно ниже у футболистов с высокой активностью симпатического звена ВНС по сравнению с футболистами двух других групп.

Данные, полученные в нашем исследовании, согласуются с результатами И.И. Жильцовой и соавт., которые показали, что рост симпатических влияний сопровождается ухудшением показателя качества функции равновесия [16]. Также результаты настоящей работы находят подтверждение в исследовании Е.В. Коваленко и В.А. Ляпина, где установлено, что более высокий уровень поддержания ПБ у спортсменов-единоборцев характерен для лиц с умеренной ваготонией в регуляции ритма сердца [11]. Однако данные, полученные Н.Г. Зинуровой и соавт., не совпадают с нашими: авторами показано, что спортсмены-борцы с уровнем равновесия выше среднего по группе характеризуются более высоким вкладом в ВРСР симпатических влияний [12, с. 1434].

Оптимальный тип ВРСР может способствовать эффективному поддержанию ПБ или создавать необходимый фон для этого в различных условиях, в т. ч. усложненных отсутствием визуальной афферентной информации. Важно отметить, что участие сегментарных и надсегментарных отделов ВНС необходимо не только для функционирования мышц и органов, входящих в постуральную систему, но и для реализации интегративных функций, осуществляющих целесообразные реакции организма для адаптации к изменяющимся условиям¹. В этом случае исходный тонус ВНС

¹Переверзев В.А., Кубарко А.И. Физиология вегетативной нервной системы. Минск: МГМИ, 1995. 25 с.

во многом определяет оптимальность ВРСР в процессе адаптации и успешной реализации любого рода деятельности. В настоящем исследовании футболисты адаптировались к изменяющимся поструральным условиям с целью эффективного поддержания ПБ. Футболисты, в исходном состоянии имевшие симпатикотонический тип регуляции, при необходимости поддержания ПБ в простой (с ОГ) и более сложной (с ЗГ) стойке могли демонстрировать неоптимальные реакции со стороны ВНС, которые отрицательно влияли на эффективность поддержания позы. Напротив, футболисты с нормотонией и ваготонией, обладая исходно более оптимальными типами ВРСР, в процессе адаптации к условиям отсутствия зрительного контроля могли демонстрировать умеренное возрастание активности центрального контура управления, а также симпатических влияний и успешно поддерживать ПБ. Следовательно, исходные нормотонический и ваготонический типы ВРСР у футболистов можно рассматривать как оптимальные фоновые условия для эффективного поддержания ПБ в простых стойках, а также для нормального протекания компенсаторно-адаптивных перестроек в организме и успешной адаптации к усложненным поструральным условиям.

Таким образом, проведенное исследование позволило сделать следующие выводы:

1. Футболисты с нормотоническим и ваготоническим типами ВРСР характеризуются более высоким уровнем поддержания ПБ в стойке с ОГ, что выражается в значительно меньшей скорости перемещений ЦД, их длины и площади, а также степени колебаний во фронтальной и сагиттальной плоскостях по сравнению с футболистами, имеющими симпатикотонический тип регуляции.

2. Отключение зрительного контроля у футболистов независимо от типа ВРСР сопровождается напряжением функционирования

постуральной системы, что можно рассматривать как механизм срочной адаптации к усложненным поструральным условиям.

3. Для эффективного поддержания ПБ в стойке с ЗГ футболистам с ваготоническим типом ВРСР необходимо значительно меньше позных коррекций, особенно в сагиттальной плоскости, по сравнению с футболистами с симпатикотоническим типом.

4. Нормотонический и ваготонический типы регуляции у футболистов в исходном состоянии можно считать наиболее оптимальными для эффективного поддержания ПБ в простых условиях, а также для нормального протекания компенсаторно-адаптивных перестроек в организме в процессе срочной адаптации к усложненным условиям поддержания позы.

Полученные в настоящем исследовании результаты представляют новые данные об особенностях функционирования поструральной системы у футболистов, а также о роли исходного типа ВРСР в поддержании ПБ в простой статической стойке на двух ногах и в стойке, усложненной отсутствием зрительной афферентной информации. Выявленные наиболее оптимальные типы ВРСР могут рассматриваться тренерами-преподавателями по футболу как маркерные характеристики для спортивного отбора лиц с высоким уровнем развития способности к поддержанию ПБ, а также при осуществлении динамического контроля за ходом учебно-тренировочного процесса.

Настоящая работа является начальным этапом серии исследований особенностей поддержания ПБ у футболистов с учетом типа ВРСР. В дальнейшем будут изучены особенности поддержания ими позы в приближенных к их виду спорта условиях. Планируется добавление к поструральной задаче параллельной когнитивной задачи, которая будет создавать двигательно-когнитивные условия, характерные для игровой деятельности футболистов.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Список литературы

1. Gribble P.A., Hertel J., Plisky P. Using the Star Excursion Balance Test to Assess Dynamic Postural-Control Deficits and Outcomes in Lower Extremity Injury: A Literature and Systematic Review // *J. Athl. Train.* 2012. Vol. 47, № 3. P. 339–357. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.3.08>
2. Zemková E., Zapletalová L. The Role of Neuromuscular Control of Postural and Core Stability in Functional Movement and Athlete Performance // *Front. Physiol.* 2022. Vol. 13. Art. № 796097. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.796097>
3. Бердичевская Е.М., Пантелеева А.М. Стабилографическая билатеральная характеристика вертикальной устойчивости футболистов с правым и левым профилем сенсомоторной асимметрии // *Физ. воспитание и спорт. тренировка.* 2021. № 2(36). С. 77–86.
4. Мельников А.А. Сравнение постуральной устойчивости у спортсменов с разной направленностью тренировочного процесса // *Физ. воспитание и спорт. тренировка.* 2019. № 2(28). С. 60–71.
5. Edis Ç., Vural F., Yurgun H. The Importance of Postural Control in Relation to Technical Abilities in Small-Sided Soccer Games // *J. Hum. Kinet.* 2016. Vol. 53. P. 51–61.
6. Bukowska J.M., Jekielek M., Kruczkowski D., Ambroży T., Jaszczur-Nowicki J. Biomechanical Aspects of the Foot Arch, Body Balance and Body Weight Composition of Boys Training Football // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021. Vol. 18, № 9. Art. № 5017. <https://doi.org/10.3390/ijerph18095017>
7. Грибанов А.В., Шерстенникова А.К. Физиологические механизмы регуляции постурального баланса человека (обзор) // *Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки.* 2013. № 4. С. 20–29.
8. Донина Ж.А., Александрова Н.П. Реакция дыхания на гиперкапнический стимул в антиортостатическом положении // *Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова.* 2010. Т. 96, № 11. С. 1129–1136.
9. Horak F.B., Kluzik J., Hlavacka F. Velocity Dependence of Vestibular Information for Postural Control on Tilting Surfaces // *J. Neurophysiol.* 2016. Vol. 116, № 3. P. 1468–1479. <https://doi.org/10.1152/jn.00057.2016>
10. Ivanenko Y., Gurfinkel V.S. Human Postural Control // *Front. Neurosci.* 2018. Vol. 12. Art. № 171. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00171>
11. Коваленко Е.В., Ляпин В.А. Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма в тренировочном процессе различной направленности у спортсменов, занимающихся карате // *Науч.-спорт. вестн. Урала и Сибири.* 2016. № 1(9). С. 25–34.
12. Зинурова Н.Г., Быхов Е.В., Чипышев А.В. Особенности регуляции артериального давления у спортсменов различных видов спорта в зависимости от степени статокинетической устойчивости // *Фундам. исследования.* 2014. № 12-7. С. 1433–1436.
13. Тишутин Н.А., Рубченя И.Н. Особенности поддержания постурального баланса в динамических условиях у футболистов с различными типами вегетативной регуляции сердечного ритма // *Уч. зап. Белорус. гос. ун-та физ. культуры.* 2022. № 25. С. 199–203.
14. Гаврилова Е.А. Вариабельность ритма сердца и спорт // *Физиология человека.* 2016. Т. 42, № 5. С. 121–129. <https://doi.org/10.1134/S036211971605008X>
15. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М.: Наука, 1984. 221 с.
16. Жильцова И.И., Альжеев Н.В., Анненков О.А., Лапина Т.А. Влияние психоэмоционального напряжения на постуральную устойчивость по показателям спектра статокинезиограммы и вариабельности сердечного ритма // *Воен.-мед. журн.* 2018. Т. 339, № 6. С. 61–69.

References

1. Gribble P.A., Hertel J., Plisky P. Using the Star Excursion Balance Test to Assess Dynamic Postural-Control Deficits and Outcomes in Lower Extremity Injury: A Literature and Systematic Review. *J. Athl. Train.*, 2012, vol. 47, no. 3, pp. 339–357. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.3.08>
2. Zemková E., Zapletalová L. The Role of Neuromuscular Control of Postural and Core Stability in Functional Movement and Athlete Performance. *Front. Physiol.*, 2022, vol. 13. Art. no. 796097. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.796097>

3. Berdichevskaya E.M., Panteleeva A.M. Stabilograficheskaya bilateral'naya kharakteristika vertikal'noy ustoychivosti futbolistov s pravym i levym profilem sensomotornoy asimmetrii [Posturographic Bilateral Characteristic of Vertical Stability of Football Players with Right and Left Profiles of Sensorimotor Asymmetry]. *Fizicheskoe vospitanie i sportivnaya trenirovka*, 2021, no. 2, pp. 77–86.
4. Mel'nikov A.A. Sravnenie postural'noy ustoychivosti u sportsmenov s raznoy napravlennoy trenirovochno protsessu [Comparison of Postural Stability of Athletes with Different Direction of the Training Process]. *Fizicheskoe vospitanie i sportivnaya trenirovka*, 2019, no. 2, pp. 60–71.
5. Edis Ç., Vural F., Vurgun H. The Importance of Postural Control in Relation to Technical Abilities in Small-Sided Soccer Games. *J. Hum. Kinet.*, 2016, vol. 53, pp. 51–61.
6. Bukowska J.M., Jekielek M., Kruczkowski D., Ambroży T., Jaszczur-Nowicki J. Biomechanical Aspects of the Foot Arch, Body Balance and Body Weight Composition of Boys Training Football. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, no. 9. Art. no. 5017. <https://doi.org/10.3390/ijerph18095017>
7. Gribanov A.V., Sherstennikova A.K. Fiziologicheskie mekhanizmy regulyatsii postural'nogo balansa cheloveka (obzor) [Physiological Mechanisms of Human Postural Balance Regulation (Review)]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Mediko-biologicheskie nauki*, 2013, no. 4, pp. 20–29.
8. Donina Zh.A., Aleksandrova N.P. Reaktsiya dykhaniya na giperkapnicheskii stimul v antiortostaticheskom polozenii [The Ventilatory Response to Hypercapnia During Head-Down Tilt]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova*, 2010, vol. 96, no. 11, pp. 1129–1136.
9. Horak F.B., Kluzik J., Hlavacka F. Velocity Dependence of Vestibular Information for Postural Control on Tilting Surfaces. *J. Neurophysiol.*, 2016, vol. 116, no. 3, pp. 1468–1479. <https://doi.org/10.1152/jn.00057.2016>
10. Ivanenko Y., Gurfinkel V.S. Human Postural Control. *Front. Neurosci.*, 2018, vol. 12. Art. no. 171. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00171>
11. Kovalenko E.V., Lyapin V.A. Osobennosti vegetativnoy regulyatsii serdechnogo ritma v trenirovochnom protsesse razlichnoy napravlennosti u sportsmenov, zanimayushchikhsya karate [Autonomic Heart Rate Regulation in Karate Athletes During Various Training Processes]. *Nauchno-sportivnyy vestnik Urala i Sibiri*, 2016, no. 1, pp. 25–34.
12. Zinurova N.G., Bykov E.V., Chipyshev A.V. Osobennosti regulyatsii arterial'nogo davleniya u sportsmenov razlichnykh vidov sporta v zavisimosti ot stepeni statokinetichey ustoychivosti [Blood Pressure Regulation in Athletes of Various Sports Depending on the Degree of Statokinetic Stability]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2014, no. 12-7, pp. 1433–1436.
13. Tishutin N.A., Rubchenya I.N. Osobennosti podderzhaniya postural'nogo balansa v dinamicheskikh usloviyakh u futbolistov s razlichnymi tipami vegetativnoy regulyatsii serdechnogo ritma [Features of Maintaining Postural Balance Under Dynamic Conditions in Football Players with Different Types of Autonomic Heart Rate Regulation]. *Uchenye zapiski Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta fizicheskoy kul'tury*, 2022, no. 25, pp. 199–203.
14. Gavrilova E.A. Heart Rate Variability and Sports. *Hum. Physiol.*, 2016, vol. 42, no. 5, pp. 571–578. <https://doi.org/10.1134/S036211971605008X>
15. Baevskiy R.M., Kirillov O.I., Kletskin S.Z. *Matematicheskiy analiz izmeneniy serdechnogo ritma pri stresse* [Mathematical Analysis of Changes in Heart Rate During Stress]. Moscow, 1984. 221 p.
16. Zhil'tsova I.I., Al'zhev N.V., Annenkov O.A., Lapshina T.A. Vliyanie psikhoemotsional'nogo napryazheniya na postural'nuyu ustoychivost' po pokazatelyam spektra statokineziogrammy i variabel'nosti serdechnogo ritma [Influence of Psychoemotional Stress on Postural Stability According to the Parameters of the Statokinesiogram Spectrum and Heart Rate Variability]. *Voенно-meditsinskiy zhurnal*, 2018, vol. 339, no. 6, pp. 61–69.

Поступила в редакцию 29.03.2023 / Одобрена после рецензирования 30.10.2023 / Принята к публикации 01.11.2023.
Submitted 29 March 2023 / Approved after reviewing 30 October 2023 / Accepted for publication 1 November 2023.

Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 1. С. 70–79.
Journal of Medical and Biological Research, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 70–79.

Научная статья
УДК 611.018.5+612.12(985)(479)(045)
DOI: 10.37482/2687-1491-Z178

Сравнительный анализ мононенасыщенных жирных кислот в периферической крови жителей различных климатогеографических территорий

Борис Александрович Шенгоф* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3776-1474>
Фатима Артемовна Бичкаева* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2970-4469>
Екатерина Васильевна Нестерова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8467-2514>

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук
(Архангельск, Россия)

Аннотация. Нарушение эндогенного синтеза, изменение количества и качественного состава жирных кислот пищи могут стать патогенетическими факторами целого ряда метаболически обусловленных заболеваний. **Целью** работы стал сравнительный анализ содержания мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК): пальмитолеиновой, элаидиновой, олеиновой, гондоиновой, эруковой, нервоновой – в периферической крови жителей различных климатогеографических территорий. **Материалы и методы.** В исследовании, проводившемся с 2008 по 2018 год, приняли участие 697 чел. в возрасте от 22 до 60 лет. В зависимости от постоянного проживания все участники были разделены на группы: 1) жители арктического региона (АР) России; 2) лица, проживающие в приполярном регионе (ПР) России; 3) жители Южного Кавказа (ЮК). Содержание МНЖК в сыворотке крови оценивалось с помощью метода газожидкостной хроматографии. **Результаты.** Анализ полученных данных показал, что у жителей АР и ПР суммарная концентрация МНЖК в периферической крови статистически значимо ниже, чем у представителей ЮК. В частности, у жителей северных регионов зарегистрированы более низкие концентрации пальмитолеиновой, олеиновой и гондоиновой кислот. Кроме того, у представителей АР уровень элаидиновой кислоты был выше относительно данных жителей ЮК, а концентрация эруковой кислоты – ниже, чем у лиц из ПР и ЮК. При этом статистически значимо меньшая концентрация нервоновой кислоты была выявлена у представителей ЮК по сравнению с данными лиц, проживающих в ПР, а вероятность различий со значениями этого показателя у жителей АР находилась на уровне статистической тенденции. Таким образом, воздействие экстремальных факторов Севера вызывает адаптационные перестройки жирового обмена на уровне основных и минорных компонентов жирных кислот. При этом комплекс изменений тесно связан со структурой питания и может рассматриваться как результат несбалансированного рациона.

Ключевые слова: мононенасыщенные жирные кислоты, пальмитолеиновая кислота, элаидиновая кислота, олеиновая кислота, арктический регион, приполярный регион, Южный Кавказ.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы ФНИР ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН № 122011800399-2 (руководитель – доктор биологических наук Ф.А. Бичкаева).

Ответственный за переписку: Борис Александрович Шенгоф, адрес: 163001, г. Архангельск, просп. Ломоносова, д. 249; e-mail: b-shengof@yandex.ru

Для цитирования: Шенгоф, Б. А. Сравнительный анализ мононенасыщенных жирных кислот в периферической крови жителей различных климатогеографических территорий / Б. А. Шенгоф, Ф. А. Бичкаева, Е. В. Нестерова // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 70-79. – DOI: 10.37482/2687-1491-Z178.

Original article

Comparative Analysis of Monounsaturated Fatty Acids in the Peripheral Blood of Residents of Different Climatic Regions

Boris A. Shengof* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3776-1474>

Fatima A. Bichkaeva* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2970-4469>

Ekaterina V. Nesterova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8467-2514>

*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russian Federation)

Abstract. Disordered endogenous synthesis as well as changes in the quantity and qualitative composition of fatty acids in the diet can become pathogenetic factors in a number of metabolic diseases. The **purpose** of this article was a comparative analysis of the content of monounsaturated fatty acids (palmitoleic, elaidic, oleic, gondoic, erucic and nervonic) in the peripheral blood of residents of different climatic regions. **Materials and methods.** The research was conducted between 2008 and 2018 and involved 697 subjects aged 22 to 60 years. Depending on the region of permanent residence, all the participants were divided into three groups: 1) residents of the Arctic region (AR); 2) people living in the circumpolar region (CR); 3) residents of the South Caucasus (SC). The level of monounsaturated fatty acids (MUFAs) in the blood serum was evaluated using gas-liquid chromatography. **Results.** The analysis of the data obtained demonstrates that the total concentration of MUFAs in the peripheral blood of AR and CR residents is statistically significantly lower compared to the people of SC. In particular, northerners showed lower concentrations of palmitoleic, oleic and gondoic acids. Moreover, in the AR group, the level of elaidic acid was higher than in the SC group, while the concentration of erucic acid was lower than in the CR and SC groups. In terms of nervonic acid, a statistically significantly lower content was detected in SC residents compared to the CR group, while the probability of differences between SC and AR residents was at the trend level. Thus, extreme factors of the North cause adaptive rearrangements in fat metabolism at the level of major and minor fatty acid components. At the same time, the changes are closely linked with the structure of nutrition and can be attributed to an unbalanced diet.

Keywords: monounsaturated fatty acids, palmitoleic acid, elaidic acid, oleic acid, Arctic region, subpolar region, South Caucasus.

Funding. The work was carried out within the Fundamental Research of FECIAR UrB RAS, topic no. 122011800399-2 (leader – Dr. Sci. (Biol.) F.A. Bichkaeva).

For citation: Shengof B.A., Bichkaeva F.A., Nesterova E.V. Comparative Analysis of Monounsaturated Fatty Acids in the Peripheral Blood of Residents of Different Climatic Regions. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 70–79. DOI: 10.37482/2687-1491-Z178

Corresponding author: Boris Shengof, address: prosp. Lomonosova 249, Arkhangelsk, 163001, Russian Federation; e-mail: b-shengof@yandex.ru

Физиологически комфортными районами проживания человека традиционно считаются умеренные широты с относительно стабильными климатогеографическими изменениями. Какое-либо отклонение от такого типа условий проживания в разной степени оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека [1]. К настоящему времени уже накоплено достаточно фактов, указывающих на негативное влияние экологических условий высоких широт [2–4]. Комплекс абиотических раздражителей в сочетании с особенностями питания формирует у человека на Севере особый «полярный» метаболический тип [5]. Организм переходит на новый уровень гомеостаза, для которого характерны иные экологически обусловленные нормы метаболических показателей, что, в свою очередь, выражается в формировании региональных особенностей биохимического профиля.

Важнейший вклад в понимание процессов адаптации метаболической системы человека к условиям Севера внесли научные труды Л.Е. Панина, В.П. Казначеева, Е.Р. Бойко [6–8]. Полученные ими результаты показали, что ряд ключевых параметров метаболизма у жителей циркумполярных территорий отличается от среднеширотных показателей. При этом их различия у представителей разных групп населения были взаимосвязаны с длительностью проживания на Севере. В целом анализ рассматриваемого материала позволяет прийти к выводу, что процесс адаптации человека к комплексу внешнесредовых факторов, прежде всего, характеризуется повышением энергетических трат, что связано с увеличением интенсивности обменных процессов. При этом основным энергетическим субстратом для синтеза макроэргических молекул служат насыщенные и мононенасыщенные жирные кислоты.

Экзогенные и эндогенные жирные кислоты в организме человека влияют на различные фундаментальные процессы жизнедеятельности. Они являются важнейшим компонентом клеточной мембраны, играют решающую

роль в энергетическом гомеостазе, участвуют в процессах синтеза различных биологически важных соединений, обеспечивают нормальную функциональную активность многих ферментов. Нарушение эндогенного синтеза, изменение количества и качественного состава жирных кислот пищи могут стать патогенетическими факторами целого ряда метаболически обусловленных заболеваний [9, 10]. В этом контексте исследование жирнокислотных компонентов периферической крови представляется актуальным не только для понимания закономерностей процессов жирового обмена, но и для разработки проблемы сбалансированного питания у человека в различных экологических условиях жизнедеятельности.

Проведенные в последнее время исследования показали наличие определенных особенностей метаболизма жирных кислот в периферической крови жителей различных климатогеографических территорий [11, 12]. Однако в представленных работах метаболические параметры жителей Арктики рассматриваются в отрыве от показателей уроженцев южных регионов, что, по нашему мнению, может не в полной мере отражать адаптационные перестройки метаболизма жирных кислот у первых. В связи с этим целью данного исследования было установление особенностей содержания мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) в периферической крови жителей северных и южных регионов.

Материалы и методы. За период с 2008 по 2018 год обследованы 697 чел. (мужчины и женщины) в возрасте от 22 до 60 лет. По месту своего рождения и постоянного проживания все участники исследования были разделены на три группы: в первую вошли 265 жителей арктического региона России (АР; 71–65° с. ш.: с. Гыда, с. Сёяха, с. Антипаюта, с. Ныда, г. Надым Ямало-Ненецкого автономного округа; пос. Нельмин-Нос, с. Несь Ненецкого автономного округа); во вторую – 246 чел., проживающих в приполярном регионе России (ПР; 64° с. ш.: пос. Пинега Архангельской области, г. Архангельск); в третью – 186 жителей Юж-

ного Кавказа (ЮК; 42° с. ш.: г. Цхинвал, Республика Южная Осетия).

Арктика характеризуется экстремальными для постоянного проживания человека природно-климатическими условиями. К специфическим экологическим факторам высоких широт можно отнести продолжительную зиму с частыми бурями, метелями и морозами, резкие перепады атмосферного давления, контрастную динамику светового дня и факторы электромагнитной природы. Климат исследованных арктических территорий преимущественно формируется под влиянием арктических и атлантических воздушных масс, которые обуславливают отрицательную среднегодовую температуру воздуха – около -10°C [3, 13]. Условия для проживания в приполярных областях не столь экстремальны, как на Крайнем Севере, но все же являются дискомфортными для местного населения. Выбранные для изучения приполярные территории находятся в зоне умеренного климатического пояса, с умеренно-континентальным климатом, который формируется под влиянием северных морей в условиях малого количества солнечной радиации зимой. Частая смена воздушных масс, усиленная циклоническая деятельность обуславливают неустойчивую погоду. Средняя годовая температура воздуха здесь положительная – от $0,1$ до $2,0^{\circ}\text{C}$ [14]. Климатогеографические условия Южной Осетии неоднородны, но в целом соответствуют климату умеренных широт, поскольку основная часть ее территории расположена в горной местности. Исследование проводилось в г. Цхинвале, где эколого-климатические условия для проживания человека считаются физиологически комфортными. Территория города расположена в предгорьях Большого Кавказа на высоте $500\text{--}600$ м над уровнем моря в зоне субтропического климата, со среднегодовой температурой воздуха $11,2^{\circ}\text{C}$ [15].

Средний возраст обследованного населения составил ($M\pm SD$): в АР – $42,41\pm 11,06$ года; в ПР – $42,56\pm 10,85$ года; в ЮК – $39,40\pm 11,09$ года. Все участники относились к I и II группам здоровья, находились вне периода обострения своих

хронических заболеваний. Исследование проводилось на добровольной основе с соблюдением всех норм и принципов биомедицинской этики согласно требованиям Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта» (версия 2013 года).

Забор крови из локтевой вены выполнялся в утренние часы строго натощак, спустя $10\text{--}12$ ч после последнего приема пищи. Оценка содержания жирных кислот в сыворотке крови включала экстракцию липидов с последующим их метилированием. Анализ метиловых производных проводился на газовом хроматографе Agilent 7890A (США) с пламенно-ионизационным детектором. Для разделения полученных образцов применялась капиллярная колонка Agilent DB-23, $60\text{ м} \times 0,25\text{ мм} \times 0,15\text{ мкм}$ (США). Идентификация пиков осуществлялась с использованием стандарта GLS-569B (Nu-Chek-Prep., США). Количественный расчет МНЖК: пальмитолеиновой (*цис*-9-гексадеценовой, $C_{16}:1n-7c$), элаидиновой (*транс*-9-октадеценовой, $C_{18}:1n-9t$), олеиновой (*цис*-9-октадеценовой, $C_{18}:1n-9c$), гондоиновой (*цис*-11-эйкозеновой, $C_{20}:1n-9c$), эруковой (*цис*-13-докозеновой, $C_{22}:1n-9c$), нервоновой (*цис*-15-тетракозеновой, $C_{24}:1n-9c$) – проводился по методу внутреннего стандарта (нонадекановая кислота) в программе Agilent ChemStation B.03.01 (США) [16].

Статистический анализ собранных данных выполнялся в программе IBM SPSS Statistics 22.0 (США). Проверка гипотезы о нормальном распределении случайной величины в исследуемых выборках проводилась с помощью теста Шапиро–Уилка. По результатам проверки была выявлена асимметрия рядов распределения. В связи с этим в качестве меры центральной тенденции рассчитывались значения медианы (Me), а меры рассеяния включали значения 1-го и 3-го квартилей (Q_1 ; Q_3). Предварительная оценка статистической значимости различий между тремя независимыми группами осуществлялась с использованием не-

параметрического анализа Крускала–Уоллиса (H -тест). Апостериорные сравнения были выполнены с применением критерия Манна–Уитни (U -тест). Для снижения вероятности ложноположительного заключения использовалась поправка Бонферрони. Найденные различия считались статистически достоверными при уровне статистической значимости $p < 0,05$.

Результаты. Математический анализ полученных данных позволил выявить статистически значимые региональные различия в показателях МНЖК (см. *таблицу*).

В целом, ориентируясь на суммарное содержание МНЖК в периферической крови, можно сделать вывод о меньшем содержании данного типа кислот у жителей АР и ПР по сравнению с представителями ЮК. В частности, у них отмечены более низкие концентрации пальмитолеиновой, олеиновой и гондоиновой кислот. Кроме того, в группе АР уровень элаидиновой кислоты был статистически значимо выше относительно данных жителей ЮК, а концентрация эруковой кислоты – статистически значимо ниже показателей в группах ПР и ЮК. При этом статисти-

Сравнение содержания МНЖК в периферической крови жителей арктического (АР; $n = 265$), приполярного (ПР; $n = 246$) регионов России и представителей Южного Кавказа (ЮК; $n = 186$)
Comparison of MUFA content in the peripheral blood of residents of the Arctic ($n = 265$) and circumpolar ($n = 246$) regions of Russia and representatives of the South Caucasus ($n = 186$)

Кислота	Группа	Концентрация, Me (Q_1 ; Q_3), мкг/мл	H -тест	U -тест
МНЖК	1 (АР)	420,93 (324,12; 537,31)	$\chi^2 = 30,66$ $p = 2,19 \cdot 10^{-7}$	$p_{1-2} = 0,21 \cdot 10^1$ $p_{1-3} = 1,78 \cdot 10^{-6}$ $p_{2-3} = 5,52 \cdot 10^{-7}$
	2 (ПР)	412,96 (311,58; 545,99)		
	3 (ЮК)	508,49 (385,80; 654,89)		
C16:1n-7c	1 (АР)	39,36 (25,50; 58,51)	$\chi^2 = 84,15$ $p = 5,35 \cdot 10^{-19}$	$p_{1-2} = 1,55 \cdot 10^{-7}$ $p_{1-3} = 1,82 \cdot 10^{-5}$ $p_{2-3} = 1,39 \cdot 10^{-17}$
	2 (ПР)	29,91 (20,65; 45,41)		
	3 (ЮК)	49,67 (33,09; 77,05)		
C18:1n-9t	1 (АР)	5,90 (3,69; 8,99)	$\chi^2 = 6,72$ $p = 3,48 \cdot 10^{-2}$	$p_{1-2} = 4,22 \cdot 10^{-1}$ $p_{1-3} = 2,45 \cdot 10^{-2}$ $p_{2-3} = 4,66 \cdot 10^{-1}$
	2 (ПР)	5,42 (3,56; 8,34)		
	3 (ЮК)	5,09 (3,55; 6,91)		
C18:1n-9c	1 (АР)	365,87 (277,33; 461,23)	$\chi^2 = 29,11$ $p = 4,77 \cdot 10^{-7}$	$p_{1-2} = 0,18 \cdot 10^1$ $p_{1-3} = 4,96 \cdot 10^{-7}$ $p_{2-3} = 5,68 \cdot 10^{-6}$
	2 (ПР)	362,59 (275,30; 494,52)		
	3 (ЮК)	443,88 (340,55; 563,42)		
C20:1n-9c	1 (АР)	2,83 (2,05; 3,78)	$\chi^2 = 61,72$ $p = 3,97 \cdot 10^{-14}$	$p_{1-2} = 3,49 \cdot 10^{-3}$ $p_{1-3} = 7,59 \cdot 10^{-15}$ $p_{2-3} = 5,22 \cdot 10^{-8}$
	2 (ПР)	3,09 (2,20; 4,43)		
	3 (ЮК)	3,90 (2,96; 4,99)		
C22:1n-9c	1 (АР)	0,42 (0,29; 0,71)	$\chi^2 = 26,99$ $p = 1,38 \cdot 10^{-6}$	$p_{1-2} = 4,80 \cdot 10^{-4}$ $p_{1-3} = 3,42 \cdot 10^{-6}$ $p_{2-3} = 1,03 \cdot 10^{-1}$
	2 (ПР)	0,57 (0,29; 0,86)		
	3 (ЮК)	0,57 (0,39; 0,87)		
C24:1n-9c	1 (АР)	1,12 (0,71; 1,98)	$\chi^2 = 11,68$ $p = 2,90 \cdot 10^{-3}$	$p_{1-2} = 7,10 \cdot 10^{-1}$ $p_{1-3} = 8,19 \cdot 10^{-2}$ $p_{2-3} = 1,35 \cdot 10^{-3}$
	2 (ПР)	1,17 (0,81; 1,88)		
	3 (ЮК)	1,05 (0,73; 1,38)		

чески значимо меньшая концентрация нервной кислоты была выявлена в группе ЮК по сравнению с данными лиц, проживающих в ПР, а вероятность различий со значениями данного показателя у жителей АР находилась на уровне статистической тенденции.

Обсуждение. Согласно результатам исследования, в группе жителей ЮК наблюдается более высокая концентрация пальмитолеиновой кислоты по сравнению с лицами из АР и ПР. При этом у 75 % обследованных из ПР концентрация данной кислоты не превышала 45,41 мкг/мл, что значительно ниже, чем у жителей АР и ЮК. Пальмитолеиновая кислота является одной из наиболее распространенных экзогенных кислот, поступающих с пищей. При этом в литературе отмечено, что около 10 % синтезированной клетками пальмитиновой кислоты (С16:0) в ходе реакции десатурации превращается в пальмитолеиновую кислоту [17]. С учетом этих фактов можно предположить, что высокий уровень пальмитолеиновой кислоты у жителей ЮК – результат соотношения субстрата и продукта реакции, тесно связанного с экзогенным их поступлением и активностью бактерий кишечника, т. к. пальмитолеиновая кислота является метаболитом микробиоты человека [18].

Анализируя содержание элаидиновой кислоты, следует отметить, что наиболее высокий уровень этого трансизомера был выявлен у жителей АР, наименьший – у лиц, проживающих на ЮК. Причем диапазон концентраций данной кислоты у 50 % обследованных лиц Арктики составил от 3,69 до 8,99 мкг/мл. Исходя из этого можно заключить, что у жителей Арктики встречаемость элаидиновой кислоты в привычных источниках пищи выше, чем у жителей ЮК. Согласно данным литературы, в пищевой промышленности при производстве жиров посредством каталитического гидрирования доминирующими трансжирами являются изомеры октадеценовой кислоты с преобладанием элаидиновой кислоты, а в рубце жвачных животных под действием ферментов в основном образуются октадекадиеновые кислоты преи-

мущественно с конъюгированными двойными связями [19]. Таким образом, можно сделать вывод, что у населения Арктики в современных условиях жизни происходит переход от традиционных источников пищи в пользу привозных продуктов с высокой долей гидрогенизированных жиров в составе, что является алиментарно-зависимым фактором риска не только сердечно-сосудистых заболеваний, но и нейродегенеративных нарушений [20].

При сравнении уровней олеиновой кислоты в периферической крови было установлено, что у лиц с ЮК он выше, чем у жителей АР и ПР. При этом в 50 % случаев концентрация данной кислоты у обследованных лиц в зоне субтропического климата составляла от 340,55 до 563,42 мкг/мл. Наличие одной двойной связи в структуре олеиновой кислоты дает ей достаточно высокую константу скорости реакции. Благодаря этому она более активно поглощается митохондриями клеток, чем пальмитиновая, линолевая и арахидоновая кислоты [21]. При этом нарабатывается максимальное количество энергии по сравнению с углеводным субстратом окисления [18]. В то же время олеиновая кислота является основной МНЖК, которую клетки синтезируют путем последовательных реакций элонгации и десатурации эндогенно синтезированной из ацетил-КоА пальмитиновой кислоты [22]. В связи с этим можно предположить, что низкие концентрации олеиновой кислоты в периферической крови жителей Севера обусловлены высоким уровнем основного обмена, что, по-видимому, связано с процессом адаптационных реакций к «северному стрессу».

Одновременно с этими изменениями обращает на себя внимание более высокий уровень гондоиновой кислоты у жителей ЮК по сравнению с обследованными из АР и ПР. При этом у представителей АР концентрация этой кислоты в 75 % случаев не превышает 3,78 мкг/мл, что статистически значимо ниже, чем у уроженцев ПР и ЮК. Основным источником гондоиновой кислоты для человека служат пищевые продукты, изготовленные на основе масел, полу-

чаемых из масленичных культур семейства крестоцветных [23]. Исходя из этого можно предположить дефицит таких продуктов в рационе питания жителей Арктики.

Не вызывает сомнения, что потребление жиров, извлекаемых из семян семейства крестоцветных, может влиять на концентрацию эруковой кислоты в периферической крови [24]. По нашим данным, у 50 % обследованных жителей Арктики уровень данной кислоты в сыворотке крови находится в пределах от 0,29 до 0,71 мкг/мл. Этот результат статистически значимо ниже, чем у представителей ПР и ЮК. Количественный сдвиг в сторону низких значений у жителей Заполярья носит, скорее, положительный характер, потому как избыточное потребление жиров с высоким содержанием эруковой кислоты может вызвать нарушение метаболизма триацилглицеролов с последующим их накоплением не только в миокарде, но и в различных тканях организма, за исключением клеток печени. В первую очередь это связывают с низкой скоростью окисления ацил-КоА эруковой кислоты митохондриальной ацил-КоА-дегидрогеназой с последующим ингибированием данного фермента, что в конечном итоге может стать причиной внутриклеточного липидоза [25].

Последней отличительной особенностью представленных данных является то, что статистически значимо более низкие концентрации нервоновой кислоты были выявлены в группе обследованных с Кавказа относительно лиц, проживающих в зоне Субарктики. В то же время вероятность различий у обследованного населения ЮК с данными жителей Арктики находилась на уровне статистической тенденции. Нервоновую кислоту в основном рассматривают как компонент сфинголипидов мембраны глиальных клеток. Показано, что сфингомиелин миелиновой оболочки аксона преимущественно синтезирован из сфингозина, имеюще-

го амидную связь с нервоновой кислотой [26]. Причем дефицит последней может стать одной из причин повышенной демиелинизации и снижения эффективности процесса ремиелинизации миелиновой оболочки нейронов как в периферической, так и в центральной нервной системе [27].

Таким образом, статистически значимые различия суммарного содержания МНЖК в периферической крови жителей АР и ПР относительно обследованных лиц ЮК в основном вызваны более низкими концентрациями пальмитолеиновой, олеиновой и гондоиновой кислот у первых. Кроме того, в группе АР уровень элаидиновой кислоты был смещен в сторону более высоких значений относительно представителей ЮК, а концентрация эруковой кислоты была ниже, чем у жителей ПР и ЮК. Вместе с тем у обследованных в ПР на фоне меньшей концентрации пальмитолеиновой кислоты выявлен статистически значимо более высокий уровень гондоиновой кислоты по сравнению с жителями АР. В свою очередь, статистически значимо более низкие концентрации нервоновой кислоты были установлены в группе ЮК относительно лиц, проживающих в ПР, а вероятность различий со значениями жителей АР находилась на уровне статистической тенденции.

В целом, результаты нашего исследования показали, что воздействие экстремальных факторов Севера на организм человека вызывает адаптационные перестройки жирового обмена на уровне основных и минорных компонентов жирных кислот в периферической крови. При этом комплекс установленных изменений тесно связан со структурой питания и может рассматриваться как результат несбалансированного рациона. Недостаток растительной пищи и избыток искусственных продуктов могут стать пусковыми факторами нарушения метаболических реакций, стимулирующих алиментарно-зависимые заболевания.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

1. Новиков В.С., Сороко С.И. Физиологические основы жизнедеятельности человека в экстремальных условиях. СПб.: Политехника-принт, 2017. 476 с.
2. Петрова П.Г. Эколого-физиологические аспекты адаптации человека к условиям Севера // Вестн. Сев.-Вост. федер. ун-та им. М.К. Аммосова. Сер.: Мед. науки. 2019. № 2(15). С. 29–38.
3. Корчин В.И., Корчина Т.Я., Терникова Е.М., Бикбулатова Л.Н., Лапенко В.В. Влияние климатогеографических факторов Ямало-Ненецкого автономного округа на здоровье населения (обзор) // Журн. мед.-биол. исследований. 2021. Т. 9, № 1. С. 77–88. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z046>
4. Щетинина С.Ю., Юдичева Н.В. Влияние геомагнитной активности на состояние здоровья человека // Междунар. журн. гум. и естеств. наук. 2021. № 5-1(56). С. 167–169. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2021-5-1-167-169>
5. Панин Л.Е. Гомеостаз и проблемы приполярной медицины (методологические аспекты адаптации) // Бюл. Сиб. отд-ния РАМН. 2010. Т. 30, № 3. С. 6–11.
6. Панин Л.Е. Энергетические аспекты адаптации. Л.: Медицина. Ленингр. отд-ние, 1978. 192 с.
7. Казначеев В.П. Современные аспекты адаптации. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 192 с.
8. Бойко Е.Р. Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 190 с.
9. Schwingshackl L., Strasser B., Hoffmann G. Effects of Monounsaturated Fatty Acids on Cardiovascular Risk Factors: A Systematic Review and Meta-Analysis // Ann. Nutr. Metab. 2011. Vol. 59, № 2-4. P. 176–186. <https://doi.org/10.1159/000334071>
10. Hulbert A.J., Turner N., Storlien L.H., Else P.L. Dietary Fats and Membrane Function: Implications for Metabolism and Disease // Biol. Rev. 2005. Vol. 80, № 1. P. 155–169. <https://doi.org/10.1017/S1464793104006578>
11. Бичкаев А.А., Бичкаева Ф.А., Волкова Н.И., Шенгоф Б.А. Возрастные особенности мононенасыщенных жирных кислот у жителей Севера // Вестн. Урал. мед. акад. науки. 2014. № 3(49). С. 157–159.
12. Бичкаева Ф.А., Волкова Н.И., Лобанов А.А., Кочкин Р.А. Адаптивные возрастные изменения Омега-7 мононенасыщенных жирных кислот и параметров углеводного обмена в крови у жителей севера России // Вестн. Урал. мед. акад. науки. 2018. Т. 15, № 2. С. 151–161. <https://doi.org/10.22138/2500-0918-2018-15-2-151-161>
13. Доклад «О состоянии и охране окружающей среды Ненецкого автономного округа в 2016 году» / Департамент природ. ресурсов, экологии и агропром. комплекса Ненец. авт. округа, Центр природопользования и охраны окружающей среды. Нарьян-Мар, 2017. URL: http://cpoos-nao.ru/docs/doklad_o_sostojanii_okruzhajushhej_sredey_v_2016_g.docx (дата обращения: 10.05.2023).
14. Общая характеристика климата Архангельской области и Ненецкого автономного округа // Сев. управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды: [сайт]. URL: <http://www.sevmeteo.ru/files/arh-nao.pdf> (дата обращения: 10.05.2023).
15. Бадов А.Д., Джисоева В.Д. Природные условия и ресурсы как важнейший фактор устойчивого социально-экономического развития Южной Осетии // Вестн. Адыг. гос. ун-та. Сер. 4: Естеств.-мат. и техн. науки. 2017. № 1(196). С. 91–94.
16. Патент № 2758932 С1 Рос. Федерация, МПК G01N 33/487, G01N 33/483, G01N 33/12, G01N 33/49, G01N 30/02. Способ измерения массовой концентрации метиловых эфиров жирных кислот в биологических средах методом газожидкостной хроматографии: № 2020124879; заявл. 17.07.2020; опубл. 03.11.2021 / Бичкаева Ф.А., Баранова Н.Ф., Власова О.С., Нестерова Е.В., Бичкаев А.А., Шенгоф Б.А., Третьякова Т.В. 31 с.
17. Рожкова Т.А., Ариповский А.В., Яровая Е.Б., Каминная В.И., Кухарчук В.В., Титов В.Н. Индивидуальные жирные кислоты плазмы крови: биологическая роль субстратов, параметры количества и качества, диагностика атеросклероза и атероматоза // Клини. лаб. диагностика. 2017. Т. 62, № 11. С. 655–665.
18. Каминная В.И., Рожкова Т.А., Соловьева Е.Ю., Коновалова Г.Г., Титов В.Н., Яровая Е.Б., Чирковская М.В. Вклад индивидуальных жирных кислот плазмы крови в формирование гиперлипидемий атерогенного генеза у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями // World Science: Problems and Innovations: сб. ст. XXIX Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 28 февр. 2019 г. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2019. С. 234–238.
19. Медведев О.С., Медведева З.О. Трансизомеры жирных кислот как опасный компонент нездорового питания // Вопр. диетологии. 2015. Т. 5, № 2. С. 54–63.

20. Hirata Y, Nada Y, Yamada Y, Toyama T, Fukunaga K, Hwang G.W, Noguchi T, Matsuzawa A. Elaidic Acid Potentiates Extracellular ATP-Induced Apoptosis via the P2X₇-ROS-ASK1-p38 Axis in Microglial Cell Lines // *Biol. Pharm. Bull.* 2020. Vol. 43, № 10. P. 1562–1569. <https://doi.org/10.1248/bpb.b20-00409>
21. Тумов В.Н., Дыгай А.М., Котловский М.Ю., Курдюк Е.В., Якименко А.В., Якимович И.Ю., Аксютина Н.В., Котловский Ю.В. Пальмитиновая, олеиновая кислоты и их роль в патогенезе атеросклероза // *Бюл. сиб. медицины.* 2014. Т. 13, № 5. С. 149–159. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2014-5-149-159>
22. Тумов В.Н. Синтез насыщенных, моноеновых, ненасыщенных и полиеновых жирных кислот в филогенезе. Эволюционные аспекты атеросклероза // *Успехи соврем. биологии.* 2012. Т. 132, № 2. С. 181–199.
23. Прахова Т.Я., Зеленина О.Н. Качественная характеристика маслосемян озимого рыжика // *Нива Поволжья.* 2009. № 3(12). С. 84–87.
24. Vetter W., Darwisch V., Lehnert K. Erucic Acid in *Brassicaceae* and Salmon – an Evaluation of the New Proposed Limits of Erucic Acid in Food // *NFS J.* 2020. Vol. 19. P. 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.03.002>
25. Bremer J., Norum K.R. Metabolism of Very Long-Chain Monounsaturated Fatty Acids (22:1) and the Adaptation to Their Presence in the Diet // *J. Lipid Res.* 1982. Vol. 23, № 2. P. 243–256. [https://doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)38153-0](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)38153-0)
26. Sassa T., Kihara A. Metabolism of Very Long-Chain Fatty Acids: Genes and Pathophysiology // *Biomol. Ther. (Seoul).* 2014. Vol. 22, № 2. P. 83–92. <https://doi.org/10.4062/biomolther.2014.017>
27. Lewkowicz N., Piątek P., Namiecińska M., Domowicz M., Bonikowski R., Szemraj J., Przygodzka P., Stasiołek M., Lewkowicz P. Naturally Occurring Nervonic Acid Ester Improves Myelin Synthesis by Human Oligodendrocytes // *Cells.* 2019. Vol. 8, № 8. Art. № 786. <https://doi.org/10.3390/cells8080786>

References

- Novikov V.S., Soroko S.I. *Fiziologicheskie osnovy zhiznedeyatel'nosti cheloveka v ekstremal'nykh usloviyakh* [Physiological Bases of Human Life in Extreme Conditions]. St. Petersburg, 2017. 476 p.
- Petrova P.G. Ekologo-fiziologicheskie aspekty adaptatsii cheloveka k usloviyam Severa [Ecological and Physiological Aspects of Human Adaptation to the Conditions of the North]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. Ser.: Meditsinskie nauki*, 2019, no. 2, pp. 29–38.
- Korchin V.I., Korchina T.Ya., Ternikova E.M., Bikbulatova L.N., Lapenko V.V. Influence of Climatic and Geographical Factors of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug on the Health of Its Population (Review). *J. Med. Biol. Res.*, 2021, vol. 9, no. 1, pp. 77–88. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z046>
- Shchetinina S.Yu., Yudicheva N.V. Vliyanie geomagnitnoy aktivnosti na sostoyanie zdorov'ya cheloveka [The Influence of Geomagnetic Activity on Human Health Condition]. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2021, no. 5-1, pp. 167–169. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2021-5-1-167-169>
- Panin L.E. Gomeostaz i problemy pripolyarnoy meditsiny (metodologicheskie aspekty adaptatsii) [Homeostasis and Problems of Circumpolar Health (Methodological Aspects of Adaptation)]. *Byulleten' Sibirskogo otdeleniya RAMN*, 2010, vol. 30, no. 3, pp. 6–11.
- Panin L.E. *Energeticheskie aspekty adaptatsii* [Energy Aspects of Adaptation]. Leningrad, 1978. 192 p.
- Kaznacheev V.P. *Sovremennye aspekty adaptatsii* [Modern Aspects of Adaptation]. Novosibirsk, 1980. 192 p.
- Boyko E.R. *Fiziologo-biokhimicheskie osnovy zhiznedeyatel'nosti cheloveka na Severe* [Physiological and Biochemical Bases of Human Life in the North]. Yekaterinburg, 2005. 190 p.
- Schwingshackl L., Strasser B., Hoffmann G. Effects of Monounsaturated Fatty Acids on Cardiovascular Risk Factors: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Ann. Nutr. Metab.*, 2011, vol. 59, no. 2-4, pp. 176–186. <https://doi.org/10.1159/000334071>
- Hulbert A.J., Turner N., Storlien L.H., Else P.L. Dietary Fats and Membrane Function: Implications for Metabolism and Disease. *Biol. Rev.*, 2005, vol. 80, no. 1, pp. 155–169. <https://doi.org/10.1017/S1464793104006578>
- Bichkaev A.A., Bichkaeva F.A., Volkova N.I., Shengof B.A. Vozrastnye osobennosti mononenasyshchennykh zhirnykh kislot u zhitel'ey Severa [Age-Related Peculiarities of Monounsaturated Fatty Acids in Residents of the North]. *Vestnik Ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki*, 2014, no. 3, pp. 157–159.
- Bichkaeva F.A., Volkova N.I., Lobanov A.A., Kochkin R.A. Adaptive Aging Changes of Omega-7 Monounsaturated Fatty Acid and Parameters of Carbohydrate Metabolism in Blood of Inhabitants of the North of

Russia. *Vestnik Ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki*, 2018, vol. 15, no. 2, pp. 151–161 (in Russ.). <https://doi.org/10.22138/2500-0918-2018-15-2-151-161>

13. Report “On the State and Protection of the Environment of the Nenets Autonomous Area in 2016”. Naryan-Mar, 2017. Available at: http://cpoos-nao.ru/docs/doklad_o_sostojanii_okrzhajushhej_sredy_v_2016_g..docx (accessed: 10 May 2023) (in Russ.).

14. General Characteristics of the Climate of the Arkhangelsk Region and Nenets Autonomous Area. *Northern Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring*. Available at: <http://www.sevmeteo.ru/files/arh-nao.pdf> (accessed: 10 May 2023) (in Russ.).

15. Badov A.D., Dzhioeva V.D. Prirodnye usloviya i resursy kak vazhneyshiy faktor ustoychivogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Yuzhnoy Osetii [Natural Conditions and Resources as an Important Factor of Sustainable Socio-Economic Development of South Ossetia]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 4: Estestvenno-matematicheskie i tekhnicheskije nauki*, 2017, no. 1, pp. 91–94.

16. Bichkaeva F.A., Baranova N.F., Vlasova O.S., Nesterova E.V., Bichkaev A.A., Shengof B.A., Tretyakova T.V. *Method for Measuring Mass Concentration of Methyl Esters of Fatty Acids in Biological Media by Gas-Liquid Chromatography Method*. Patent RU2758932C1, 2021. 31 p. (in Russ.).

17. Rozhkova T.A., Aripovsky A.V., Yarovaya E.B., Kaminnaya V.I., Kukharchuk V.V., Titov V.N. The Individual Fatty Acids of Blood Plasma: Biological Role of Substrates, Parameters of Quantity and Quality, Diagnostic of Atherosclerosis and Atheromotosis. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika*, 2017, vol. 62, no. 11, pp. 655–665 (in Russ.).

18. Kaminnaya V.I., Rozhkova T.A., Solov'eva E.Yu., Konovalova G.G., Titov V.N., Yarovaya E.B., Chirkovskaya M.V. Vklad individual'nykh zhirnykh kislot plazmy krovi v formirovanie giperlipidemiy aterogennogo geneza u patientsov s serdechno-sosudistymi zabolevaniyami [Contribution of Individual Fatty Acids of Blood Plasma to the Formation of Atherogenic Hyperlipidemia in Patients with Cardiovascular Diseases]. *World Science: Problems and Innovations*. Penza, 2019, pp. 234–238.

19. Medvedev O.S., Medvedeva Z.O. Transizomery zhirnykh kislot kak opasnyy komponent nezdorovogo pitaniya [Trans-Isomer Fatty Acids as a Dangerous Component of Unhealthy Foods]. *Voprosy dietologii*, 2015, vol. 5, no. 2, pp. 54–63.

20. Hirata Y., Nada Y., Yamada Y., Toyama T., Fukunaga K., Hwang G.W., Noguchi T., Matsuzawa A. Elaidic Acid Potentiates Extracellular ATP-Induced Apoptosis via the P2X₇-ROS-ASK1-p38 Axis in Microglial Cell Lines. *Biol. Pharm. Bull.*, 2020, vol. 43, no. 10, pp. 1562–1569. <https://doi.org/10.1248/bpb.b20-00409>

21. Titov V.N., Dygai A.M., Kotlovskiy M.Yu., Kurdoyak Ye.V., Yakimenko A.V., Yakimovich I.Yu., Aksyutina N.V., Kotlovskiy Yu.V. Palmitic and Oleic Acids and Their Role in Pathogenesis of Atherosclerosis. *Bull. Sib. Med.*, 2014, vol. 13, no. 5, pp. 149–159 (in Russ.). <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2014-5-149-159>

22. Titov V.N. Sintez nasyschennykh, monoenovykh, nenasyschennykh i polienovykh zhirnykh kislot v filogeneze. Evolyutsionnye aspekty ateroskleroza [Synthesis of Saturated, Monoenic, Unsaturated and Polyenic Fatty Acids. Evolutionary Aspects of Atherosclerosis]. *Uspekhi sovremennoy biologii*, 2012, vol. 132, no. 2, pp. 181–199.

23. Prakhova T.Ya., Zelenina O.N. Kachestvennaya kharakteristika maslosemyan ozimogo ryzhika [Qualitative Characteristics of Winter Camelina Oilseeds]. *Niva Povolzh'ya*, 2009, no. 3, pp. 84–87.

24. Vetter W., Darwisch V., Lehnert K. Erucic Acid in *Brassicaceae* and Salmon – an Evaluation of the New Proposed Limits of Erucic Acid in Food. *NFS J.*, 2020, vol. 19, pp. 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.03.002>

25. Bremer J., Norum K.R. Metabolism of Very Long-Chain Monounsaturated Fatty Acids (22:1) and the Adaptation to Their Presence in the Diet. *J. Lipid Res.*, 1982, vol. 23, no. 2, pp. 243–256. [https://doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)38153-0](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)38153-0)

26. Sassa T., Kihara A. Metabolism of Very Long-Chain Fatty Acids: Genes and Pathophysiology. *Biomol. Ther. (Seoul)*, 2014, vol. 22, no. 2, pp. 83–92. <https://doi.org/10.4062/biomolther.2014.017>

27. Lewkowicz N., Piątek P., Namiecińska M., Domowicz M., Bonikowski R., Szemraj J., Przygodzka P., Stasiółek M., Lewkowicz P. Naturally Occurring Nervonic Acid Ester Improves Myelin Synthesis by Human Oligodendrocytes. *Cells*, 2019, vol. 8, no. 8. Art. no. 786. <https://doi.org/10.3390/cells8080786>

Поступила в редакцию 27.06.2023 / Одобрена после рецензирования 06.12.2023 / Принята к публикации 08.12.2023.
Submitted 27 June 2023 / Approved after reviewing 6 December 2023 / Accepted for publication 8 December 2023.

Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 1. С. 80–88.
Journal of Medical and Biological Research, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 80–88.

Научная статья
УДК 591.21:612.111.15
DOI: 10.37482/2687-1491-Z170

Изменение ИК-спектров метаболитов энергетического обмена в крови крыс с гепатоцеллюлярной карциномой при воздействии гипертермии и апитоксина

Ольга Владимировна Красникова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4425-1819>
Михаил Александрович Шабалин** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2070-4948>
Ольга Вячеславовна Кондрашина* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9769-5173>
Марина Сергеевна Пискунова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4189-6259>
Анастасия Романовна Кондратьева* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8450-4537>
Наталья Вильяновна Кольтюкова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4341-4476>
Ольга Михайловна Московцева* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9806-5942>

*Приволжский исследовательский медицинский университет
(Нижний Новгород, Россия)

**Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского
(Нижний Новгород, Россия)

Аннотация. Радикальные методы лечения злокачественных новообразований печени удается применить лишь в 10–30 % случаев, поэтому необходимо разрабатывать и совершенствовать консервативные методы. В связи с этим актуальны исследования воздействия гипертермии на усвоение противоопухолевых препаратов и влияния компонентов пчелиного яда как физиологического терапевтического агента на энергетический метаболизм опухолевых клеток. Потенциальным методом изучения изменения показателей энергетического метаболизма в плазме крови можно считать инфракрасную спектроскопию. **Цель** данной работы заключается в оценке изменения концентраций метаболитов энергетического обмена в крови животных-опухоленосителей в условиях гипертермии на фоне действия апитоксина посредством инфракрасной спектроскопии. **Материалы и методы.** Эксперимент проведен на 50 белых нелинейных крысах-самках. Животные были разделены на интактную, контрольную и три опытные группы. Крысам из контрольной и опытных групп была привита гепатоцеллюлярная карцинома. Животным опытных групп вводили внутривенно яд пчелы медоносной, затем проводили сеансы гипертермии при разных температурах (42,5; 43,5 и 44,5 °С). Плазму крови исследовали на спектрофотометре в диапазоне волновых чисел 1170–1025 см⁻¹. **Результаты.** Отмечено статистически значимое увеличение в крови крыс уровня аденозинтрифосфата (на 54 %) и уменьшение содержания аденозинмоно- (на 54 %), аденозиндифосфата (на 18 %) и глюкозы (на 87 %) по отношению к контролю при гипертермии 42,5 °С на фоне действия

Ответственный за переписку: Ольга Владимировна Красникова, адрес: 603005, Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, д. 10/1; e-mail: lala-g@yandex.ru

пчелиного яда к 7-м суткам, однако на 28-е сутки, наоборот, наблюдалось повышение концентраций аденозинмонофосфата, аденозиндифосфата, глюкозы и снижение уровня аденозинтрифосфата. При остальных режимах гипертермии положительной динамики не выявлено. Исследование подтвердило, что метод инфракрасной спектроскопии позволяет оценивать энергетические изменения в организме животного с гепатоцеллюлярной карциномой при разных режимах гипертермии на фоне терапевтического воздействия пчелиного яда. Наиболее оптимальные условия для активного влияния на организм пчелиного яда достигаются при 42,5 °С.

Ключевые слова: злокачественные опухоли печени, гепатоцеллюлярная карцинома, пчелиный яд, лечебная гипертермия, энергетический обмен, инфракрасная спектроскопия плазмы крови.

Для цитирования: Изменение ИК-спектров метаболитов энергетического обмена в крови крыс с гепатоцеллюлярной карциномой при воздействии гипертермии и апитоксина / О. В. Красникова, М. А. Шабалин, О. В. Кондрашина, М. С. Пискунова, А. Р. Кондратьева, Н. В. Кольтюкова, О. М. Москвцева // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 80-88. – DOI: 10.37482/2687-1491-Z170.

Original article

Changes in the IR Spectra of Energy Metabolism Metabolites in the Blood of Rats with Hepatocellular Carcinoma Under the Influence of Hyperthermia and Apitoxin

Ol'ga V. Krasnikova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4425-1819>

Mikhail A. Shabalin** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2070-4948>

Ol'ga V. Kondrashina* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9769-5173>

Marina S. Piskunova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4189-6259>

Anastasiya R. Kondrat'eva* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8450-4537>

Natal'ya V. Kol'tyukova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4341-4476>

Ol'ga M. Moskovtseva* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9806-5942>

*Privolzhsky Research Medical University
(Nizhny Novgorod, Russian Federation)

**National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
(Nizhny Novgorod, Russian Federation)

Abstract. There is a need to develop and improve conservative treatment methods for malignant liver tumours, since only in a small percentage of cases (10–30 %) radical treatments can be applied. Therefore, of relevance are studies into the effect of hyperthermia on the absorption of antitumour drugs and the effect of bee venom as a physiological therapeutic agent on the energy metabolism of tumour cells. Infrared spectroscopy could potentially be used to study changes in energy metabolism parameters in the blood plasma. The **purpose** of this article is to assess changes in the concentrations of energy metabolism metabolites in the blood of tumour-bearing animals during hyperthermia under the action of apitoxin using infrared spectroscopy. **Materials and methods.** The

Corresponding author: Ol'ga Krasnikova, address: pl. Minina i Pozharskogo 10/1, Nizhny Novgorod, 603005, Russian Federation; e-mail: lala-g@yandex.ru

research involved 50 white non-linear female rats, divided into an intact, control and three experimental groups. The control and experimental groups were inoculated with hepatocellular carcinoma. The experimental groups were injected intraperitoneally with honey bee venom followed by hyperthermia sessions at different temperatures (42.5; 43.5 and 44.5 °C). Blood plasma was studied using a spectrophotometer in the wavenumber range of 1170–1025 cm⁻¹. **Results.** We found a statistically significant increase in adenosine triphosphate concentrations (by 54 %) and a decrease in adenosine monophosphate (by 54 %), adenosine diphosphate (by 18 %) and glucose (by 87 %) levels compared to the control at 42.5 °C hyperthermia under the action of bee venom by the 7th day; however, on the 28th day the opposite effect was observed: an increase in adenosine monophosphate, adenosine diphosphate and glucose concentrations and a decrease in adenosine triphosphate levels. No positive dynamic was detected at other hyperthermia regimens. It is concluded that infrared spectroscopy can be used to assess energy changes in animals with hepatocellular carcinoma at different hyperthermia regimens under the therapeutic effect of bee venom. The optimal conditions for bee venom effects on the body are achieved at 42.5 °C.

Keywords: malignant liver tumours, hepatocellular carcinoma, bee venom, hyperthermia therapy, energy metabolism, infrared spectroscopy of blood serum.

For citation: Krasnikova O.V., Shabalin M.A., Kondrashina O.V., Piskunova M.S., Kondrat'eva A.R., Kol'tyukova N.V., Moskovtseva O.M. Changes in the IR Spectra of Energy Metabolism Metabolites in the Blood of Rats with Hepatocellular Carcinoma Under the Influence of Hyperthermia and Apitoxin. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 80–88. DOI: 10.37482/2687-1491-Z170

Лечение гепатоцеллюлярной карциномы – актуальная проблема медицины. Единственным методом радикального лечения злокачественных опухолей печени является оперативное вмешательство, однако провести его удается лишь в 10–30 % случаев. Эффективность традиционных методов лечения гепатоцеллюлярной карциномы – химиотерапии и терапевтической абляции – остается низкой [1]. Выявление нерезектабельных случаев и малоэффективность химиотерапии обуславливают необходимость разработки новых консервативных методов лечения заболевания на последних стадиях, основанных как на применении новых противоопухолевых препаратов, так и на совершенствовании способов их введения [2].

Несомненный интерес представляет положительное влияние тепла на цитостатическую активность противоопухолевых препаратов. Увеличение кровотока и проницаемости клеточной мембраны при повышенной температуре может улучшать усвоение препарата опухолевой тканью [3]. Кроме того, гипертермия

влияет на различные внутриклеточные процессы, такие как иммунный ответ и процессы восстановления ДНК, а также модифицирует жизненно важные для опухолевых клеток условия: васкуляризацию, микроокружение опухоли, доставку кислорода к клеткам [4]. Большинство исследователей отмечают, что опухолевые клетки наиболее чувствительны к нагреванию в температурном диапазоне от 42 до 44 °C [3].

Фармацевтические препараты, применяемые в онкологии для химиотерапии, не всегда имеют достаточную широту терапевтического действия. Дозы, необходимые для достижения противоопухолевого эффекта, находятся на грани концентраций, способных вызвать токсический эффект. Актуальным в этом направлении исследований является поиск комплексных препаратов с физиологически активными веществами, например пчелиным ядом. Положительные эффекты яда в значительной степени связаны с адаптогенными и антиоксидантными свойствами этого зоотоксина [5]. Пчелиный яд, по данным исследований, может быть использован для борьбы с микроорганиз-

мами, воспалительными процессами и онкологическими заболеваниями [6].

Основная часть пчелиного яда – белковые вещества, представленные мелиттином, апамином, дегранулирующим тучные клетки пептидом, адолапином, фосфолипазой А2, также в его состав входят гиалуронидаза, различные аминокислоты и летучие соединения [7]. Пчелиный яд обладает высокой противовоспалительной активностью, устраняет тканевую гипоксию, благодаря чему восстанавливается энергетический статус организма [8–10].

Инфракрасная (ИК) спектроскопия зарекомендовала себя как метод, с помощью которого возможно установить изменения в составе жидкостей и тканей организма, в т. ч. обнаружить опухолевые клетки, маркеры хронических и инфекционных заболеваний, оценить уровни глюкозы, холестерина и других веществ в крови, а также проанализировать метаболический статус пациента [11]. Так, изменение содержания метаболитов энергетического обмена с успехом может быть определено методом ИК-спектроскопии плазмы крови [12].

Таким образом, целью работы стала оценка посредством ИК-спектроскопии изменения концентраций метаболитов энергетического обмена в крови животных-опухоленосителей в условиях гипертермии на фоне действия зоотоксина.

Материалы и методы. Эксперимент выполнен на 50 женских особях белых нелинейных крыс массой 250 ± 20 г. Животные были разделены на группы: интактная; контрольная (особи-опухоленосители, подвергнутые внутрибрюшинному введению 0,5 мл физиологического раствора); опытные (1, 2 и 3-я – особи-опухоленосители, подвергнутые тепловой экспозиции при 42,5; 43,5 и 44,5 °С соответственно на фоне действия зоотоксина).

Опухолевый процесс моделировали путем прививания животным клеточной культуры гепатоцеллюлярной карциномы. Штамм опухолевых клеток был приобретен в Национальном медицинском исследовательском центре

онкологии имени Н.Н. Блохина (Москва). Эксперимент проводился в соответствии с нормативными локальными актами ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России и международными правовыми и этическими нормами использования животных в научных целях.

В качестве зоотоксина был использован яд пчелы медоносной. Яд вводили внутривентриально в дозе 1 мг/кг и объеме 0,5 мл за 10 мин до начала тепловой экспозиции.

Сеансы гипертермии проводили в термокамере, разработанной сотрудниками кафедры физиологии и биохимии человека и животных Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского.

Кровь забирали из подъязычной вены 3 раза: на 1, 7, 28-е сутки от начала терапии. Образцы центрифугировали, затем отбирали плазму, которую подвергали дегидратации в течение 48 ч при комнатной температуре.

Из полученных образцов изготавливали суспензию в вазелиновом масле, которую исследовали методом ИК-спектроскопии. Регистрацию спектров поглощения проводили на спектрофотометре CarlZeiss Jena Specord IR-75 (Германия), в диапазоне волновых чисел $1170\text{--}1025\text{ см}^{-1}$ [12].

С целью исключения корреляции изучаемых показателей и концентрации биоматериала в образце за ИК-спектроскопические параметры принимали частные, полученные в результате деления высот пиков полос поглощения друг на друга: $X = 1165/1070$; $Y = 1165/1150$; $Z = 1165/1125$. По атласу ИК-спектроскопии¹ значению 1125 см^{-1} соответствует глюкоза. Согласно исследованию [13], в качестве фосфорсодержащих органических соединений могут определяться нуклеозидтри-(ди-, моно-)фосфорные кислоты и их производные, а именно: аденозинтрифосфат (АТФ), аденозиндифосфат (АДФ), аденозинмонофосфат (АМФ), с соответствующими максимумами при 1165, 1150, 1070 см^{-1} .

¹Luff N.A.J. Working Atlas of Infrared Spectroscopy. Boston, 1978. 73 p.

Обработка данных производилась с помощью пакетов прикладных программ Statistica 6.0 и Microsoft Excel с применением методов одномерной статистики. Полученные данные представляли в виде $M \pm m$, где M – среднее арифметическое; m – стандартное отклонение. Статистическую значимость различий средних значений определяли с использованием t -критерия Стьюдента. Выборки считали принадлежащими к разным генеральным совокупностям при $p \leq 0,05$.

Результаты. Полученные данные (см. таблицу, рисунок) свидетельствуют о том, что в плазме крови крыс контрольной группы параметры X , Y , Z в среднем статистически значимо ниже (на 63,6; 24,3 и 44,5 % соответственно) в сравнении с интактными животными ($p \leq 0,05$). Таким образом, можно говорить об увеличении уровней АМФ, АДФ и снижении концентрации АТФ у животных-опухоленосителей по отношению к здоровым.

Ранее проведенными исследованиями показано, что при неопластических процессах

повышается содержание глюкозы в плазме крови. Это объясняется тем, что кровь, являясь переносчиком, доставляет глюкозу из клеток, не затронутых неоплазией, в опухолевую ткань [14]. По результатам нашего эксперимента выявлено снижение в образцах контрольных крыс высоты пика полосы поглощения 1165/1125 с $1,37 \pm 0,05$ до $0,76 \pm 0,03$, что позволяет сделать вывод об увеличении концентрации глюкозы в плазме крови и при гепатоцеллюлярной карциноме.

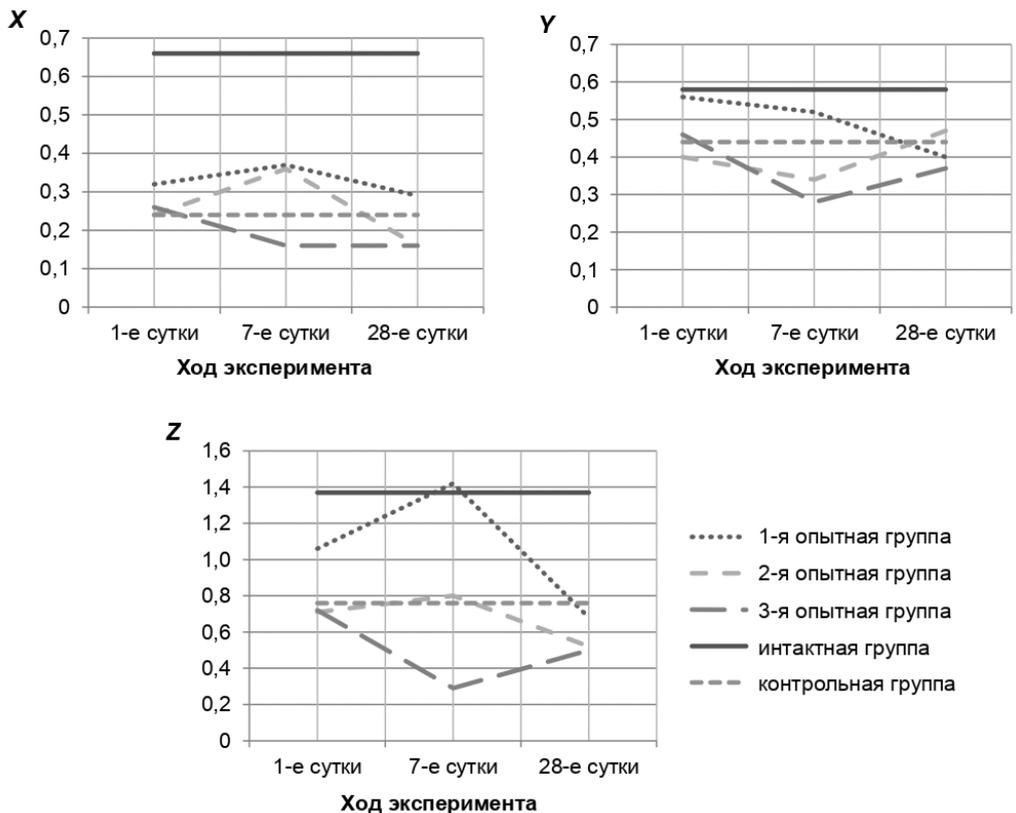
При проведении эксперимента был отмечен статистически значимый рост параметров X , Y , Z (на 54, 18 и 87 % соответственно) по отношению к контролю при гипертермии $42,5$ °C на фоне действия пчелиного яда к 7-м суткам, однако на 28-е сутки параметры резко снизились, что означает увеличение концентрации АМФ (на 22 %), АДФ (на 23 %), глюкозы (на 52 %) и снижение уровня АТФ (на 22 %).

При гипертермии $43,5$ °C и воздействии пчелиного яда в плазме крови повышается содержание АМФ (на 33 %), глюкозы (на 32 %),

Сравнительный анализ параметров ИК-спектров плазмы крови разных групп крыс в процессе эксперимента Comparative analysis of IR spectra parameters in the blood plasma from different groups of rats during the experiment

Группа	Отношение полос поглощения		
	X (1165/1070)	Y (1165/1150)	Z (1165/1125)
Интактная	0,66±0,03	0,58±0,04	1,37±0,05
Контрольная	0,24±0,03*	0,44±0,03*	0,76±0,03*
1-я опытная:			
1-е сутки	0,32±0,02**	0,56±0,02**	1,06±0,03**
7-е сутки	0,37±0,02**	0,52±0,02**	1,42±0,02**
28-е сутки	0,29±0,03	0,40±0,02	0,68±0,03**
2-я опытная:			
1-е сутки	0,24±0,02	0,40±0,01	0,71±0,02
7-е сутки	0,36±0,03**	0,34±0,02	0,80±0,02
28-е сутки	0,16±0,02**	0,47±0,03	0,52±0,02**
3-я опытная:			
1-е сутки	0,26±0,03	0,46±0,02	0,72±0,02
7-е сутки	0,16±0,02**	0,28±0,03**	0,29±0,04**
28-е сутки	0,16±0,02**	0,37±0,03**	0,50±0,03**

Примечание. Различия статистически значимы ($p \leq 0,05$): * – по сравнению с группой интактных животных; ** – по сравнению с группой контрольных животных.



Динамика средних значений параметров ИК-спектров плазмы крови крыс в процессе эксперимента

Dynamics of average values of IR spectra parameters in rat blood plasma during the experiment

снижается уровень АДФ (на 7 %) и АТФ (на 33 %) к 28-м суткам.

Данные исследования также показали, что на фоне введения апитоксина при гипертермии на уровне 44,5 °С у экспериментальных животных к 28-м суткам в плазме крови увеличивается содержание АМФ (на 33 %), АДФ (на 16 %), глюкозы (на 34 %) на фоне снижения содержания АТФ (на 33 %).

Обсуждение. В 1-й опытной группе (гипертермия 42,5 °С) на 7-е сутки эксперимента наблюдается наибольший положительный терапевтический эффект. Параметры ИК-спектра максимально приближаются к значениям нормы, а значит, уровень метаболитов и сам энер-

гообмен в целом соответствуют оптимальным значениям.

Длительное воздействие гипертермии приводит к усугублению стрессовой ситуации для животных-опухоленосителей. То же можно сказать и о применении гипертермии при температурах 43,5 и 44,5 °С, которые также не дают положительного терапевтического эффекта, при этом уровни значимых метаболитов имеют отрицательную динамику.

Несмотря на использование в экспериментах различных штаммов опухоли для создания моделей онкогенеза разных органов, изменения метаболитов энергетического обмена в плазме крови животных-опухоле-

носителей однотипны. Это показано в таких исследованиях, как [15, 16], где при использовании штаммов лимфосаркомы Плисса, гепатомы Зайделя тенденция изменения параметров ИК-спектров плазмы крови абсолютно идентична.

Итак, метод ИК-спектроскопии позволяет оценивать энергетические нарушения в организме животного с гепатоцеллюлярной карциномой при разных режимах гипертермии на фоне терапевтического воздействия пчелиного яда. Установлено, что тепловая нагрузка при

42,5 °С дает самые высокие положительные изменения содержания метаболитов энергообмена в организме животного с неоплазией на ранних сроках эксперимента. Значит, наиболее оптимальные условия для активного воздействия на организм пчелиного яда достигаются именно при таком режиме гипертермии. Более поздние сроки злокачественного процесса печени и более высокие температурные режимы усугубляют общий стресс в организме животного, и терапевтические свойства апитоксина снижаются.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

1. Anwanwan D., Singh S.K., Singh S., Saikam V., Singh R. Challenges in Liver Cancer and Possible Treatment Approaches // *Biochim. Biophys. Acta Rev. Cancer*. 2020. Vol. 1873, № 1. Art. № 188314. <https://doi.org/10.1016/j.bbcan.2019.188314>
2. Alqahtani A., Khan Z., Alloghbi A., Said Ahmed T.S., Ashraf M., Hammouda D.M. Hepatocellular Carcinoma: Molecular Mechanisms and Targeted Therapies // *Medicina (Kaunas)*. 2019. Vol. 55, № 9. Art. № 526. <https://doi.org/10.3390/medicina55090526>
3. Ademaj A., Veltsista D.P., Ghadjar P., Marder D., Oberacker E., Ott O.J., Wust P., Puric E., Hälgl R.A., Rogers S., Bodis S., Fietkau R., Crezee H., Rieserer O. Clinical Evidence for Thermometric Parameters to Guide Hyperthermia Treatment // *Cancers (Basel)*. 2022. Vol. 14, № 3. Art. № 625. <https://doi.org/10.3390/cancers14030625>
4. Crezee J., Franken N.A.P., Oei A.L. Hyperthermia-Based Anti-Cancer Treatments // *Cancers (Basel)*. 2021. Vol. 13, № 6. Art. № 1240. <https://doi.org/10.3390/cancers13061240>
5. Дыдыкина В.Н., Ерёмкина Ю.Д., Корягин А.С., Смирнов В.П., Смирнова Л.А. Влияние наноструктурированных систем «Хитозан-наночастицы золота», «Хитозан-пчелиный яд-наночастицы золота» на структуру и массу опухоли, перекисное окисление липидов и функциональное состояние крыс с опухолью РС-1 // *Мед. альм.* 2016. № 2(42). С. 133–137.
6. Khalil A., Elesawy B.H., Ali T.M., Ahmed O.M. Bee Venom: From Venom to Drug // *Molecules*. 2021. Vol. 26, № 16. Art. № 4941. <https://doi.org/10.3390/molecules26164941>
7. Wehbe R., Frangieh J., Rima M., El Obeid D., Sabatier J.-M., Fajloun Z. Bee Venom: Overview of Main Compounds and Bioactivities for Therapeutic Interests // *Molecules*. 2019. Vol. 24, № 16. Art. № 2997. <https://doi.org/10.3390/molecules24162997>
8. Суханова Л.В., Канарский А.В. Биологическая ценность пчелинового яда // *Вестн. технол. ун-та*. 2016. Т. 19, № 8. С. 145–150.
9. Короткевич И.Г., Бородин О.И. Структурно-функциональные свойства и биологическая активность мелитина из яда пчел // *Тр. Белорус. гос. ун-та. Сер.: Физиол., биохим. и молекуляр. основы функционирования биосистем*. 2016. Т. 11, ч. 1. С. 101–109.
10. Бутенко Л.И., Кулешова С.А., Подгорная Ж.В., Мыкоц Л.П., Дмитриев А.Б. Физико-химические исследования пчелиного яда и продуктов на его основе // *Фармация и фармакология*. 2018. Т. 6, № 4. С. 351–366. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2018-6-4-351-366>
11. Kochan K., Bedolla D.E., Perez-Guaita D., Adegoke J.A., Chakkumpulakkal Puthan Veetil T., Martin M., Roy S., Pebotuwa S., Heraud P., Wood B.R. Infrared Spectroscopy of Blood // *Appl. Spectrosc.* 2021. Vol. 75. P. 611–646. <https://doi.org/10.1177/0003702820985856>

12. Гордецов А.С. Инфракрасная спектроскопия биологических жидкостей и тканей // *Соврем. технологии в медицине*. 2010. № 1. С. 84–98.

13. Красникова О.В. Физиологический анализ инфракрасных спектров плазмы крови животных в норме и при экспериментальном онкогенезе: дис. ... канд. биол. наук. Н. Новгород, 2012. 133 с.

14. Ancey P.-B., Contat C., Meylan E. Glucose Transporters in Cancer – from Tumor Cells to the Tumor Microenvironment // *FEBS J*. 2018. Vol. 285. P. 2926–2943. <https://doi.org/10.1111/febs.14577>

15. Красникова О.В., Гордецов А.С., Крылов В.Н. Изменение параметров ИК-спектров плазмы крови животных-опухоленосителей на фоне введения биологически активных добавок // *Соврем. технологии в медицине*. 2011. № 4. С. 18–21.

16. Красникова О.В., Гордецов А.С., Контрощикова К.Н., Крылов В.Н., Сазанов А.И. Изменение параметров ИК-спектров плазмы крови животных-опухоленосителей на фоне комплексного введения доксорубина и озона // *Вестн. Нижегород. ун-та им. Н.И. Лобачевского*. 2011. № 5-1. С. 105–109.

References

1. Anwanwan D., Singh S.K., Singh S., Saikam V., Singh R. Challenges in Liver Cancer and Possible Treatment Approaches. *Biochim. Biophys. Acta Rev. Cancer*, 2020, vol. 1873, no. 1. Art. no. 188314. <https://doi.org/10.1016/j.bbcan.2019.188314>

2. Alqahtani A., Khan Z., Alloghbi A., Said Ahmed T.S., Ashraf M., Hammouda D.M. Hepatocellular Carcinoma: Molecular Mechanisms and Targeted Therapies. *Medicina (Kaunas)*, 2019, vol. 55, no. 9. Art. no. 526. <https://doi.org/10.3390/medicina55090526>

3. Ademaj A., Veltsista D.P., Ghadjar P., Marder D., Oberacker E., Ott O.J., Wust P., Puric E., Hälg R.A., Rogers S., Bodis S., Fietkau R., Crezee H., Riesterer O. Clinical Evidence for Thermometric Parameters to Guide Hyperthermia Treatment. *Cancers (Basel)*, 2022, vol. 14, no. 3. Art. no. 625. <https://doi.org/10.3390/cancers14030625>

4. Crezee J., Franken N.A.P., Oei A.L. Hyperthermia-Based Anti-Cancer Treatments. *Cancers (Basel)*, 2021, vol. 13, no. 6. Art. no. 1240. <https://doi.org/10.3390/cancers13061240>

5. Dydykina V.N., Eremina Yu.D., Koryagin A.S., Smirnov V.P., Smirnova L.A. Vliyanie nanostrukturirovannykh sistem “Khitozan-nanochastitsy zolota”, “Khitozan-pchelinyy yad-nanochastitsy zolota” na strukturu i massu opukholi, perekisnoe okislenie lipidov i funktsional’noe sostoyanie krysa s opukhol’yu RS-1 [Influence of Nanostructures Systems of “Chitosan-Gold Nanoparticles”, “Chitosan-Apitoxin-Gold Nanoparticles” on the Structure and Mass of the Tumor, Peroxidation of Lipids and Functional State of Rats Having RS-1 Tumor]. *Meditinskiy al'manakh*, 2016, no. 2, pp. 133–137.

6. Khalil A., Elesawy B.H., Ali T.M., Ahmed O.M. Bee Venom: From Venom to Drug. *Molecules*, 2021, vol. 26, no. 16. Art. no. 4941. <https://doi.org/10.3390/molecules26164941>

7. Wehbe R., Frangieh J., Rima M., El Obeid D., Sabatier J.-M., Fajloun Z. Bee Venom: Overview of Main Compounds and Bioactivities for Therapeutic Interests. *Molecules*, 2019, vol. 24, no. 16. Art. no. 2997. <https://doi.org/10.3390/molecules24162997>

8. Sukhanova L.V., Kanarskiy A.V. Biologicheskaya tsennost' pchelinovogo yada [Biological Value of Bee Venom]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, vol. 19, no. 8, pp. 145–150.

9. Korotkevich I.G., Borodin O.I. Strukturno-funktsional'nye svoystva i biologicheskaya aktivnost' melitina iz yada pchel [Structure-Function Properties and Biological Activity of Melittine from Honey Bee Venom]. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Fiziologicheskie, biokhimicheskie i molekulyarnye osnovy funktsionirovaniya biosistem*, 2016, vol. 11, pt. 1, pp. 101–109.

10. Butenko L.I., Kuleshova S.A., Podgornaya J.V., Myikots L.P., Dmitriev A.B. Physico-Chemical Studies of Apitoxin and Products on Its Basis. *Pharm. Pharmacol.*, 2018, vol. 6, no. 4, pp. 351–366 (in Russ.). <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2018-6-4-351-366>

11. Kochan K., Bedolla D.E., Perez-Guaita D., Adegoke J.A., Chakkumpulakkal Puthan Veetil T., Martin M., Roy S., Pebotuwa S., Heraud P., Wood B.R. Infrared Spectroscopy of Blood. *Appl. Spectrosc.*, 2021, vol. 75, no. 6, pp. 611–646. <https://doi.org/10.1177/0003702820985856>

12. Gordetsov A.S. Infrazrasnaya spektroskopiya biologicheskikh zhidkostey i tkaney [Infrared Spectroscopy of Biological Fluids and Tissues]. *Sovremennye tekhnologii v meditsine*, 2010, no. 1, pp. 84–98.

13. Krasnikova O.V. *Fiziologicheskiy analiz infrakrasnykh spektrov plazmy krovi zivotnykh v norme i pri eksperimental'nom onkogeneze* [Physiological Analysis of Infrared Spectra of Animal Blood Plasma in Health and in Experimental Oncogenesis: Diss.]. Nizhny Novgorod, 2012. 133 p.

14. Ancey P.-B., Contat C., Meylan E. Glucose Transporters in Cancer – from Tumor Cells to the Tumor Microenvironment. *FEBS J.*, 2018, vol. 285, no. 16, pp. 2926–2943. <https://doi.org/10.1111/febs.14577>

15. Krasnikova O.V., Gordetsov A.S., Krylov V.N. *Izmenenie parametrov IK-spektrov plazmy krovi zivotnykh-opukholenositeley na fone vvedeniya biologicheskii aktivnykh dobavok* [The Change in the Parameters of Blood Plasma Infrared Spectra of Animals-Carriers of Tumours Against the Background of Dietary Supplement Administration]. *Sovremennyye tekhnologii v meditsine*, 2011, no. 4, pp. 18–21.

16. Krasnikova O.V., Gordetsov A.S., Kontorshchikova K.N., Krylov V.N., Sazanov A.I. *Izmenenie parametrov IK-spektrov plazmy krovi zivotnykh-opukholenositeley na fone kompleksnogo vvedeniya doksorubitsina i ozona* [The Change in Parameters of Blood Plasma IR Spectra of Tumour-Bearing Animals on the Background of Doxorubicin and Ozone Complex Administration]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*, 2011, no. 5-1, pp. 105–109.

Поступила в редакцию 15.11.2022 / Одобрена после рецензирования 16.10.2023 / Принята к публикации 23.10.2023.
Submitted 15 November 2022 / Approved after reviewing 16 October 2023 / Accepted for publication 23 October 2023.



Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 1. С. 89–98.
Journal of Medical and Biological Research, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 89–98.

Научная статья

УДК 615.099.036.88+314.4(470.1/.2)

DOI: 10.37482/2687-1491-Z171

Тенденции смертности от внешних причин населения Европейского Севера за 2010–2021 годы

Анатолий Леонидович Санников* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5856-8051>

Евгения Валерьевна Грищенко* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9897-4094>

Дарья Алексеевна Семерикова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7177-341X>

Елизавета Владимировна Соломатина* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0497-5548>

*Северный государственный медицинский университет
(Архангельск, Россия)

Аннотация. Целью исследования стала оценка состояния и выявление особенностей смертности населения вследствие внешних причин в Архангельской области, Ненецком автономном округе и Республике Коми за период 2010–2021 годов. **Материалы и методы.** Сведения о случаях смертности от внешних причин в исследуемых регионах за указанный период взяты из баз данных статистического мониторинга Российской Федерации – Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС), с официальных сайтов Госавтоинспекции Министерства внутренних дел Российской Федерации, Федеральной службы государственной статистики. В исследовании применялись информационно-аналитический и математико-статистический методы. **Результаты.** За изученные 12 лет на территории Архангельской области отмечается стойкая тенденция к снижению смертности вследствие дорожно-транспортных происшествий, однако средние показатели смертности остаются на более высоком уровне по сравнению с Ненецким автономным округом и Республикой Коми. В анализируемый период наиболее высокий уровень суицидов среди регионов наблюдается в Ненецком автономном округе – в среднем 44 случая на 100 тыс. населения ежегодно, тогда как в Республике Коми и Архангельской области этот показатель ниже на 30 % и составляет 30,8 и 30,7 случая на 100 тыс. населения соответственно. Изучение полученных данных выявило более благоприятную обстановку в Архангельской области, Ненецком автономном округе и Республике Коми по смертности вследствие убийств, отмечается существенное снижение показателей с 2010 по 2021 год. За это же время произошло уменьшение смертности от случайного отравления алкоголем в изученных регионах, однако средние показатели остаются выше общероссийского: 23,8; 12,2 и 26,1 случая на 100 тыс. населения в Архангельской области, Ненецком автономном округе и Республике Коми соответственно. Динамика смертности от травм на производстве в указанных регионах за 12 лет незначительна и в целом соответствует общероссийской.

Ключевые слова: смертность, самоубийства, случайные отравления алкоголем, дорожно-транспортный травматизм, несчастные случаи на производстве, Архангельская область, Ненецкий автономный округ, Республика Коми.

Ответственный за переписку: Елизавета Владимировна Соломатина, адрес: 163069, г. Архангельск, просп. Троицкий, д. 51; e-mail: selizavetv16@yandex.ru

Для цитирования: Тенденции смертности от внешних причин населения Европейского Севера за 2010–2021 годы / А. Л. Санников, Е. В. Грищенкова, Д. А. Семерикова, Е. В. Соломатина // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 89–98. – DOI: 10.37482/2687-1491-Z171.

Original article

Trends in Mortality from External Causes in the Population of the European North of Russia for 2010–2021

Anatoliy L. Sannikov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5856-8051>
Evgeniya V. Grishchenkova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9897-4094>
Dar'ya A. Semerikova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7177-341X>
Elizaveta V. Solomatina* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0497-5548>

*Northern State Medical University
(Arkhangelsk, Russian Federation)

Abstract. The **purpose** of this research was to assess the status and identify the specific features of population mortality from external causes in the Arkhangelsk Region, Nenets Autonomous Area and Komi Republic for the period of 2010–2021. **Materials and methods.** Information about external cause mortality in the above regions for the period under study was obtained from the statistical monitoring databases of the Russian Federation – Unified Interdepartmental Statistical Information System – as well as from the official websites of the Main Directorate for Traffic Safety of the Ministry of Internal Affairs of Russia, and Federal State Statistics Service. Mathematical-statistical and information-analytical methods were used in the paper. **Results.** In 2010–2021, the Arkhangelsk Region saw a steady downward trend in road traffic mortality; however, its average mortality rates remained at a higher level compared to the Nenets Autonomous Area and Komi Republic. During the period under study, the highest suicide rate among the regions was observed in the Nenets Autonomous Area: an average of 44 cases per 100,000 population annually, while in the Komi Republic and Arkhangelsk Region it was 30 % lower, i.e., 30.8 and 30.7 cases per 100,000 population, respectively. A better situation was observed in terms of homicide mortality, which decreased significantly between 2010 and 2021 in the regions under study. During the same period, mortality rates due to accidental alcohol poisoning dropped in all three regions; however, the average rate remained higher than the national average: 23.8, 12.2 and 26.1 cases per 100,000 population in the Arkhangelsk Region, Nenets Autonomous Area and Komi Republic, respectively. Dynamics of mortality from occupational injuries over the 12 years in the regions under study is insignificant and overall is similar to the national dynamics.

Keywords: mortality, suicide, accidental alcohol poisoning, road traffic injuries, work-related accidents, Arkhangelsk Region, Nenets Autonomous Area, Komi Republic.

For citation: Sannikov A.L., Grishchenkova E.V., Semerikova D.A., Solomatina E.V. Trends in Mortality from External Causes in the Population of the European North of Russia for 2010–2021. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 89–98. DOI: 10.37482/2687-1491-Z171

Corresponding author: Elizaveta Solomatina, address: prosp. Troitskiy 51, Arkhangelsk, 163069, Russian Federation; e-mail: selizavetv16@yandex.ru

Лидирующие позиции в структуре смертности лиц трудоспособного возраста в настоящее время занимают внешние причины – самоубийства, дорожно-транспортные происшествия (ДТП), отравления алкоголем, убийства, производственный травматизм. Во всем мире ведущее место среди причин смертности от травм принадлежит ДТП. Согласно данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ), 25 % всех случаев смерти от внешних причин составляют ДТП [1].

По статистике автодорожных происшествий, Российская Федерация (РФ) занимает 72-е место из 175 стран и 1-е место в Европе и США [2]. Ежегодно в РФ потеря жизненного потенциала в результате ДТП составляет около 20 тыс. чел. и порядка 220 тыс. чел. получают травмы различной степени тяжести [3]. Несмотря на то, что в данный момент наблюдается неуклонное снижение травматизма и смертности в результате ДТП, нельзя отрицать, что это приводит к значительному социальному и экономическому ущербу общественному здоровью.

Мировая статистика причин смертности демонстрирует, что каждый год более 700 тыс. чел. кончают жизнь самоубийством, а попытки лишить себя жизни совершает значительно большее число людей. РФ находится среди стран-лидеров в мире по числу самоубийств: ежегодно около 50 тыс. чел. избирают добровольную смерть [4, с. 3–5]. Архангельская область (АО) занимает одно из первых мест по уровню смертности от самоубийств среди регионов РФ (показатель в 1,8–1,5 раза выше общероссийского, по данным 1975–2000 годов), при этом на отдельных территориях области наблюдаются катастрофически высокие показатели суицидальной смертности [5].

Согласно данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС, <https://www.fedstat.ru>), в мире ежегодно в результате насилия погибает примерно 1,6 млн чел. – 28,8 на 100 тыс. чел. Около 1/3 этих смертей – убийства, 5-я часть – гибель в результате вооруженных конфликтов.

РФ находится на 4-м месте в мире по количеству преднамеренных убийств – 9,2 случая на 100 тыс. населения.

Согласно данным ВОЗ, в результате вредного употребления алкоголя ежегодно во всем мире умирает 3,3 млн чел., это 5,9 % всех случаев смерти [6]. В России, согласно государственной статистике (Росстат), число умерших от причин, связанных с употреблением алкоголя, в 2020 году составило более 50,4 тыс. чел. [7, с. 7].

Таким образом, указанную тему можно рассматривать как одну из наиболее актуальных и сложных в современном здравоохранении России и большинства стран мира. На Европейском Севере России имеется комплекс негативных кумулирующих факторов риска (климатогеографических, профессиональных, поведенческих и т. д.) по отношению к внешним причинам смерти, что обусловило проведение настоящего исследования, целью которого стала оценка состояния и выявление особенностей смертности населения вследствие внешних причин в регионах Европейского Севера России за 12-летний период (2010–2021 годы). В качестве объектов изучения были выбраны АО, Ненецкий автономный округ (НАО) и Республика Коми (РК), составляющие 68,6 % территории и 29,3 % населения Европейского Севера России.

Материалы и методы. Сведения о смертности вследствие внешних причин в АО, НАО и РК за 2010–2021 годы взяты из баз данных статистического мониторинга РФ – ЕМИСС (<https://www.fedstat.ru>), с официальных сайтов Госавтоинспекции Министерства внутренних дел (МВД) РФ (<https://гибдд.пф>), Федеральной службы государственной статистики (<https://rosstat.gov.ru>). Применялись математико-статистический и информационно-аналитический методы. Данные обрабатывались при помощи пакета Microsoft Excel. Для оценки и иллюстрации тенденций использовалась полиномиальная линия 2-го порядка. Также рассчитывался коэффициент достоверности аппроксимации R^2 , значения которого свидетельствуют о сте-

пени совпадения расчетной линии с данными, для сравнения исследуемых показателей достоверным считался интервал 95 %.

Результаты. При анализе потерь населения изученных регионов в результате смертности от внешних причин установлено, что суицид занимает 1-е место. При этом наиболее высокий уровень суицидов отмечен в НАО (см. *таблицу*), где среднее количество самоубийств за период 2010–2021 годов в перерасчете на 100 тыс. населения составляет 44 случая ежегодно, тогда как в РК и АО данный показатель ниже на 30 % – 30,8 и 30,7 случая соответственно. Также в 2021 году на территории НАО, на фоне постепенного снижения уровня самоубийств с 2010 по 2020 год, наблюдается значительный подъем данного показателя (на 30 % – с 22,6 случая в 2020 году до 31,5 случая в 2021 году).

Несмотря на постоянное уменьшение суицидального показателя в РК и АО (в 1,5 раза за

12-летний период), в последние годы он все же сохраняется на высоком уровне – 23,6 и 25,0 случая на 100 тыс. населения соответственно, в то время как, по данным ЕМИСС, за 2010–2021 годы в среднем по России он равняется лишь 16,3 случая на 100 тыс. населения.

Согласно сведениям Федеральной службы государственной статистики и Госавтоинспекции МВД РФ, в течение изученных 12 лет на территории АО смертность от ДТП имела стойкую тенденцию к снижению, что наглядно можно проследить по *рис. 1*. Так, с 2010 по 2021 год она уменьшилась на 47,5 % (в 2010 году число лиц, погибших в ДТП, составило 16,2 чел., а в 2021 году – 8,5 чел. на 100 тыс. населения), однако средний показатель смертности в ДТП за указанный период в АО равнялся 13,6 чел. на 100 тыс. населения, в то время как в смежных регионах – РК и НАО – оказался ниже (12,6 и 8,5 чел. на 100 тыс. населения соответственно).

Динамика смертности по причине суицидов (число случаев на 100 тыс. населения) в Архангельской области, Ненецком автономном округе и Республике Коми за 2010–2021 годы

Dynamics of suicide mortality (cases per 100,000 population) in the Arkhangelsk Region, Nenets Autonomous Area and Komi Republic for 2010–2021

Год	Республика Коми	Ненецкий автономный округ	Архангельская область
2010	37,6	75,5	37,8
2011	36,6	67,9	38,6
2012	39,2	58,7	35,0
2013	31,9	51,3	34,0
2014	33,5	41,7	29,8
2015	33,0	43,6	32,5
2016	30,7	34,1	30,6
2017	28,6	40,8	26,2
2018	26,9	31,7	27,0
2019	24,5	29,6	25,8
2020	23,4	22,6	26,0
2021	23,6	31,5	25,0
Среднее за 2010–2021 годы	30,8	44,0	30,7
Среднее по РФ за 2010–2021 годы	16,3		

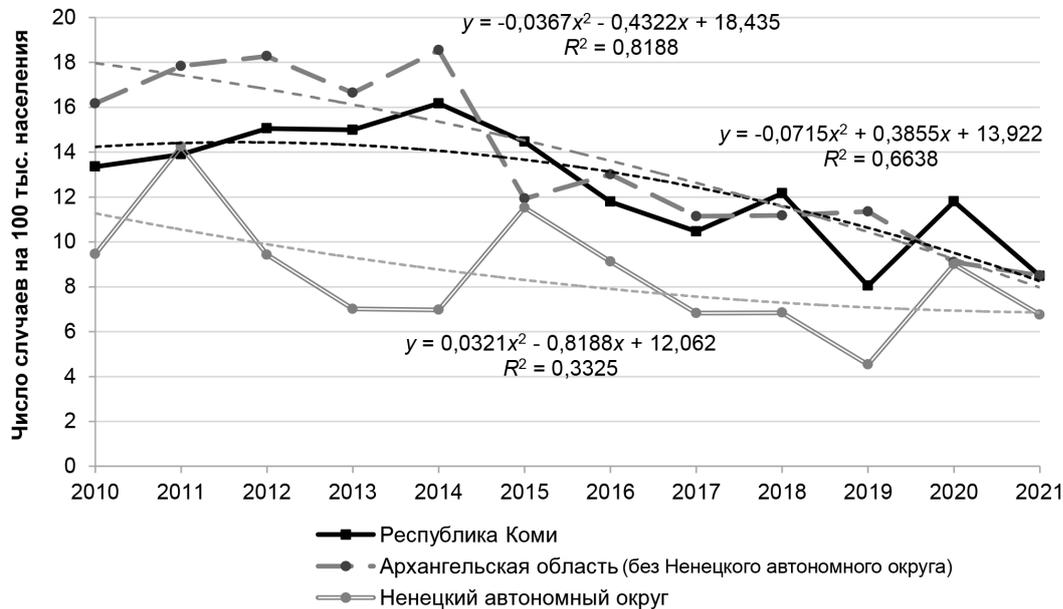


Рис. 1. Динамика смертности по причине транспортных несчастных случаев в Архангельской области, Ненецком автономном округе и Республике Коми за 2010–2021 годы

Fig. 1. Dynamics of road traffic mortality in the Arkhangelsk Region, Nenets Autonomous Area and Komi Republic for 2010–2021 (cases per 100,000 population)

За 2010–2021 годы число умерших в РФ по основным видам внешних причин в целом составляет 1408 чел. на 100 тыс. населения, при этом доля смертности населения по причине убийств за изучаемый период, по данным ЕМИСС, – 6,78 %.

В НАО за 2010–2021 годы смертность вследствие убийств суммарно снизилась на 71,52 % – с 23,70 случая на 100 тыс. населения в 2010 году до 6,75 случая на 100 тыс. населения в 2021 году (рис. 2, см. с. 94). В 2013 и 2015 годах она достигла максимальных значений – 32,60 и 29,81 случая на 100 тыс. населения соответственно, после чего отмечен резкий спад. За период 2020–2021 годов наблюдался прирост смертности по данной причине в 1,5 раза. Тем не менее средний показатель смертности населения от убийств за 12 лет в НАО составляет 16,8 случая на 100 тыс. населения, что в 2,1 раза превышает общероссийский (7,96 случая на 100 тыс. населения).

Анализ потерь в АО показал, что распространенность смерти вследствие убийств за 2010–2021 годы уменьшилась в 2,6 раза – с 18,60 до 7,14 случая на 100 тыс. населения. За 12-летний период средний показатель убийств в АО – 11,7 случая на 100 тыс. населения – является наименьшим среди анализируемых регионов, но также превышает средний по РФ показатель смертности по причине убийств.

В РК в целом прослеживается тенденция к неуклонному снижению показателя потерь вследствие убийств, за период 2010–2021 годов оно составило 63 %: в 2010 году – 23,40 случая на 100 тыс. населения, в 2021 году – 8,66 случая на 100 тыс. населения. Средний показатель смертности по причине убийств в регионе – 15,80 случая на 100 тыс. населения.

В ходе работы выявлена существенная разница между показателями смертности вследствие убийств среди городского и сельского населения в анализируемых субъектах. Так,

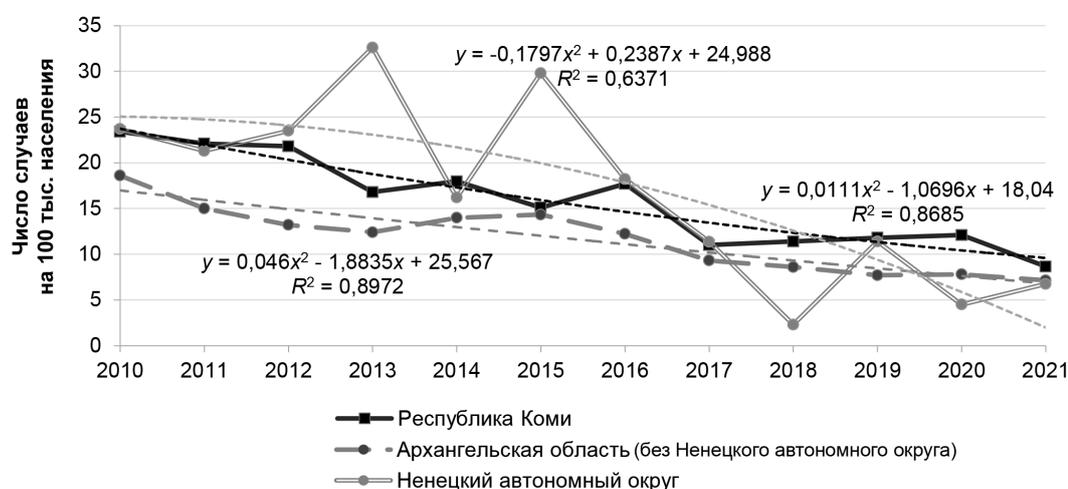


Рис. 2. Динамика смертности по причине убийств в Архангельской области, Ненецком автономном округе и Республике Коми за 2010–2021 годы

Fig. 2. Dynamics of homicide mortality in the Arkhangelsk Region, Nenets Autonomous Area and Komi Republic for 2010–2021 (cases per 100,000 population)

в 2021 году в НАО и РК частота потерь вследствие убийств среди сельского населения более высокая, чем среди городского: 8,80 и 12,02 случая на 100 тыс. сельского населения, 6,04 и 7,73 случая на 100 тыс. городского населения соответственно, при этом показатели сельского населения – ниже средних по регионам за изучаемый период. В АО частота убийств среди городских жителей в 1,9 раза выше, чем среди сельских: 7,93 случая на 100 тыс. городского населения и 4,19 случая на 100 тыс. сельского населения.

Случайные отравления алкоголем составляют значительную часть потерь вследствие внешних причин в АО, НАО и РК. Группой риска смертности по данной причине являются мужчины, как и в отношении других внешних причин [8].

В НАО смертность вследствие случайного отравления алкоголем постепенно снижалась в 2010–2021 годах (рис. 3) – с 33,25 до 2,25 случая на 100 тыс. населения, несмотря на то, что показатели значительно варьировали от года к году. Обращает на себя внимание и то, что в 2019 и 2020 годах показатель потерь от случайного отравления алкоголем

составил 0 случаев на 100 тыс. населения. На основе проанализированных данных выведен средний показатель смертности в НАО – 12,2 случая на 100 тыс. населения, который выше общероссийского (9,3 случая на 100 тыс. населения).

В РК в целом отмечается уменьшение смертности по причине случайного отравления алкоголем на 68,42 % – с 37,21 случая на 100 тыс. населения в 2010 году до 11,75 случая на 100 тыс. населения в 2021 году. Несмотря на снижение потерь от случайного отравления алкоголем, средний показатель смертности за отчетный период составил 26,1 случая на 100 тыс. населения и является самым высоким среди рассматриваемых регионов.

В АО прослеживается общая тенденция к снижению потерь вследствие случайного отравления алкоголем, однако с 2016 года темпы незначительно замедлились, при этом по большей части сохранялся наибольший уровень данного показателя среди анализируемых субъектов. Средний показатель смертности по причине отравлений алкоголем в области – 23,8 случая на 100 тыс. населения.

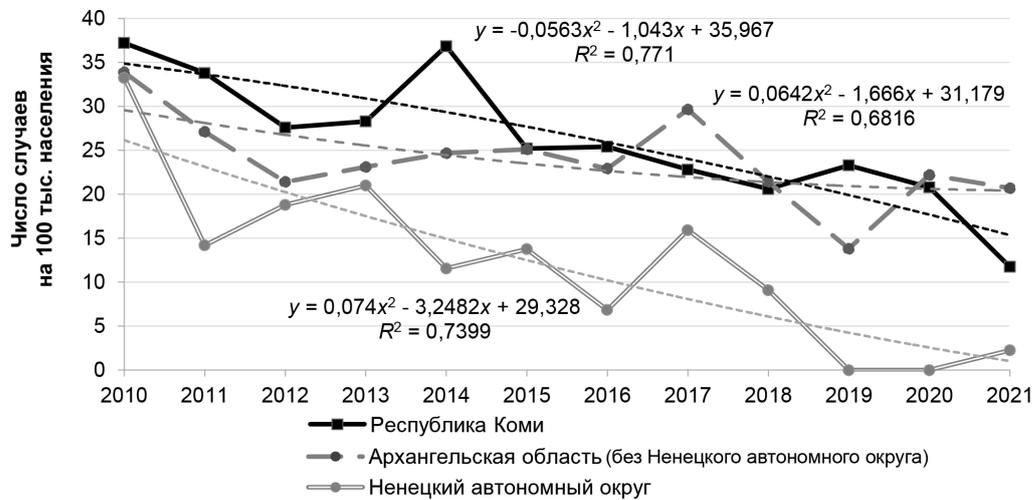


Рис. 3. Динамика смертности по причине случайного отравления алкоголем в Архангельской области, Ненецком автономном округе и Республике Коми за 2010–2021 годы

Fig. 3. Dynamics of mortality from accidental alcohol poisoning in the Arkhangelsk Region, Nenets Autonomous Area and Komi Republic for 2010–2021 (cases per 100,000 population)

В современных реалиях отмечается значительное уменьшение трудоспособного населения как в нашей стране, так и во всем мире. Сокращение данного показателя находится в тесной связи со смертностью от внешних причин, в т. ч. от производственного травматизма. Ежегодно умерших вследствие несчастных случаев на производстве насчитывается около 2,3 млн чел. во всем мире.

Источниками травматизма на производстве в анализируемых регионах в основном являются следующие виды экономической деятельности: строительство, добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства, лесное хозяйство, рыболовство, охота и обеспечение энергией [5].

За анализируемый период в РФ частота смертности вследствие производственного травматизма снизилась незначительно – с 0,08 ‰ в 2010 году до 0,06 ‰ в 2021 году (<https://rosstat.gov.ru>). В АО и РК коэффициент частоты производственного травматизма в 2021 году равен общероссийскому (2,68 случая на 100 тыс. населения), а в НАО – в 1,8 раза выше. Частота смертности вследствие несчастных случаев

на производстве больше среди мужчин, нежели среди женщин: 183,2 и 100,6 случая соответственно в среднем по трем анализируемым регионам.

Обсуждение. Смертность от самоубийств является одним из наиболее важных региональных индикаторов состояния общественного здоровья, свидетельствующих о качестве жизни населения и его социальном благополучии [9]. В исследуемых регионах суицид занимает 1-е место среди внешних причин смертности, при этом среднее число суицидов здесь значительно выше, чем в целом по РФ. Наиболее высокий уровень суицидов отмечается в НАО.

По данным исследования «Смертность от самоубийств в Арктической зоне Российской Федерации», такую тенденцию можно объяснить значительной ролью «северного типа потребления алкоголя» в генезе самоубийств на территории Европейского Севера России – острая интоксикация является значимым фактором риска для суицидального поведения. Влияние потребления алкоголя на уровень самоубийств осуществляется при посредничестве ряда факторов, и прежде всего – степени

социальной аномии и общего уровня отклонений в обществе. Также в числе факторов, повышающих риск суицидального поведения в условиях Крайнего Севера, в т. ч. в АО и РК, можно выделить ряд биологических причин: дефицит витамина D, сезонные колебания уровня гормонов и нейромедиаторов [8]. Вместе с тем можно отметить влияние и солнечной активности на показатели смертности от суицида: согласно данным ЕМИСС, максимальные показатели наблюдаются весной и летом, минимальные – осенью и зимой.

Имеется стойкая тенденция к снижению количества смертей в ДТП в изученных регионах, причем средний показатель смертности от ДТП в АО оказался выше, чем в РК и НАО. Данную статистику можно объяснить тем, что основной транспортной автотрассой АО является федеральная автодорога М-8 «Холмогоры», которая отличается значительной протяженностью и достаточно большими расстояниями между больницами, что, в свою очередь, снижает своевременность оказания медицинской помощи и, как следствие, увеличивает вероятность летального исхода у пострадавших при транспортных несчастных случаях. Вместе с тем важную роль играют и климатические факторы: частые условия сниженной видимости, заснеженность дорог, боковой ветер, гололед, а также то, как организуется контроль дорожными службами за качеством покрытия, разметкой, знаками, – все это влияет на правильность прочтения водителями и пешеходами того или иного отрезка дороги и риск ДТП. Тем не менее стоит отметить, что А.В. Барановым обнаружено снижение более чем в 2 раза удельного веса пострадавших в ДТП в состоянии алкогольного опьянения на федеральной автодороге М-8 «Холмогоры» в АО с 2012 по 2018 год – с 24,6 до 11,9 % [10].

Уровень убийств в отдельном субъекте РФ зависит от ряда социально-политических факторов. Следует отметить, что влияние на распространенность данной причины смертности оказывает злоупотребление алкоголем. По статистике, большая часть преступлений совер-

шается в состоянии алкогольного опьянения лицами от 18 до 40 лет, а также безработными людьми [6]. Средние показатели смертности по причине убийств за 2010–2021 годы в АО, РК и НАО, несмотря на тенденцию к снижению, выше общероссийских. Наименьшим средним числом убийств среди трех регионов характеризуется АО. При этом существуют различия по месту проживания и образу жизни: в АО и РК частота потерь вследствие убийств среди сельского населения более высокая, чем среди городского, а в НАО – наоборот.

Несмотря на то, что нами отмечена позитивная динамика в отношении смертности от случайного отравления алкоголем в изученных регионах, средние показатели смертности по данной причине также остаются существенно выше, чем в среднем по России: 23,8; 12,2 и 26,1 случая на 100 тыс. населения в АО, НАО и РК соответственно. Это говорит о необходимости мер по профилактике алкоголизма в данных регионах, а также усиления контроля над оборотом спиртного во избежание продажи некачественной продукции.

Таким образом, в смертности от внешних причин населения Европейского Севера России за 12 лет прослеживается следующая динамика: потери вследствие самоубийств остаются на высоком уровне; потери вследствие ДТП имеют стойкую тенденцию к снижению, причем средние показатели в АО выше, чем в НАО и РК; отмечается существенное сокращение смертности вследствие убийств; происходит уменьшение смертности от случайного отравления алкоголем, однако средние показатели остаются выше общероссийского; динамика производственного травматизма незначительна и соответствует общероссийской.

Высокий уровень смертности от внешних причин в указанных регионах, исходя из проанализированных данных, обусловлен в первую очередь поведенческими особенностями граждан. Профилактику факторов риска следует начать с мер по формированию у людей ответственного отношения к собственной жизни и жизни других (пропаганда здорового образа

жизни, соблюдение техники безопасности и мер по предупреждению травматизма), реализации антиалкогольной политики, организации безопасных условий для труда, отдыха и физических упражнений, развитию дорожной инфраструктуры в целом. Эти направления являются приоритетными путями для снижения смертности населения от внешних причин.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

1. Жилинский Е.В. Медико-социальные приоритеты демографической политики России // Главврач. 2008. № 11. С. 104–112.
2. Баранов А.В., Барачевский Ю.Е., Ключевский В.В., Баушев В.О. Дорожно-транспортный травматизм в Арктической зоне Архангельской области // Кубан. науч. мед. вестн. 2016. № 3(158). С. 21–23.
3. Белов В.Б., Роговина А.Г. Динамика смертности в трудоспособном возрасте от внешних причин // Бюл. Нац. науч.-исслед. ин-та обществ. здоровья имени Н.А. Семашко. 2015. № 2. С. 19–23.
4. Варакина Ж.Л. Характеристика и профилактика суицидального поведения с позиций здоровья и безопасности общества на Европейском Севере России (по материалам Архангельской обл.): дис. ... канд. мед. наук. Архангельск, 2003. 182 с.
5. Варакина Ж.Л. Внешние причины смертности в контексте общественного здоровья // Вестн. Юж.-Рос. гос. техн. ун-та (НПИ). Сер.: Соц.-экон. науки. 2022. Т. 15, № 4. С. 62–71. <https://doi.org/10.17213/2075-2067-2022-4-62-71>
6. Кваша Е.А., Харькова Т.Л., Юмагузин В.В. Смертность от внешних причин в России за полвека // Демограф. обозрение. 2014. Т. 1, № 4. С. 68–95. <https://doi.org/10.17323/demreview.v1i4.1803>
7. Global Status Report on Alcohol and Health 2014 / World Health Organization. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/global-status-report-on-alcohol-and-health-2014> (дата обращения: 10.12.2022).
8. Варакина Ж.Л., Санников А.Л., Спасенников Б.А., Блудов В.В. Экономический ущерб общества в результате смертности от внешних причин // Baikal Research Journal. 2019. Т. 10, № 3. Ст. № 4. [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2019.10\(3\).4](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2019.10(3).4)
9. Шельгин К.В., Сумароков Ю.А., Малявская С.И. Смертность от самоубийств в Арктической зоне Российской Федерации // Соц. аспекты здоровья населения. 2018. № 1(59). Ст. № 4. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2018-59-1-4>
10. Баранов А.В. Алкоголь-обусловленные дорожно-транспортные происшествия на федеральной автодороге М-8 «Холмогоры» в Архангельской области // Политравма / Polytrauma. 2020. № 1. С. 6–10. <https://doi.org/10.24411/1819-1495-2020-10001>

References

1. Zhilinskiy E.V. Mediko-sotsial'nye prioritety demograficheskoy politiki Rossii. *Glavvrach*, 2008, no. 11, pp. 104–112.
2. Baranov A.V., Barachevskiy Yu.E., Klyuchevskiy V.V., Baushev V.O. Dorozhno-transportnyy travmatizm v Arkticheskoy zone Arkhangel'skoy oblasti [Road and Transport Traumatism in the Arctic Zone of the Arkhangelsk Region]. *Kubanskiy nauchnyy meditsinskiy vestnik*, 2016, no. 3, pp. 21–23.
3. Belov V.B., Rogovina A.G. Dinamika smertnosti v trudospobobnom vozraste ot vneshnikh prichin [The Dynamics of Mortality from External Causes Among the Working Population]. *Byulleten' Natsional'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta obshchestvennogo zdorov'ya imeni N.A. Semashko*, 2015, no. 2, pp. 19–23.
4. Varakina Zh.L. *Kharakteristika i profilaktika suitsidal'nogo povedeniya s pozitsiy zdorov'ya i bezopasnosti obshchestva na Evropeyskom Severe Rossii (po materialam Arkhangel'skoy oblasti)* [Characteristics and Prevention

of Suicidal Behaviour from the Standpoint of Health and Safety of Society in the European North of Russia (Based on Materials from the Arkhangelsk Region): Diss.]. Arkhangelsk, 2003. 182 p.

5. Varakina Zh.L. External Causes of Mortality in the Context of Public Health. *Bull. South Russ. State Tech. Univ. Ser. Socio-Econ. Sci.*, 2022, vol. 15, no. 4, pp. 62–71 (in Russ.). <https://doi.org/10.17213/2075-2067-2022-4-62-71>

6. Kvasha E.A., Khar'kova T.L., Yumaguzin V.V. Smertnost' ot vneshnikh prichin v Rossii za polveka [Mortality from External Causes of Death in Russia over the Past Half-Century]. *Demograficheskoe obozrenie*, 2014, vol. 1, no. 4, pp. 68–95. <https://doi.org/10.17323/demreview.v1i4.1803>

7. *Global Status Report on Alcohol and Health 2014*. World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/global-status-report-on-alcohol-and-health-2014> (accessed: 10 December 2022).

8. Varakina Zh.L., Sannikov A.L., Spasennikov B.A., Bludov V.V. Economic Losses from Mortality Due to External Factors. *Baikal Res. J.*, 2019, vol. 10, no. 3. Art. no. 4 (in Russ.). [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2019.10\(3\).4](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2019.10(3).4)

9. Shelygin K.V., Sumarokov Yu.A., Malyavskaya S.I. Smertnost' ot samoubiystv v Arkticheskoy zone Rossiyskoy Federatsii [Suicide Mortality in the Arctic Zone of the Russian Federation]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2018, no. 1. Art. no. 4. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2018-59-1-4>

10. Baranov A.V. Alkogol'-obuslovlennyye dorozhno-transportnyye proisshestviya na federal'noy avtodoroge M-8 "Kholmogory" v Arkhangel'skoy oblasti [Alcohol-Related Road-Traffic Accidents on the Federal Highway M-8 "Kholmogory" in the Arkhangelsk Region]. *Polytrauma*, 2020, no. 1, pp. 6–10. <https://doi.org/10.24411/1819-1495-2020-10001>

Поступила в редакцию 12.01.2023 / Одобрена после рецензирования 17.10.2023 / Принята к публикации 23.10.2023.
Submitted 12 January 2023 / Approved after reviewing 17 October 2023 / Accepted for publication 23 October 2023.



Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 1. С. 99–113.

Journal of Medical and Biological Research, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 99–113.

Обзорная статья

УДК [613.292+582.26](98)

DOI: 10.37482/2687-1491-Z180

Морские водоросли как важный функциональный ингредиент и продовольственное сырье для обогащения рационов питания населения Арктической зоны Российской Федерации (обзор)

Ольга Анатольевна Шепелева* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7973-9320>

Галина Николаевна Дегтева* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3269-2588>

Ирина Игоревна Новикова** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1105-471X>

Ирина Геннадьевна Шевкун*** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1796-360X>

Сергей Павлович Романенко** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1375-0647>

Мария Вячеславовна Семенихина** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8405-4847>

Ольга Николаевна Попова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0135-4594>

Андрей Борисович Гудков* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5923-0941>

*Северный государственный медицинский университет
(Архангельск, Россия)

**Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены
(Новосибирск, Россия)

***Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека
(Москва, Россия)

Аннотация. Проведен анализ научной литературы, посвященной морским водорослям как дополнительному источнику питательных веществ и биологически активных соединений. Результаты исследований доказывают, что бурые водоросли являются перспективным сырьем для использования в питании человека. Водоросли содержат 7 аминокислот, незаменимых для взрослого человека. Присутствие моноидтирозина и дийодтирозина в составе данного биообъекта обуславливает гормоноподобное воздействие белков, содержащихся в нем, на организм человека. Жиры бурых водорослей представлены как насыщенными, так и ненасыщенными жирными кислотами, поэтому авторы статьи предполагают, что водоросли могут стать одним из альтернативных источников эссенциальных длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот, оказывающих положительное влияние на функционирование сердечно-сосудистой и нервной систем, а также на когнитивное развитие детей. Особо следует подчеркнуть, что бурые водоросли являются источником фукостерина, который характеризуется гипохолестеринемическим, гипотензивным, антиоксидантным, противовоспалительным, противоопухолевым и антидиабетическим действием. Углеводы водорослей представлены уникальными по строению и биологическому действию полисахарида-

Ответственный за переписку: Ольга Анатольевна Шепелева, адрес: 163069, г. Архангельск, просп. Троицкий, д. 51; e-mail: shepelevaolangmu@mail.ru

ми: альгинатами, обладающими противовоспалительными, антиоксидантными и иммуномодулирующими свойствами; фукоиданами, имеющими антибактериальное, антиоксидантное и противоопухолевое действие; ламинаринами, оказывающими иммуномодулирующее, антиоксидантное, противоопухолевое и антибактериальное влияние. Полифенолы, содержащиеся в водорослях, не встречаются в наземных растениях. Водоросли являются источником йода и других минеральных веществ, а также витаминов. В настоящее время блюда и продукты из водорослей уже введены в рацион населения некоторых стран. Однако имеется ряд проблем, требующих дальнейшего анализа: мало изучены возможные побочные эффекты при чрезмерном употреблении морских водорослей, не разработаны нормы их суточного потребления, слабо исследованы вопросы биодоступности питательных веществ из морских водорослей после кулинарной или технологической обработки. В целом следует заключить, что морские водоросли могут стать важным функциональным ингредиентом и продовольственным сырьем для обогащения рационов питания населения Арктической зоны Российской Федерации.

Ключевые слова: морские водоросли, *Laminaria digitata*, *Laminaria saccharina*, *Fucus vesiculosus*, *Ascophyllum nodosum*, функциональные пищевые продукты, питание населения Арктической зоны Российской Федерации.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Морские водоросли как важный функциональный ингредиент и продовольственное сырье для обогащения рационов питания населения Арктической зоны Российской Федерации (обзор) / О. А. Шепелева, Г. Н. Дегтева, И. И. Новикова, И. Г. Шевкун, С. П. Романенко, М.В. Семенихина, О. Н. Попова, А. Б. Гудков // Журнал медико-биологических исследований. – 2021. – Т. 12, № 1. – С. 99-113. – DOI: 10.37482/2687-1491-Z180.

Review article

Seaweed as an Important Functional Ingredient and Alimentary Raw Material for Enriching the Diet of the Population in the Arctic Zone of the Russian Federation (Review)

Ol'ga A. Shepeleva* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7973-9320>

Galina N. Degteva* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3269-2588>

Irina I. Novikova** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1105-471X>

Irina G. Shevkun*** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1796-360X>

Sergey P. Romanenko** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1375-0647>

Mariya V. Semenikhina** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8405-4847>

Ol'ga N. Popova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0135-4594>

Andrey B. Gudkov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5923-0941>

*Northern State Medical University
(Arkhangelsk, Russian Federation)

**Novosibirsk Research Institute of Hygiene
(Novosibirsk, Russian Federation)

***Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing
(Moscow, Russian Federation)

Abstract. The paper analysed scientific literature on seaweed as an additional source of nutrients and biologically active compounds. The studies demonstrate that brown algae are promising raw materials for human nutrition. Algae contain 7 amino acids essential for adults, as well as monoiodotyrosine and diiodotyrosine, which induce a hormone-like effect of algae proteins on the human body. Brown algae fats are represented by both saturated and unsaturated fatty acids, which allows us to assume that algae can become an alternative source of essential long-chain polyunsaturated fatty acids, having a positive effect on the cardiovascular and nervous systems, as well as on the cognitive development of children. It should be emphasized that brown algae are a source of fucosterol, which has hypocholesterolemic, hypotensive, antioxidant, anti-inflammatory, antitumour and antidiabetic effects. Algae carbohydrates include polysaccharides unique in their chemical structure and biological activity: alginates, having anti-inflammatory, antioxidant and immunomodulatory properties; fucoidans, producing antibacterial, antioxidant and antitumour effects; and laminarins, exerting immunomodulatory, antioxidant, antitumour and antibacterial effects. Polyphenols contained in algae are not found in terrestrial plants. Algae are a source of iodine and other minerals as well as vitamins. Currently, algae are being used in human diets in a number of countries. However, there are certain problems that require further research, such as the possible side-effects of excessive consumption of seaweed, its daily intake recommendations, and bioavailability of nutrients after seaweed handling and processing. In general, it can be concluded that seaweed may well become an important functional ingredient and alimentary raw material for enriching the diet of the population in the Arctic zone of the Russian Federation.

Keywords: seaweed, *Laminaria digitata*, *Laminaria saccharina*, *Fucus vesiculosus*, *Ascophyllum nodosum*, functional foods, diet of residents of the Russian Arctic.

Funding. The research was not sponsored.

For citation: Shepeleva O.A., Degteva G.N., Novikova I.I., Shevkun I.G., Romanenko S.P., Semenikhina M.V., Popova O.N., Gudkov A.B. Seaweed as an Important Functional Ingredient and Alimentary Raw Material for Enriching the Diet of the Population in the Arctic Zone of the Russian Federation (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 99–113. DOI: 10.37482/2687-1491-Z180

В настоящее время во всех странах мира отмечается повышение потребительского спроса и экономического интереса к морским водорослям как дополнительному источнику питательных веществ и биологически активных соединений, в т. ч. минорных [1]. В работах *in vitro* и экспериментах на животных доказаны противоопухолевая, противовирусная, антибактериальная, антиоксидантная, гипотензивная направленность биологического действия и пребиотическая активность морских водорослей [2–7]. Многолетние научные исследования, проведенные в Китае, Японии, Южной Корее, выявили корреляционные связи между рационом питания, содержащим морские во-

доросли, и снижением риска развития артериальной гипертензии, ишемической болезни сердца, цереброваскулярных и онкологических заболеваний [8–10]. Показано, что включение морских водорослей в рационы питания больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями уменьшает риск смерти от осложнений [11], а в случае больных онкологическими заболеваниями способствует увеличению продолжительности жизни [12].

Рост доказательной базы данных по биологическим эффектам морских водорослей стимулирует развитие индустрии производства функциональных продуктов питания [13, 14].

Corresponding author: Ol'ga Shepeleva, address: prosp. Troitskiy 51, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: shepelevaangmu@mail.ru

Производство водных биологических ресурсов и развитие аквакультуры, в состав которой входят морские водоросли, отнесены к одному из важных направлений экономического развития России¹.

Известно, что современные рационы питания жителей севера страны дефицитны по многим витаминам и минеральным веществам, в т. ч. по йоду, недостаток которого негативно отражается на интеллектуальном развитии детского населения, а также распространенности эндемического зоба по регионам [15, 16]. Проблему йододефицита на территории России усугубляет недостаточное потребление рыбы и морепродуктов [15, 17]. Для снижения алиментарно-зависимых факторов риска у населения Арктической зоны Российской Федерации предлагается использование пищевых продуктов и готовых блюд, обогащенных микроэлементами [18, 19]. Следует заметить, что масштабные научные исследования по изучению влияния рационов питания, обогащенных водорослями, в России не проводились.

Можно предположить, что включение в рационы питания северян блюд из водорослей и пищевых продуктов, обогащенных водорослями, положительно повлияет на показатели здоровья, снизит риски развития эндокринных, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний у всех групп населения.

Цель – на основе анализа доступных источников обосновать необходимость включения морских водорослей в рецептуры блюд для применения в питании населения Арктической зоны Российской Федерации, в т. ч. детского.

С помощью научно-информационной социальной сети ResearchGate, поисковых систем Google Scholar и PubMed, а также электронных библиотек CyberLeninka, eLIBRARY, National Library of Medicine и официального агентства Crossref проведен поиск статей по вопросам

пищевой ценности морских водорослей, их биологического значения, влияния на здоровье населения, использования в качестве ингредиентов в функциональных продуктах питания, а также включения бурых водорослей в состав рационов питания. Использовались ключевые слова: морские водоросли, *Laminaria digitata*, *Laminaria saccharina*, *Fucus vesiculosus*, *Ascophyllum nodosum*, функциональные пищевые продукты, питание населения Арктической зоны Российской Федерации.

Пищевая ценность и биологическое значение водорослей. Бурые водоросли: ламинария пальчаторассеченная (*Laminaria digitata* (Huds.) Lamour), ламинария сахаристая (*Laminaria saccharina* (L.) Lamour), фукус пузырчатый (*Fucus vesiculosus* (L.)), аскофиллум узловатый (*Ascophyllum nodosum* (L.)) – являются перспективным сырьем для использования в питании населения. Так, водоросли содержат 7 незаменимых и 12 заменимых для взрослого человека аминокислот. В целом содержание белка в биомассе водорослей невысоко, при этом ламинариевые водоросли богаче азотсодержащими веществами, чем фукусовые и *Ascophyllum nodosum*, но не содержат аспаргин. *Fucus vesiculosus*, а также водоросли вида *Ascophyllum nodosum*, в отличие от ламинариевых, не содержат пролин. В их состав входят моноидотирозин и дийодтирозин, что обуславливает полезность данного биологического объекта и гормоноподобное воздействие белков, содержащихся в нем, на организм человека [20].

Учитывая, что жиры бурых водорослей представлены ω-3 (α-линоленовой, эйкозапентаеновой, стеариноновой), ω-6 (арахиноновой) полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК), насыщенными (пальмитиновой, миристиновой) жирными кислотами, а также олеиновой мононенасыщенной жирной кислотой [21], можно предположить, что водоросли

¹О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: указ Президента РФ от 26 окт. 2020 г. № 645 (с изм. и доп. от 12 нояб. 2021 г.). URL: <https://base.garant.ru/74810556/> (дата обращения: 04.01.2023).

могут стать одним из альтернативных источников эссенциальных длинноцепочечных ПНЖК семейства ω -3 (ω -3ДЦПНЖК), оказывающих положительное влияние на функционирование сердечно-сосудистой и нервной систем, когнитивное развитие детского населения [9, 22, 23]. Бурые водоросли являются источником фукостерина – стеролового метаболита, регулирующего гены, участвующие в гомеостазе холестерина, и обладающего гипохолестеринемическим, антигипертензивным, антиоксидантным, противовоспалительным, противоопухолевым и антидиабетическим действием. Наиболее богат фукостерином *Fucus vesiculosus* [24], который может рассматриваться как перспективное сырье для извлечения жирнокислотной фракции [21].

Углеводы водорослей – это уникальные по своему строению и биологическому действию полисахариды: альгинаты, фукоиданы, ламинараны [20, 24]. Ламинарии отличаются более высоким по сравнению с фукусовыми содержанием альгинатов. Однако уровень концентрации фукоидана в *Fucus vesiculosus* выше, чем в ламинарии и *Ascophyllum nodosum* [24]. Арктические ламинарии можно рассматривать как потенциальный источник нерастворимого полисахарида – альгулезы (целлюлозы), при этом полученный из биомассы бурых водорослей белково-полисахаридный комплекс, который содержит белки и целлюлозу, в перспективе возможно использовать как фармсубстанцию, имеющую энтеросорбционный и иммуномодулирующий эффекты [20].

Альгинаты обладают противовоспалительными, антиоксидантными, иммуномодулирующими, противоаллергическими свойствами, являются энтеросорбентами [3, 4]. В экспериментах на животных при добавлении в рационы питания альгината натрия выявлены улучшения профиля циркулирующих липидов, снижение риска развития ожирения, положительное изменение микробиоты [5]. Ламинараны оказывают иммуномодулирующее, антиоксидантное, антибактериальное, противоопухолевое действие [1, 2].

Значительное количество исследований посвящено изучению биологического значения фукоидана морских водорослей, типичным представителем которого можно назвать сульфатированный гетерополисахарид. Большинство сульфатированных полисахаридов морских водорослей, в т. ч. и фукоиданы, являясь отрицательно заряженными полисахаридами, напрямую связываются с вирусами и подавляют их инфекционную способность либо уничтожают возбудителей респираторных инфекций, в частности вирусы гриппа и SARS-CoV-2 [25, 26]. Фукоиданы способны блокировать воспалительный процесс, обладают антибактериальной, антиоксидантной, противоопухолевой активностью, а также антипаразитарными свойствами [27, 28].

Фукоидан имеет пребиотическую активность, способствует нормализации микроэкологического статуса организма за счет стимуляции роста и биологической активности биомассы бифидобактерий [29].

В литературе представлены данные о вкладе фукоидана в регуляцию углеводного обмена, его влиянии на уровень глюкозы, секрецию инсулина, инсулинорезистентность [30].

Фукоиданы обладают гипохолестеринемическим эффектом, способствуя выведению из организма желчных кислот. Развивающийся в клетках печени дефицит холестерина компенсируется увеличением числа рецепторов к липопротеинам низкой плотности в клеточных мембранах, что ведет к снижению уровня холестерина в плазме крови [31].

Фукоиданы являются действенными антикоагулянтами, сопоставимыми по эффекту с гепарином. Фукоидан, обладая сродством к катионам металлов, оказывает антиоксидантное влияние и способствует выведению из организма радионуклидов, эндо- и экзотоксинов [32].

К минорным биологически активным веществам водорослей относят фотосинтетические пигменты: хлорофилл, фукоксантин, каратиноиды (зеаксантин, α - и β -каротины, лютеин) [20, 33], а также не встречающиеся в наземных растениях полифенолы – флоро-

таннины (дубильные вещества). Особенно высоким содержанием полифенольных соединений характеризуется *Fucus vesiculosus* [34–36]. Полифенолы бурых водорослей проявляют противовирусное, антибактериальное, противовоспалительное, противоопухолевое действие [37, 38]. Флоротаннины влияют на всасывание и биосинтез холестерина. Выявлена способность *Fucus vesiculosus* ингибировать абсорбцию холестерина [39]. Установлена высокая антирадикальная и восстанавливающая активность фукусовых водорослей, сравнимая с активностью кверцетина, который относится к наиболее сильному, обладающему антиоксидантными свойствами растительному флавоноиду [34, 40].

Бурые водоросли содержат витамины Е (α -токоферол) и D (эргокальциферол), витамины группы В (особенно В₁), незначительное количество В₁₂, липофильного витамина А (получаемого из каротиноида β -каротина) [41, 42]. Содержание витамина С в фукусовых водорослях выше, чем в ламинариевых [34].

Минеральный состав водорослей представлен как макроэлементами (калий, натрий, кальций, фосфор, магний, сера и др.), так и микроэлементами (железо, цинк, медь, йод, селен и др.) [20, 33]. Ламинариевые водоросли, в сравнении с фукусовыми, больше накапливают йода, калия, хлора, титана и меньше – кальция, магния, кремния, железа, серы, алюминия. Зольность фукусовых водорослей ниже, чем ламинариевых [43]. Чрезвычайно сильным аккумулятором йода является *Laminaria digitata* [24, 44].

В целом, биохимический состав и пищевая ценность водорослей зависят от их вида, стадии развития, а также климатогеографических особенностей районов сбора, солености вод и сезона года [20, 36, 43, 45].

Использование водорослей в пищевой промышленности. Морские водоросли исторически входят в рационы питания населения прибрежных территорий, особенно широко они используются в пищу в азиатских государствах. На страны Азии приходится 97,38 %

от мирового объема производства морских водорослей, при этом основной путь выращивания – искусственный (99 %). Доля Европы в мировом производстве водорослей составляет всего 0,8 %, при этом 96 % европейских водорослей – естественного происхождения [1]. В Китае, Японии, Корее, Ирландии, Канаде, Перу, на Филиппинах, Гавайских и Азорских островах, северо-западном побережье Северной Америки морские водоросли, которые также называют «морскими овощами», с древних времен используют в традиционных рационах питания, различие заключается в способах приготовления. Для их обработки применяют традиционные технологии: бланширование, варка, варка на пару, жарка. Водоросли употребляют в сыром и сухом виде, в них добавляют сахар, уксус, соевый соус, их используют в качестве заменителя соли, приправ. Многообразие блюд, приготовляемых из водорослей, определяется традициями каждой этнической группы [46]. Около 36 % от всего мирового объема их потребления приходится на *Laminaria* и *Saccharina*, которые в основном используются в составе приправ, салатов, соусов [1].

В современных условиях продукты и блюда из водорослей адаптируются согласно вкусовым предпочтениям западных стран. Так созданы чипсы, батончики, крекеры, пончики, закуски, полуфабрикаты с вкусами, привычными для населения. Используются также традиционные технологии консервирования (замораживание, сушка, маринование). Разрабатываются новые формы и вкусы продуктов с водорослями, способные заинтересовать детей [46].

Помимо непосредственного употребления в пищу в виде самостоятельных блюд (консервы, салаты, супы, гарниры), допустимо также включение водорослей в рецептуры мясных, рыбных, молочных, зерновых продуктов, хлеба, масла, муки, макаронных изделий, напитков, десертов, конфет, что позволяет создавать функциональные продукты питания, в т. ч. ферментированные [47–49].

В последние два десятилетия отмечается рост производства функциональных продуктов питания, содержащих водоросли, в т. ч. в качестве экстрактов [46]. Например, сотрудничество ученых Мурманского государственного технического университета и Норвежского технического университета Тронхейма (Norwegian University of Science and Technology (NTNU)) позволило разработать технологии изготовления кисломолочных продуктов (питьевые и густые йогурты) и низкокалорийных хрустящих хлебцев (итальянские сухарики), обогащенных йодом, источником которого послужила водоросль *Laminaria saccharina*, выращенная на фермах компании Energy Solutions AS острова Фрэйя (Норвегия) [49].

Добавление в молочные продукты фукоидана позволило ученым Южно-Уральского государственного университета создать пробиотический кисломолочный продукт, положительно влияющий на формирование микрофлоры кишечника [50]. Внесение в тесто для хлеба биологически активной добавки к пище «Фуколам С» сделало возможной выпечку хлебобулочных изделий с улучшенными органолептическими свойствами, а также получение продукта профилактического питания с более низкой пищевой ценностью и более высоким содержанием белка и пищевых волокон [51].

Разработаны синбиотические продукты для функционального питания, содержащие экстракт фукоидана (бифидумбактерин, приготовленный на основе фруктово-овощных соков, коровьего и соевого молока) [29]. На основе экстрактов из ламинариевых и фукусовых водорослей разработаны рецептуры для приготовления безалкогольных напитков, сбалансированных по содержанию йода и оказывающих антистрессовое и тонизирующее действие [52]. Морские водоросли также применяются в пищевой промышленности для получения субстанций с целью улучшения органолептических показателей пищевых продуктов и повышения их устойчивости при хранении, для совершенствования технологических процессов. Например, альгинаты используют при про-

изводстве сливочных сыров и кремов, майонезов, консервов, соусов, мороженого, джемов, варенья [13, 24, 33, 50, 53].

Гелеобразные альгинатсодержащие водорослевые массы, полученные из разных частей слоевища ламинариевых, можно применять как для обогащения продуктов йодом и фукоиданом, так и для придания продуктам определенных реологических свойств [54].

Безопасность водорослей. На безопасность морских водорослей как продовольственного сырья по показателям химического загрязнения существенное влияние оказывает уровень антропогенной нагрузки на окружающую природную среду. По данным К.Г. Боголицына и др., в образцах бурых водорослей, полученных в ходе научно-исследовательской экспедиции в Баренцевом и Белом морях, содержание ртути и свинца либо не было обнаружено, либо являлось незначительным и не превышало санитарно-гигиенических нормативов, что позволяет говорить о пригодности данных биообъектов к использованию в пищевых целях [43]. К аналогичному выводу пришли ученые, проводившие санитарно-гигиеническое исследование бурых водорослей Белого и Баренцева морей [55]. Основные районы промысла бурых водорослей на Дальнем Востоке также можно считать пригодными для добычи [56]. Положительным моментом является и возможность культивировать водоросли в морской и пресной воде без применения антибиотиков и пестицидов [1].

Заключение. Таким образом, морские водоросли *Laminaria digitata*, *Laminaria saccharina*, *Fucus vesiculosus*, *Ascophyllum nodosum* содержат уникальные биологически активные вещества, которые не встречаются у наземных растений и могут оказывать положительное биологическое действие на иммунную систему и функциональное состояние организма человека. Включение морских водорослей в рационы питания различных групп населения снижает риски развития хронических неинфекционных и вирусных заболеваний, а также ожирения.

Однако анализ научных источников показал, что большинство публикаций посвящено вопросам оценки химического состава и биологического действия структурных компонентов водорослей, а также разработке новых функциональных и специализированных пищевых продуктов на основе экстрактов, содержащих биологически активные вещества морских водорослей.

Биологические эффекты функциональных продуктов питания, имеющих в составе морские водоросли или их экстракты, в основном исследуются *in vitro* и в экспериментах на животных. Влияние рационов питания, включающих морские водоросли, на показатели здоровья исследовано слабо. Мы не нашли

публикаций, в которых была бы представлена медицинская оценка результатов использования водорослей в рационах питания организованных коллективов на территории Российской Федерации, в т. ч. детских.

В настоящее время недостаточно проанализированы возможные побочные эффекты при чрезмерном употреблении морских водорослей, не разработаны нормы допустимого суточного потребления, мало исследованы биодоступность питательных веществ и влияние способов приготовления пищи на биодоступность, что затрудняет практическое применение продукта и обуславливает необходимость его дальнейшего изучения.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов: Шепелева О.А. – подбор и анализ литературы, редактирование окончательной версии текста; Дегтева Г.Н. – разработка концепции обзора, существенный вклад в написание текста; Новикова И.И. – подбор и анализ литературы, написание текста обзора; Шевкун И.Г. – подбор и анализ литературы; Романенко С.П. – редактирование окончательной версии текста; Семенихина М.В. – подбор и анализ литературы; Попова О.Н. – подбор и анализ литературы, окончательное редактирование текста статьи; Гудков А.Б. – существенный вклад в написание текста обзора и анализ литературы.

Authors' contributions: O.A. Shepeleva selected and analysed literature and edited the final version of the manuscript; G.N. Degteva developed the concept of the review and contributed significantly to writing the manuscript; I.I. Novikova selected and analysed literature and wrote the manuscript; I.G. Shevkun selected and analysed literature; S.P. Romanenko edited the final version of the manuscript; M.V. Semikhina selected and analysed literature; O.N. Popova selected and analysed literature and performed the final editing of the manuscript; A.B. Gudkov contributed significantly to writing the manuscript and analysed literature.

Список литературы

1. Zhang L., Liao W., Huang Y., Chu Y., Zhao C. Global Seaweed Farming and Processing in the Past 20 Years // Food Prod. Process. Nutr. 2022. Vol. 4. Art. № 23. <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00103-2>
2. Bae H., Song G., Lee J.-Y., Hong T., Chang M.-J., Lim W. Laminarin-Derived from Brown Algae Suppresses the Growth of Ovarian Cancer Cells via Mitochondrial Dysfunction and ER Stress // Mar. Drugs. 2020. Vol. 18, № 3. Art. № 152. <https://doi.org/10.3390/md18030152>
3. Feng W., Hu Y., An N., Feng Z., Liu J., Mou J., Hu T., Guan H., Zhang D., Mao Y. Alginate Oligosaccharide Alleviates Monocrotaline-Induced Pulmonary Hypertension via Anti-Oxidant and Anti-Inflammation Pathways in Rats // Int. Heart J. 2020. Vol. 61, № 1. P. 160–168. <https://doi.org/10.1536/ihj.19-096>
4. Wang M., Chen L., Zhang Z. Potential Applications of Alginate Oligosaccharides for Biomedicine – a Mini Review // Carbohydr. Polym. 2021. Vol. 271. Art. № 118408. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118408>

5. Li Y., Huang J., Zhang S., Yang F., Zhou H., Song Y., Wang B., Li H. Sodium Alginate and Galactooligosaccharides Ameliorate Metabolic Disorders and Alter the Composition of the Gut Microbiota in Mice with High-Fat Diet-Induced Obesity // *Int. J. Biol. Macromol.* 2022. Vol. 215. P. 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.06.073>
6. Озудов А.С., Шепелева О.А., Чуенко Н.Ф., Шестаков Н.А., Шевкун И.Г., Новикова И.И. Оценка биологических эффектов бурых водорослей *Laminaria digitata* (по результатам исследований на лабораторных животных) // *Sci. Educ. Today.* 2022. Vol. 12, № 6. P. 189–211. <https://doi.org/10.15293/2658-6762.2206.08>
7. Janapatla R.P., Dudek A., Chen C.L., Chuang C.H., Chien K.Y., Feng Y., Yeh Y.M., Wang Y.H., Chang H.J., Lee Y.C., Chiu C.H. Marine Prebiotics Mediate Decolonization of *Pseudomonas Aeruginosa* from Gut by Inhibiting Secreted Virulence Factor Interactions with Mucins and Enriching *Bacteroides* Population // *J. Biomed. Sci.* 2023. Vol. 30, № 1. Art. № 9. <https://doi.org/10.1186/s12929-023-00902-w>
8. Iso H., Kubota Y. Nutrition and Disease in the Japan Collaborative Cohort Study for Evaluation of Cancer (JACC) // *Asian Pac. J. Cancer Prev.* 2007. Vol. 8, suppl. P. 35–80.
9. Park G.-H., Cho J.-H., Lee D., Kim Y. Association Between Seafood Intake and Cardiovascular Disease in South Korean Adults: A Community-Based Prospective Cohort Study // *Nutrients.* 2022. Vol. 14, № 22. Art. № 4864. <https://doi.org/10.3390/nu14224864>
10. Ren Y., Feng Y., Qing J., Zhang P., Xiao L., Liang X. The Correlation Between Nuts and Algae-Less Diet and Children's Blood Pressure: From a Cross-Sectional Study in Chongqing // *Clin. Exp. Hypertens.* 2023. Vol. 45, № 1. Art. № 2180024. <https://doi.org/10.1080/10641963.2023.2180024>
11. Kishida R., Yamagishi K., Muraki I., Sata M., Tamakoshi A., Iso H. Frequency of Seaweed Intake and Its Association with Cardiovascular Disease Mortality: The JACC Study // *J. Atheroscler. Thromb.* 2020. Vol. 27, № 12. P. 1340–1347. <https://doi.org/10.5551/jat.53447>
12. Minami Y., Kanemura S., Oikawa T., Suzuki S., Hasegawa Y., Nishino Y., Fujiya T., Miura K. Associations of Japanese Food Intake with Survival of Stomach and Colorectal Cancer: A Prospective Patient Cohort Study // *Cancer Sci.* 2020. Vol. 111. P. 2558–2569. <http://dx.doi.org/10.1111/cas.14459>
13. Запорожец Т.С., Кузнецова Т.А., Крыжановский С.П., Ермакова С.П., Беседнова Н.Н. Функциональные пищевые продукты на основе полисахаридов из морских водорослей. Владивосток: Дальнаука, 2020. 368 с.
14. Воробьева Н.Ю. Мясные комбинированные продукты для диетического профилактического питания с использованием продуктов переработки морских водорослей // Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях: сб. науч. ст. 10-й Междунар. науч.-практ. конф. Курск, 2022. С. 77–80.
15. Истомин А.В., Федина И.Н., Шкурихина С.В., Кутакова Н.С. Питание и север: гигиенические проблемы Арктической зоны России (обзор литературы) // *Гигиена и санитария.* 2018. Т. 97, № 6. С. 557–563. <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-557-563>
16. Потолицына Н.Н., Бойко Е.Р. Витаминный статус жителей Европейского Севера России и его зависимость от географической широты // *Журн. мед.-биол. исследований.* 2018. Т. 6, № 4. С. 376–386. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2018.6.4.376>
17. Рыжкова С.М., Кручинина В.М. Тенденции потребления рыбы и продуктов ее переработки в России // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та инженер. технологий.* 2020. Т. 82, № 2(84). С. 181–189. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-181-189>
18. Никанов А.Н., Кривошеев Ю.К., Гудков А.Б. Влияние морской капусты и напитка «Альгапект» на минеральный состав крови у детей – жителей Мончегорска // *Экология человека.* 2004. № 2. С. 30–33.
19. Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Рисник Д.В., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы // *Вопр. питания.* 2017. Т. 86, № 4. С. 113–124.
20. Боголицын К.Г., Паршина А.Э., Дружинина А.С., Шульгина Е.В. Сравнительная характеристика химического состава некоторых представителей бурых водорослей Белого и Желтого морей // *Химия растит. сырья.* 2020. № 3. С. 35–46. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020037417>
21. Боголицын К.Г., Каплицин П.А., Добродеева Л.К., Дружинина А.С., Овчинников Д.В., Паршина А.Э., Шульгина Е.В. Жирнокислотный состав и биологическая активность сверхкритических экстрактов арктической бурой водоросли *Fucus vesiculosus* // *Сверхкрит. флюиды: теория и практика.* 2016. Т. 11, № 3. С. 58–70.

22. Шух Е.В., Махова А.А. Длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты семейства ω -3 в профилактике заболеваний у взрослых и детей: взгляд клинического фармаколога // *Вопр. питания*. 2019. Т. 88, № 2. С. 91–100.
23. Innes J.K., Calder P.C. Marine Omega-3 (N-3) Fatty Acids for Cardiovascular Health: An Update for 2020 // *Int. J. Mol. Sci.* 2020. Vol. 21, № 4. Art. № 1362. <https://doi.org/10.3390/ijms21041362>
24. Облучинская Е.Д. Фитохимические и технологические исследования водорослей Баренцева моря // *Тр. Кольск. науч. центра РАН*. 2020. Т. 11, № 4-7. С. 178–198. <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2020.11.4.008>
25. Беседнова Н.Н., Звягинцева Т.Н., Андриюков Б.Г., Запорожец Т.С., Кузнецова Т.А., Крыжановский С.П., Гусева Л.Г., Щелканов М.Ю. Сульфатированные полисахариды морских водорослей как потенциальные средства профилактики и терапии гриппа и COVID-19 // *Антибиотики и химиотерапия*. 2021. Т. 66, № 7-8. С. 50–66. <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2021-66-7-8-50-66>
26. Song S., Peng H., Wang Q., Liu Z., Dong X., Wen C., Ai C., Zhang Y., Wang Z., Zhu B. Inhibitory Activities of Marine Sulfated Polysaccharides Against SARS-CoV-2 // *Food Funct.* 2020. Vol. 11, № 9. P. 7415–7420. <https://doi.org/10.1039/d0fo02017f>
27. Jin J.-O., Yadav D., Madhwani K., Puranik N., Chavda V., Song M. Seaweeds in the Oncology Arena: Anti-Cancer Potential of Fucoidan as a Drug – a Review // *Molecules*. 2022. Vol. 27, № 18. Art. № 6032. <https://doi.org/10.3390/molecules27186032>
28. Besednova N.N., Zaporozhets T.S., Andryukov B.G., Kryzhanovsky S.P., Ermakova S.P., Kuznetsova T.A., Voronova A.N., Shchelkanov M.Y. Antiparasitic Effects of Sulfated Polysaccharides from Marine Hydrobionts // *Mar. Drugs*. 2021. Vol. 19, № 11. Art. № 637. <https://doi.org/10.3390/md19110637>
29. Кузнецова Т.А., Запорожец Т.С., Беседнова Н.Н., Звягинцева Т.Н., Шевченко Н.М., Имбс Т.Н., Мандракова Н.В., Мельников В.Г. Исследование пребиотического потенциала биологически активных веществ из морских гидробионтов и разработка новых продуктов функционального питания // *Вестн. Дальневост. отд-ния РАН*. 2011. № 2(156). С. 147–150.
30. Одинец А.Г., Татаринова Л.В. Фукоидан: современные представления о его роли в регуляции углеводного обмена // *Лечеб. дело: науч.-практ. терапевт. журн.* 2016. № 3(49). С. 40–44.
31. Yin J., Wang J., Li F., Yang Z., Yang X., Sun W., Xia B., Li T., Song W., Guo S. The Fucoidan from the Brown Seaweed *Ascophyllum nodosum* Ameliorates Atherosclerosis in Apolipoprotein E-Deficient Mice // *Food Funct.* 2019. Vol. 10, № 8. P. 5124–5139. <https://doi.org/10.1039/C9FO00619B>
32. Кузнецова Т.А. Антикоагулянтная и антитромботическая активность сульфатированных полисахаридов морских водорослей // *Тромбоз, гемостаз и реология*. 2020. № 2(82). С. 53–59. <https://doi.org/10.25555/THR.2020.2.0918>
33. Подкорытова А.В., Роцина А.Н. Морские бурые водоросли – перспективный источник БАВ для медицинского, фармацевтического и пищевого применения // *Тр. ВНИРО*. 2021. Т. 186, № 4. С. 156–172.
34. Облучинская Е.Д. Антиоксидантные комплексные экстракты из фукусовых водорослей Баренцева моря // *Вестн. МГТУ*. 2018. Т. 21, № 3. С. 395–401. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-3-395-401>
35. Боголицын К.Г., Дружинина А.С., Овчинников Д.В., Паршина А.Э., Шульгина Е.В., Турова П.Н., Ставрианиди А.Н. Полифенолы арктических бурых водорослей: выделение, полимолекулярный состав // *Химия растит. сырья*. 2019. № 4. С. 65–75. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019045135>
36. Облучинская Е.Д., Захарова Л.В. Сравнительное исследование полифенолов бурых водорослей морей Арктики и Северной Атлантики // *Химия растит. сырья*. 2020. № 4. С. 129–137. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020047755>
37. Имбс Т.И., Звягинцева Т.Н. Флоротаннины – полифенольные метаболиты бурых водорослей // *Биология моря*. 2018. Т. 44, № 4. С. 217–227. <https://doi.org/10.1134/S0134347518040010>
38. Беседнова Н.Н., Андриюков Б.Г., Запорожец Т.С., Кузнецова Т.А., Крыжановский С.П., Федянина Л.Н., Макаренкова И.Д., Галкина И.В., Щелканов М.Ю. Полифенолы из наземных и морских растений как ингибиторы репродукции коронавирусов // *Антибиотики и химиотерапия*. 2021. Т. 66, № 3-4. С. 62–81. <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2021-66-3-4-62-81>
39. André R., Guedes L., Melo R., Ascensão L., Pacheco R., Vaz P.D., Serralheiro M.L. Effect of Food Preparations on *in vitro* Bioactivities and Chemical Components of *Fucus vesiculosus* // *Foods*. 2020. Vol. 9, № 7. Art. № 955. <https://doi.org/10.3390/foods9070955>

40. Захарова Л.В., Облучинская Е.Д. Полифенолы и антиоксидантная активность экстрактов фукусовых водорослей залива Факсафлуои (море Ирмингера) и бухты Завалишина (Баренцево море) // Тр. Кольск. науч. центра РАН. 2021. Т. 12, № 3(9). С. 68–75. <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2021.3.9.009>
41. Наумов И.А., Буркова Е.А., Канарская З.А., Канарский А.В. Водоросли – источник биополимеров, биологически активных веществ и субстрат в биотехнологии. Ч. 1. Биополимеры клеток тканей водорослей // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2015. Т. 18, № 1. С. 184–188.
42. Wells M.L., Potin P., Craigie J.S., Raven J.A., Merchant S.S., Helliwell K.E., Smith A.G., Camire M.E., Brawley S.H. Algae as Nutritional and Functional Food Sources: Revisiting Our Understanding // J. Appl. Phycol. 2017. Vol. 29, № 2. P. 949–982. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0974-5>
43. Боголицын К.Г., Каплицин П.А., Кашина Е.М., Иванченко Н.Л., Кокрятская Н.М., Овчинников Д.В. Особенности минерального состава бурых водорослей Белого и Баренцева морей // Химия растит. сырья. 2014. № 1. С. 243–250. <http://dx.doi.org/10.14258/jcprn.1401243>
44. Küpper F.C., Carrano C.J. Key Aspects of the Iodine Metabolism in Brown Algae: A Brief Critical Review // Metallomics. 2019. Vol. 11, № 4. P. 756–764. <https://doi.org/10.1039/c8mt00327k>
45. Monteiro J.P., Rey F., Melo T., Moreira A.S.P., Arbona J.-F., Skjermo J., Forbord S., Funderud J., Raposo D., Kerrison P.D., Perrineau M.-M., Gachon C., Domingues P., Calado R., Domingues M.R. The Unique Lipidomic Signatures of *Saccharina latissima* Can Be Used to Pinpoint Their Geographic Origin // Biomolecules. 2020. Vol. 10, № 1. Art. № 107. <https://doi.org/10.3390/biom10010107>
46. The Algae World / ed. by D. Sahoo, J. Seckbach. Dordrecht: Springer Netherlands, 2015. P. 403–428.
47. Ścieszka S., Klewicka E. Algae in Food: A General Review // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2019. Vol. 59, № 21. P. 3538–3547. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1496319>
48. Вафина Л.Х. Обоснование комплексной технологии переработки бурых водорослей (Phaeophyta) при получении функциональных пищевых продуктов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. 280 с.
49. Shokina Y., Kuchina Y., Savkina K., Novozhilova E., Tatcienko K., Shokin G. The Use of Brown Algae *Laminaria saccharina* in Iodine Enriched Products Aimed at Preventing Iodine Deficiency // KnE Life Sci. 2022. Vol. 7, № 1. P. 135–145. <https://doi.org/10.18502/cls.v7i1.10115>
50. Потороко И.Ю., Паймулина А.В., Ускова Д.Г., Калинина И.В. Научные и практические аспекты технологий продуктов питания функциональной направленности // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. Сер.: Пищевые и биотехнологии. 2018. Т. 6, № 1. С. 49–59. <https://doi.org/10.14529/food180106>
51. Пат. RU 2399209 С1, МПК А21D 2/36 (2006.01), А21D 8/02 (2006.01). Композиция для приготовления теста для хлеба пшеничного «Дары моря»: № 2009112903/13: заявл. 06.04.2009; опубл. 20.09.2010 / Т.К. Каленик, Е.С. Смертина, Л.Н. Федянина, Н.М. Шевченко, Т.Н. Звягинцева, Т.И. Имбс. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2399209C1_20100920 (дата обращения: 04.01.2023).
52. Коровкина Н.В., Кутакова Н.А., Богданович Н.И. Экстракты бурых водорослей для обогащения рациона питания природными минеральными веществами // Химия растит. сырья. 2008. № 4. С. 167–170.
53. Наумов И.А., Буркова Е.А., Канарская З.А., Канарский А.В. Водоросли – источник биополимеров, биологически активных веществ и субстрат в биотехнологии. Ч. 2. Биотехнологическая переработка водорослей // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2015. Т. 18, № 2. С. 198–203.
54. Ключкова Т.А. Получение альгинатсодержащего геля из камчатской бурой ламинариевой водоросли *Eualaria fistulosa* // Вест. Камчат. гос. техн. ун-та. 2021. № 56. С. 28–41. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2021-56-28-41>
55. Подкорытова А.В., Вафина Л.Х., Муравьева Е.А., Шарина З.Н. Санитарно-гигиеническая характеристика бурых водорослей Белого и Баренцева морей // Рыбпром: технологии и оборудование для перераб. вод. биоресурсов. 2009. № 4. С. 33–39.
56. Амина Н.М. Сравнительная характеристика бурых водорослей прибрежной зоны Дальнего Востока // Изв. ТИНРО. 2015. Т. 182. С. 258–268.

References

1. Zhang L., Liao W., Huang Y., Chu Y., Zhao C. Global Seaweed Farming and Processing in the Past 20 Years. *Food Prod. Process. Nutr.*, 2022, vol. 4. Art. no. 23. <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00103-2>

2. Bae H., Song G., Lee J.-Y., Hong T., Chang M.-J., Lim W. Laminarin-Derived from Brown Algae Suppresses the Growth of Ovarian Cancer Cells via Mitochondrial Dysfunction and ER Stress. *Mar. Drugs*, 2020, vol. 18, no. 3. Art. no. 152. <https://doi.org/10.3390/md18030152>
3. Feng W., Hu Y., An N., Feng Z., Liu J., Mou J., Hu T., Guan H., Zhang D., Mao Y. Alginate Oligosaccharide Alleviates Monocrotaline-Induced Pulmonary Hypertension via Anti-Oxidant and Anti-Inflammation Pathways in Rats. *Int. Heart J.*, 2020, vol. 61, no. 1, pp. 160–168. <https://doi.org/10.1536/ihj.19-096>
4. Wang M., Chen L., Zhang Z. Potential Applications of Alginate Oligosaccharides for Biomedicine – a Mini Review. *Carbohydr. Polym.*, 2021, vol. 271. Art. no. 118408. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118408>
5. Li Y., Huang J., Zhang S., Yang F., Zhou H., Song Y., Wang B., Li H. Sodium Alginate and Galactooligosaccharides Ameliorate Metabolic Disorders and Alter the Composition of the Gut Microbiota in Mice with High-Fat Diet-Induced Obesity. *Int. J. Biol. Macromol.*, 2022, vol. 215, pp. 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.06.073>
6. Ogudov A.S., Shepeleva O.A., Chuenko N.F., Shestakov N.A., Shevkun I.G., Novikova I.I. Evaluation of the Biological Effect of the Brown Algae *Laminaria digitata* (Based on Studies on Experimental Animals). *Sci. Educ. Today*, 2022, vol. 12, no. 6, pp. 189–211 (in Russ.). <https://doi.org/10.15293/2658-6762.2206.08>
7. Janapatla R.P., Dudek A., Chen C.L., Chuang C.H., Chien K.Y., Feng Y., Yeh Y.M., Wang Y.H., Chang H.J., Lee Y.C., Chiu C.H. Marine Prebiotics Mediate Decolonization of *Pseudomonas aeruginosa* from Gut by Inhibiting Secreted Virulence Factor Interactions with Mucins and Enriching *Bacteroides* Population. *J. Biomed. Sci.*, 2023, vol. 30, no. 1. Art. no. 9. <https://doi.org/10.1186/s12929-023-00902-w>
8. Iso H., Kubota Y. Nutrition and Disease in the Japan Collaborative Cohort Study for Evaluation of Cancer (JACC). *Asian Pac. J. Cancer Prev.*, 2007, vol. 8, suppl., pp. 35–80.
9. Park G.-H., Cho J.-H., Lee D., Kim Y. Association Between Seafood Intake and Cardiovascular Disease in South Korean Adults: A Community-Based Prospective Cohort Study. *Nutrients*, 2022, vol. 14, no. 22. Art. no. 4864. <https://doi.org/10.3390/nu14224864>
10. Ren Y., Feng Y., Qing J., Zhang P., Xiao L., Liang X. The Correlation Between Nuts and Algae-Less Diet and Children's Blood Pressure: From a Cross-Sectional Study in Chongqing. *Clin. Exp. Hypertens.*, 2023, vol. 45, no. 1. Art. no. 2180024. <https://doi.org/10.1080/10641963.2023.2180024>
11. Kishida R., Yamagishi K., Muraki I., Sata M., Tamakoshi A., Iso H. Frequency of Seaweed Intake and Its Association with Cardiovascular Disease Mortality: The JACC Study. *J. Atheroscler. Thromb.*, 2020, vol. 27, no. 12, pp. 1340–1347. <https://doi.org/10.5551/jat.53447>
12. Minami Y., Kanemura S., Oikawa T., Suzuki S., Hasegawa Y., Nishino Y., Fujiya T., Miura K. Associations of Japanese Food Intake with Survival of Stomach and Colorectal Cancer: A Prospective Patient Cohort Study. *Cancer Sci.*, 2020, vol. 111, no. 7, pp. 2558–2569. <http://dx.doi.org/10.1111/cas.14459>
13. Zaporozhets T.S., Kuznetsova T.A., Kryzhanovskiy S.P., Ermakova S.P., Besednova N.N. *Funktsional'nye pishchevye produkty na osnove polisakharidov iz morskikh vodorosley* [Functional Foods Based on Seaweed Polysaccharides]. Vladivostok, 2020. 368 p.
14. Vorob'eva N.Yu. *Myasnye kombinirovannye produkty dlya dieticheskogo profilakticheskogo pitaniya s ispol'zovaniem produktov pererabotki morskikh vodorosley* [Combined Meat Products for Preventive Dietary Nutrition Using Seaweed Processing Products]. *Novye kontseptual'nye podkhody k resheniyu global'noy problemy obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti v sovremennykh usloviyakh* [New Conceptual Approaches to Solving the Global Food Security Problem in Modern Conditions]. Kursk, 2022, pp. 77–80.
15. Istomin A.V., Fedina I.N., Shkurikhina S.V., Kutakova N.S. Food and the North: Hygienic Problems of the Arctic Zone of Russia (the Review of the Literature). *Gigiena i sanitariya*, 2018, vol. 97, no. 6, pp. 557–563 (in Russ.). <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-557-563>
16. Potolitsyna N.N., Boyko E.R. Vitamin Status in Residents of the European North of Russia and Its Correlation with Geographical Latitude. *J. Med. Biol. Res.*, 2018, vol. 6, no. 4, pp. 376–386. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2018.6.4.376>
17. Ryzhkova S.M., Kruchinina V.M. Trends in the Consumption of Fish and Fish Products in Russia. *Proc. Voronezh State Univ. Eng. Technol.*, 2020, vol. 82, no. 2, pp. 181–189 (in Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-181-189>
18. Nikanov A.N., Krivosheev Yu.K., Gudkov A.B. Vliyaniye morskoy kapusty i napitka "Al'gapekt" na mineral'nyy sostav krovi u detey – zHITELEY Monchegorska [Effect of Seaweed and the Algapekt Drink on the Blood Mineral Composition in Children Living in Monchegorsk]. *Ekologiya cheloveka*, 2004, no. 2, pp. 30–33.

19. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Risnik D.V., Nikityuk D.B., Tutelyan V.A. Micronutrient Status of Population of the Russian Federation and Possibility of Its Correction. State of the Problem. *Probl. Nutr.*, 2017, vol. 86, no. 4, pp. 113–124 (in Russ.).
20. Bogolitsyn K.G., Parshina A.E., Druzhinina A.S., Shulgina E.V. Comparative Characteristics of the Chemical Composition of Some Representatives of Brown Algae of the White and Yellow Seas. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 3, pp. 35–46 (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020037417>
21. Bogolitsyn K.G., Kaplitsin P.A., Dobrodeeva L.K., Druzhinina A.S., Ovchinnikov D.V., Parshina A.E., Shulgina E.V. Zhirnokislottnyy sostav i biologicheskaya aktivnost' sverkhkriticheskikh ekstraktov arkticheskoy buroy vodorosli *Fucus vesiculosus* [Fatty Acid Components and Biological Activity of Supercritical Extracts of Arctic Brown Algae *Fucus vesiculosus*]. *Sverkhkriticheskie flyuidy: teoriya i praktika*, 2016, vol. 11, no. 3, pp. 58–70.
22. Shikh E.V., Makhova A.A. Long-Chain ω -3 Polyunsaturated Fatty Acids in the Prevention of Diseases in Adults and Children: A View of the Clinical Pharmacologist. *Probl. Nutr.*, 2019, vol. 88, no. 2, pp. 91–100 (in Russ.).
23. Innes J.K., Calder P.C. Marine Omega-3 (N-3) Fatty Acids for Cardiovascular Health: An Update for 2020. *Int. J. Mol. Sci.*, 2020, vol. 21, no. 4. Art. no. 1362. <https://doi.org/10.3390/ijms21041362>
24. Obluchinskaya E.D. Fitokhimicheskie i tekhnologicheskie issledovaniya vodorosley Barentseva morya [Phytochemicals and Technological Study of the Barents Sea Algae]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*, 2020, vol. 11, no. 4-7, pp. 178–198. <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2020.11.4.008>
25. Besednova N.N., Zvyagintseva T.N., Andriukov B.G., Zaporozhets T.S., Kuznetsova T.A., Kryzhanovsky S.P., Guseva L.G., Shchelkanov M.Yu. Seaweed-Derived Sulfated Polysaccharides as Potential Agents for Prevention and Treatment of Influenza and COVID-19. *Antibiot. Chemother.*, 2021, vol. 66, no. 7-8, pp. 50–66 (in Russ.). <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2021-66-7-8-50-66>
26. Song S., Peng H., Wang Q., Liu Z., Dong X., Wen C., Ai C., Zhang Y., Wang Z., Zhu B. Inhibitory Activities of Marine Sulfated Polysaccharides Against SARS-CoV-2. *Food Funct.*, 2020, vol. 11, no. 9, pp. 7415–7420. <https://doi.org/10.1039/d0fo02017f>
27. Jin J.-O., Yadav D., Madhwani K., Puranik N., Chavda V., Song M. Seaweeds in the Oncology Arena: Anti-Cancer Potential of Fucoidan as a Drug – a Review. *Molecules*, 2022, vol. 27, no. 18. Art. no. 6032. <https://doi.org/10.3390/molecules27186032>
28. Besednova N.N., Zaporozhets T.S., Andriukov B.G., Kryzhanovsky S.P., Ermakova S.P., Kuznetsova T.A., Voronova A.N., Shchelkanov M.Y. Antiparasitic Effects of Sulfated Polysaccharides from Marine Hydrobionts. *Mar. Drugs*, 2021, vol. 19, no. 11. Art. no. 637. <https://doi.org/10.3390/md19110637>
29. Kuznetsova T.A., Zaporozhets T.S., Besednova N.N., Zvyagintseva T.N., Shevchenko N.M., Imbs T.N., Mandrakova N.V., Mel'nikov V.G. Issledovanie prebioticheskogo potentsiala biologicheskii aktivnykh veshchestv iz morskikh gidrobiontov i razrabotka novykh produktov funktsional'nogo pitaniya [Study of Prebiotic Potential of Biologically Active Substances from Sea Hydrobionts and Development of New Functional Food]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk*, 2011, no. 2, pp. 147–150.
30. Odinets A.G., Tatarinova L.V. Fukoidan: sovremennye predstavleniya o ego roli v regulyatsii uglevodnogo obmena [Fucoidan: Modern Concepts of Its Role in Regulation of Carbohydrate Metabolism]. *Lechebnoe delo: nauchno-prakticheskiy terapevticheskiy zhurnal*, 2016, no. 3, pp. 40–44.
31. Yin J., Wang J., Li F., Yang Z., Yang X., Sun W., Xia B., Li T., Song W., Guo S. The Fucoidan from the Brown Seaweed *Ascophyllum nodosum* Ameliorates Atherosclerosis in Apolipoprotein E-Deficient Mice. *Food Funct.*, 2019, vol. 10, no. 8, pp. 5124–5139. <https://doi.org/10.1039/C9FO00619B>
32. Kuznetsova T.A. Antikoagulyantnaya i antitromboticheskaya aktivnost' sul'fatirovannykh polisakharidov morskikh vodorosley [Anticoagulant and Antithrombotic Activity of Seaweed Sulfated Polysaccharides]. *Tromboz, gemostaz i reologiya*, 2020, no. 2, pp. 53–59. <https://doi.org/10.25555/THR.2020.2.0918>
33. Podkorytova A.V., Roshchina A.N. Morskie burye vodorosli – perspektivnyy istochnik BAV dlya meditsinskogo, farmatsevticheskogo i pishchevogo primeneniya [Marine Brown Algae – Perspective Source of BAS for Medical, Pharmaceutical and Food Use]. *Trudy VNIRO*, 2021, vol. 186, no. 4, pp. 156–172.
34. Obluchinskaya E.D. Antioksidantnye kompleksnye ekstrakty iz fukusovykh vodorosley Barentseva morya [Antioxidant Complex Extracts from Fucus Algae of the Barents Sea]. *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, vol. 21, no. 3, pp. 395–401. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-3-395-401>

35. Bogolitsin K.G., Druzhinina A.S., Ovchinnikov D.V., Parshina A.E., Shulgina E.V., Turova P.N., Stavrianidi A.N. Polyphenols of Arctic Brown Algae: Extraction, Polymolecular Composition. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 4, pp. 65–75 (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019045135>
36. Obluchinskaya E.D., Zakharova L.V. Comparative Study of Polyphenols of Brown Algae of the Barents Sea and the White Sea, as Well as the Waters of the North Atlantic. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 129–137 (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020047755>
37. Imbs T.I., Zvyagintseva T.N. Phlorotannins Are Polyphenolic Metabolites of Brown Algae. *Russ. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 4, pp. 263–273. <https://doi.org/10.1134/S106307401804003X>
38. Besednova N.N., Andryukov B.G., Zaporozhets T.S., Kuznetsova T.A., Kryzhanovsky S.P., Fedyanina L.N., Makarenkova I.D., Galkina I.V., Shchelkanov M.Yu. Polyphenols Sourced from Terrestrial and Marine Plants as Coronavirus Reproduction Inhibitors. *Antibiot. Chemother.*, 2021, vol. 66, no. 3-4, pp. 62–81 (in Russ.). <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2021-66-3-4-62-81>
39. André R., Guedes L., Melo R., Ascensão L., Pacheco R., Vaz P.D., Serralheiro M.L. Effect of Food Preparations on *in vitro* Bioactivities and Chemical Components of *Fucus vesiculosus*. *Foods*, 2020, vol. 9, no. 7. Art. no. 955. <https://doi.org/10.3390/foods9070955>
40. Zakharova L.V., Obluchinskaya E.D. Polifenoly i antioksidantnaya aktivnost' ekstraktov fukusovykh vodorosley zaliva Faksafloi (more Irmingera) i bukhty Zavalishina (Barentsevo more) [Polyphenol and Antioxidant Activity of Focus Algae Extracts from Faksafloi Bay (Irminger Sea) and Zavalishin Bay (Barents Sea)]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*, 2021, vol. 12, no. 3, pp. 68–75. <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2021.3.9.009>
41. Naumov I.A., Burkova E.A., Kanarskaya Z.A., Kanarskiy A.V. Vodorosli – istochnik biopolimerov, biologicheskii aktivnykh veshchestv i substrat v biotekhnologii. Ch. 1. Biopolimery kletok tkaney vodorosley [Algae Are a Source of Biopolymers, Biologically Active Substances and a Substrate in Biotechnology. Pt. 1. Biopolymers of Algae Tissue Cells]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2015, vol. 18, no. 1, pp. 184–188.
42. Wells M.L., Potin P., Craigie J.S., Raven J.A., Merchant S.S., Helliwell K.E., Smith A.G., Camire M.E., Brawley S.H. Algae as Nutritional and Functional Food Sources: Revisiting Our Understanding. *J. Appl. Phycol.*, 2017, vol. 29, no. 2, pp. 949–982. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0974-5>
43. Bogolitsyn K.G., Kaplitsin P.A., Kashina E.M., Ivanchenko N.L., Kokryatskaya N.M., Ovchinnikov D.V. Osobennosti mineral'nogo sostava burykh vodorosley Belogo i Barentseva morey [Peculiarities of the Mineral Composition of the Brown Algae in the White and Barents Seas]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, no. 1, pp. 243–250. <http://dx.doi.org/10.14258/jcprm.1401243>
44. Küpper F.C., Carrano C.J. Key Aspects of the Iodine Metabolism in Brown Algae: A Brief Critical Review. *Metallomics*, 2019, vol. 11, no. 4, pp. 756–764. <https://doi.org/10.1039/c8mt00327k>
45. Monteiro J.P., Rey F., Melo T., Moreira A.S.P., Arbona J.-F., Skjermo J., Forbord S., Funderud J., Raposo D., Kerrison P.D., Perrineau M.-M., Gachon C., Domingues P., Calado R., Domingues M.R. The Unique Lipidomic Signatures of *Saccharina latissima* Can Be Used to Pinpoint Their Geographic Origin. *Biomolecules*, 2020, vol. 10, no. 1. Art. no. 107. <https://doi.org/10.3390/biom10010107>
46. Sahoo D., Seckbach J. (eds.). *The Algae World*. Dordrecht, 2015, pp. 403–428.
47. Ścieszka S., Klewicka E. Algae in Food: A General Review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 2019, vol. 59, no. 21, pp. 3538–3547. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1496319>
48. Vafina L.Kh. *Obosnovanie kompleksnoy tekhnologii pererabotki burykh vodorosley (Phaeophyta) pri poluchenii funktsional'nykh pishchevykh produktov* [Feasibility Study of the Integrated Technology for Brown Algae (Phaeophyta) Processing to Obtain Functional Foods: Diss.]. Moscow, 2010. 280 p.
49. Shokina Y., Kuchina Y., Savkina K., Novozhilova E., Tatcienko K., Shokin G. The Use of Brown Algae *Laminaria saccharina* in Iodine Enriched Products Aimed at Preventing Iodine Deficiency. *KnE Life Sci.*, 2022, vol. 7, no. 1, pp. 135–145. <https://doi.org/10.18502/cls.v7i1.10115>
50. Potoroko I.Yu., Paimulina A.V., Uskova D.G., Kalinina I.V. Scientific and Practical Aspects of Functional Food Technology. *Bull. South Ural State Univ. Ser. Food Biotechnol.*, 2018, vol. 6, no. 1, pp. 49–59 (in Russ.). <https://doi.org/10.14529/food180106>
51. Kalenik T.K., Smertina E.S., Fedjanina L.N., Shevchenko N.M., Zvjagintseva T.N., Imbs T.I. *Composition to Make Dough for Wheat Bread "Seafood"*. Patent RU2399209C1, 2010. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2399209C1_20100920 (accessed: 4 January 2023) (in Russ.).

52. Korovkina N.V., Kutakova N.A., Bogdanovich N.I. Ekstrakty burykh vodorosley dlya obogashcheniya ratsiona pitaniya prirodnyimi mineral'nymi veshchestvami [Brown Algae Extracts for Enriching the Diet with Natural Minerals]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2008, no. 4, pp. 167–170.

53. Naumov I.A., Burkova E.A., Kanarskaya Z.A., Kanarskiy A.V. Vodorosli – istochnik biopolimerov, biologicheski aktivnykh veshchestv i substrat v biotekhnologii. Ch. 2. Biotekhnologicheskaya pererabotka vodorosley [Algae Are a Source of Biopolymers, Biologically Active Substances and a Substrate in Biotechnology. Pt. 2. Biotechnological Processing of Algae]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2015, vol. 18, no. 2, pp. 198–203.

54. Klochkova T.A. Poluchenie al'ginatsoderzhashchego gelya iz kamchatskoy buroy laminarivoy vodorosli *Eualaria fistulosa* [Obtaining Alginate-Containing Gel from the Brown Kelp Seaweed *Eualaria fistulosa* from Kamchatka]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2021, no. 56, pp. 28–41. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2021-56-28-41>

55. Podkorytova A.B., Vafina L.Kh., Murav'eva E.A., Sharina Z.N. Sanitarno-gigienicheskaya kharakteristika burykh vodorosley Belogo i Barentseva morey [Sanitary and Hygienic Characteristics of Brown Algae of the White and Barents Seas]. *Rybprom: tekhnologii i oborudovanie dlya pererabotki vodnykh bioresursov*, 2009, no. 4, pp. 33–39.

56. Aminina N.M. Comparative Description of Brown Algae from the Coastal Zone of Far East. *Izvestiya TINRO*, 2015, vol. 182, pp. 258–268 (in Russ.).

Поступила в редакцию 26.05.2023 / Одобрена после рецензирования 22.11.2023 / Принята к публикации 29.11.2023.

Submitted 26 May 2023 / Approved after reviewing 22 November 2023 / Accepted for publication 29 November 2023.

Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 1. С. 114–128.
Journal of Medical and Biological Research, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 114–128.

Обзорная статья
УДК 612.821+612.825.1
DOI: 10.37482/2687-1491-Z184

Процессы когнитивного контроля в тесте Струпа и их отражение в связанных с событиями потенциалах (обзор)

Валентина Александровна Григорик* ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9916-2319>
Марина Владимировна Пронина** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8039-1755>
Мария Григорьевна Старченко*** ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2743-3856>

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

**Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой Российской академии наук
(Санкт-Петербург, Россия)

***Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
(Санкт-Петербург, Россия)

Аннотация. Обобщены данные отечественных и иностранных исследований о психофизиологических особенностях выполнения теста Струпа, рассмотрены его основные модификации и подобные парадигмы. Проанализированы ключевые гипотезы, объясняющие причины возникновения эффекта интерференции и увеличения времени реакции на стимулы, содержащие конфликтующую информацию. Приведены данные о волнах потенциалов, связанных с событиями, которые, как предполагается, отражают такие процессы когнитивного контроля, как детекция конфликта, преодоление интерференции и разрешение конфликта. Лобно-центральная волна N2 характеризует процессы детекции конфликта и преодоления интерференции, ее основным нейронным генератором является передняя поясная кора. Волна N450 в основном генерируется в области передней поясной коры и префронтальной коры и, как считается, отражает подавление интерференции. Теменно-центральную волну P300 и поздний устойчивый потенциал, который, по-видимому, генерируется в средней или нижней лобной извилине и экстрастриарной коре, связывают с процессом разрешения конфликта. Потенциал готовности, предположительно, генерируется в моторных зонах коры и отражает процесс выбора и подготовки двигательного ответа. Представлены основные направления исследований, в которых используются парадигма теста Струпа и ее модификации. Несмотря на значительное количество существующих психофизических и нейрофизиологических исследований, вопрос о мозговых механизмах когнитивного контроля при решении задач, вызывающих когнитивный конфликт, остается открытым, а нейропсихологический смысл волн потенциалов, связанных с событиями, которые регистрируются в подобных тестах, до сих пор остается до конца не изученным. Значительный интерес представляют

Ответственный за переписку: Валентина Александровна Григорик, адрес: 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17; e-mail: grigoric.valentina@yandex.ru

работы, посвященные влиянию разных типов конкурирующей информации на психофизиологические показатели при выполнении теста Струпа, в т. ч. при изменении силы конфликта.

Ключевые слова: тест Струпа, когнитивный контроль, событийно-связанные потенциалы мозга, волна N2, волна N450, поздний устойчивый потенциал, потенциал готовности, волна P300.

Для цитирования: Григорик, В. А. Процессы когнитивного контроля в тесте Струпа и их отражение в связанных с событиями потенциалах (обзор) / В. А. Григорик, М. В. Пронина, М. Г. Старченко // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 114-128. – DOI: 10.37482/2687-1491-Z184.

Review article

Cognitive Control Processes in the Stroop Task and Their Reflection in Event-Related Potentials (Review)

Valentina A. Grigorik* ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9916-2319>

Marina V. Pronina** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8039-1755>

Maria G. Starchenko*** ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2743-3856>

*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russian Federation)

**N.P. Bechtereva Institute of the Human Brain of the Russian Academy of Sciences
(St. Petersburg, Russian Federation)

***Saint Petersburg Electrotechnical University
(St. Petersburg, Russian Federation)

Abstract. The review summarizes the data of Russian and foreign studies on the psychophysiological parameters of the Stroop task execution. In addition, the article considers the main modifications of the task and similar paradigms as well as the key hypotheses explaining the causes of the interference effect and the increase in reaction time to stimuli containing conflicting information. Further, the paper presents data on event-related potential (ERP) waves, which are supposed to reflect cognitive control processes, such as conflict detection, overcoming of interference and conflict resolution. The frontocentral N2 wave characterizes the processes of conflict detection and overcoming of interference, and its main neural generator is the anterior cingulate cortex. The N450 wave is primarily generated in the anterior cingulate cortex and prefrontal cortex and is thought to reflect interference suppression. The centroparietal P300 wave and the late positive complex, which appears to be generated in the middle or inferior frontal gyrus and in the extrastriate cortex, are associated with the conflict resolution process. The readiness potential is, supposedly, generated in the motor cortex and reflects the process of selecting and preparing a motor response. Moreover, the review presents the main directions of studies that use the Stroop test paradigm and its modifications. Despite a significant number of existing psychophysical and neurophysiological papers, the question of the brain mechanisms of cognitive control in tasks that cause cognitive conflict remains open, and the neuropsychological role of the ERP waves recorded in such tasks is still not fully

Corresponding author: Valentina Grigorik, address: nab. Severnoy Dviny 17, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: grigorik.valentina@yandex.ru

explored. Studies into the influence of different types of competing information and the degree of conflict on the psychophysiological indicators in the Stroop task are of considerable interest.

Keywords: *Stroop task, cognitive control, event-related potentials, N2 wave, N450 wave, late positive complex, readiness potential, P300 wave.*

For citation: Grigorik V.A., Pronina M.V., Starchenko M.G. Cognitive Control Processes in the Stroop Task and Their Reflection in Event-Related Potentials (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 114–128. DOI: 10.37482/2687-1491-Z184

Люди постоянно сталкиваются с входящей информацией в различных сенсорных модальностях, но из-за ограниченности когнитивных ресурсов не вся она может быть обработана [1, 2]. Чтобы облегчить этот процесс, человек способен игнорировать нерелевантные данные, сосредотачивая внимание на выполнении основной задачи. Так, он может воспринимать текст, игнорируя размер и тип шрифта, его цвет, расположение на странице, орфографические ошибки и т. д. Ключевую роль в модуляции внимания играет система когнитивного контроля [3].

Когнитивный контроль обеспечивает гибкое и адаптивное распределение ресурсов внимания в соответствии с текущими целями и намерениями, занимая особое место в когнитивных процессах человека, таких как сенсорное восприятие, внимание, регулирование эмоций и принятие решений [3]. Однако существуют ситуации, когда по определенным причинам актуализируется иррелевантная информация, и это снижает эффективность выполнения основной задачи, например за счет увеличения количества ошибок и уменьшения скорости реакции. Одним из самых распространенных инструментов исследования подобных феноменов является тест Струпа или его модификации (так называемая Струп-парадигма).

Цель этой статьи – обобщить современные данные о волнах потенциалов, связанных с событиями (ПСС), отражающих процессы когнитивного контроля при выполнении тестов в Струп-парадигме. Актуальность работы обусловлена следующими обстоятельствами:

1) обзоры, рассматривающие нейрофизиологические маркеры эффекта Струпа, малочисленны, а потребность в получении резюмирующей информации для медико-биологических исследований крайне высока; 2) в условиях усиливающегося эмоционального и информационного стресса возрастает необходимость оптимизации механизмов когнитивного контроля, что возможно только при условии понимания лежащих в их основе мозговых процессов; 3) недавно полученные экспериментальные данные об отражении разных уровней когнитивного конфликта в нейрофизиологических показателях [4] и о влиянии силы интерференции конкурирующей информации на эти показатели [5] позволили расширить представления о мозговых механизмах, лежащих в основе эффекта Струпа.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи: проанализировать данные отечественных и иностранных исследований о психофизиологических особенностях, наблюдаемых при выполнении теста Струпа, представить его основные модификации и ключевые гипотезы, объясняющие причины возникновения эффекта Струпа, а также рассмотреть волны ПСС, которые связывают с процессами когнитивного контроля, необходимыми для выполнения задач, вызывающих когнитивный конфликт.

Гипотезы о причинах Струп-интерференции. Оригинальный вариант теста Струпа [6] включал в себя словесную и цветовую карты, а также словесно-цветовую карту с конфликтным сочетанием цветов и слов (например, слово «красный» было написано синим цветом).

Тест проводился в три серии, при этом испытуемого просили прочитать все три карточки как можно быстрее: на словесной карточке – вслух прочитать слова, на цветовой – назвать цвета, а на словесно-цветовой – назвать цвет, которым написано слово. В последнем случае наблюдался эффект интерференции: испытуемые медленнее называли цвет слов, значение которых не совпадало с цветом, которым они написаны (подобные стимулы называются неконгруэнтными или дистракторами). Выяснилось, что скорость называния дистракторов значимо ниже скорости называния конгруэнтных (слов, значение и цвет которых совпадают) или нейтральных (цветных геометрических фигур) стимулов. Согласно концепции Дж.Р. Струпа, испытуемые автоматически читают словесные стимулы даже при условии, что им необходимо называть цвета или рисунки. Чтобы преодолеть интенцию к прочтению слова-дистрактора, требуется приложить немалые усилия, в результате чего и происходит задержка ответа [7].

Согласно гипотезе В.М. Аллахвердова, к скорости реакции в Струп-тесте приводит включение когнитивного контроля [8]. Испытуемый дает себе инструкцию не реагировать на значение слова, поэтому сознание начинает контролировать, действительно ли слово игнорируется (контроль задачи) [9]. Эта постоянная проверка влечет за собой актуализацию иррелевантного признака стимула (того, что требовалось игнорировать), что и обуславливает появление интерференции.

Было выделено три этапа, на которых может происходить интерференционное воздействие: восприятие признаков стимула, принятие решения, отбор ответа [10]. На этапе восприятия признаков стимула конфликт (интерференция релевантной и иррелевантной информации) может возникать между операциями «чтение слова» и «определение его цвета». На этапе принятия решения возникновение интерференции объясняется сложностью выбора информации, которая существенна для выполнения задачи. На этапе отбора ответов требование реагировать строго определенным

образом приводит к необходимости отбора из нескольких возможных вариантов единственной реакции, релевантной задаче, а остальные реакции, не относящиеся к ней, должны быть заблокированы. Считается, что именно этап отбора ответов оказывает наибольшее влияние на интерференционный эффект (см., например, [11]).

Однако существуют и альтернативные интерпретации и взгляды [12]. Так, в модели WEAVER [13] интерференция наблюдается вследствие трудности выбора одного из двух автоматически активируемых концептов, связанных со значением или цветом слова, при этом интерференционный эффект минимален [10]. Согласно гипотезе «конфликта на уровне принятия решения», актуализация моторной реакции осуществляется только после принятия решения о том, какой именно концепт необходимо «переводить в реакцию», т. е. иррелевантный стимул отсеивается уже на уровне принятия решения. Описывается и так называемая трансляционная модель интерференции, согласно которой существует строгое соответствие между определенными признаками стимула и конкретными способами реагирования на него: слова легче вербализовывать, а на моторные признаки стимула – выдавать моторную реакцию (движение руки) [14]. Поэтому если задача не соответствует более привычному способу реагирования на стимул (надо давать моторный ответ на предъявление слова), то возникает интерференция.

Еще одной гипотезой интерференции, основанной на работе механизмов когнитивного контроля, является гипотеза модуляции. Согласно ей, когнитивный контроль определяет, в какой мере учитывать информацию, соответствующую цвету или значению слова. Показано, что скорость реакции на неконгруэнтные стимулы возрастает в тестах с большей долей неконгруэнтных стимулов (аналогично обстоит ситуация с конгруэнтными стимулами) [15].

Тем не менее стоит отметить, что ни одна из теорий интерференции не имеет в данный момент ощутимого преимущества и обраче-

ние к той или иной гипотезе зависит, скорее, от профессиональной принадлежности исследователей: если когнитивные психологи при интерпретации интерференционных феноменов отталкиваются преимущественно от процессов распределения внимания, то специалисты в области нейронауки делают акцент на процессах исполнительного контроля действий, а психолингвисты объясняют Струп-интерференцию в рамках теорий лексического доступа.

Тесты Струп-парадигмы. Поскольку эффект Струпа является следствием интерференции разных типов информации, его можно наблюдать не только в классической парадигме, но и в различных ее модификациях, а также в других тестах, стимулы в которых подразумевают наличие конкурирующих типов информации. Например, в тесте Саймона [16] от испытуемых требуется нажимать на левую или правую кнопку в соответствии с цветом стимула, предъявляемого в левой или правой части экрана. В конгруэнтных пробах расположение стимула и цвет, кодирующий направление ответа, совпадают, в неконгруэнтных – различаются.

Другой пример – тест Эриксона [17], в котором задание состоит в том, чтобы реагировать в соответствии с направлением, указанным стрелкой, расположенной посередине ряда стрелок. В конгруэнтных пробах направление центральной и боковых стрелок совпадает, в неконгруэнтных – различается. Еще в одном варианте теста в качестве стимулов предъявляются пары изображений больших и маленьких объектов, в конгруэнтных пробах размеры изображения и объекта соответствуют (например, большое изображение слона, маленькое изображение бабочки), в неконгруэнтных – не соответствуют (например, большое изображение чашки, маленькое изображение машины) [18]. Также в исследованиях применяется парадигма «обратного» теста Струпа, когда испытуемых просят реагировать на смысл слова, игнорируя цвет, которым оно написано. При использовании такой парадигмы время реакции в среднем оказывалось меньше, чем в классическом вари-

анте теста Струпа, поэтому считается, что «обратная» задача приводит к меньшей интерференции, чем классическая [19].

Большое количество разнообразных модификаций Струп-теста было порождено попытками исследователей выявить те этапы обработки информации, на которых может происходить интерференция.

В начале 2000-х годов была разработана модификация теста Струпа, в которой есть возможность разделить интерференцию на этапах обработки стимула и выбора моторного ответа [20]. В модифицированном тесте используются три условия, четыре цветных слова, четыре цвета и два варианта ответа. На каждые два цвета необходимо реагировать одним вариантом ответа (например, на КРАСНЫЙ и ЗЕЛЕНый следует нажимать левую кнопку, а на СИНИЙ и ЖЕЛТЫЙ – правую). Конгруэнтный стимул не вызывает ни сенсорного, ни моторного конфликта (значение и цвет слова совпадают). В условии конфликта сенсорной информации цвет и значение слова различаются, однако и цвет, и значение подразумевают один и тот же тип ответа (например, слово КРАСНЫЙ, написанное зеленым цветом). В условии конфликта в сенсорной и моторной системе смысл слова и его цвет различаются, кроме того, они предполагают разные типы ответа (т. е. слово КРАСНЫЙ, написанное синим цветом). Преимущество этой парадигмы по сравнению с оригинальным тестом Струпа состоит в том, что она позволяет исследовать конфликты, возникающие на разных уровнях, отдельно [21].

Для изучения эффекта Струпа в рабочей памяти были разработаны модификации теста с разнесением во времени цветовой и семантической информации. Для этого испытуемым последовательно предъявляются цветные геометрические фигуры и слова, обозначающие названия цветов, написанные черным цветом [22].

Модификации теста Струпа с эмоционально окрашенными стимулами позволяют исследователям оценить затраты на обработку эмоциональных реакций, поэтому данные тесты

широко применяются в качестве диагностического инструмента при различных аффективных психопатологиях [23]. В таких вариациях теста Струпа в качестве стимулов используются эмоционально окрашенные слова [23] или изображения лиц с эмоциональным выражением [24]. При этом задача испытуемых состоит в том, чтобы реагировать на цвет слова или фона.

Значительная часть Струп-подобных парадигм вообще не содержит цветовой информации, конфликт достигается за счет несоответствия смысла слова изображению, вместе с которым это слово предъясвляется (например, слово «радость» вместе с грустным лицом), [25] или, в слуховой модальности, несоответствия смысла слова и характеристик произносящего его голоса (например, слово «низкий», произносимое высоким голосом) [26]. Кроме того, в некоторых исследованиях [3, 27] конфликтующая информация была разномодальной – зрительной и слуховой.

Потенциалы, связанные с событиями, в тесте Струпа. ПСС рассматриваются как прямой показатель нейронного функционирования и позволяют судить о временной динамике психических процессов в ходе предполагаемых промежуточных стадий обработки стимулов (восприятие, оценка, категоризация) и осуществления моторного ответа. Нейрофизиологические исследования доказывают, что когнитивные процессы, которые задействуются при выполнении Струп-теста, такие как детекция конфликта, преодоление интерференции, т. е. торможение иррелевантной информации, и разрешение конфликта [28], отражаются в волнах ПСС.

Волны N2 и N450. Под детекцией конфликта понимается процесс мониторинга наличия конфликтующей информации (интерференции) [28]. Его основная функция – передача информации о наличии конфликта в системы, обеспечивающие компенсаторную корректировку поведения [29].

Большинство исследователей разделяет процессы детекции конфликта и преодоления интерференции, полагая, что они обеспечива-

ются разными анатомическими структурами и отражаются в различных волнах ПСС. Считается, что в детекции конфликта ключевую роль играет передняя поясная кора (ППК), тогда как подавление иррелевантной информации обеспечивается дорсолатеральной префронтальной корой (ПФК) [30]. Другие авторы показали, что ППК активируется в состоянии детекции конфликта, а дорсолатеральная ПФК – при реализации процессов контроля [31]. Ряд исследований, проведенных с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ), подтвердил ключевую роль ППК в оценке результата действия [26], а также в контроле внимания [32].

Предполагается, что лобно-центральная волна ПСС N2 отражает процесс детекции конфликта [33]. Она регистрируется при выполнении задач, включающих наличие интерферирующей информации (таких как тест Струпа, тест Эриксона и Go/NoGo-тест), основные генераторы этой волны располагаются в медиальной лобной коре, точнее в ППК [34]. Эта же область вовлечена в детекцию ошибок [35], которую рассматривают как детекцию конфликта между правильным и неправильным (или ожидаемым и реальным) ответами [35, 36].

Исследования показывают, что амплитуда волны N2 зависит от силы интерференции, вызванной стимулом, а также от уровня внимания к второстепенной информации. В ряде работ была обнаружена положительная корреляция амплитуды N2 и времени реакции испытуемого на неконгруэнтные стимулы, что можно трактовать как связь силы конфликта и поведенческих реакций [36].

Устойчивость к влиянию отвлекающих стимулов – это способность игнорировать внешнюю информацию, которая не относится к задаче и может помешать ее выполнению [37]. фМРТ-исследования показывают активацию дорсолатеральной ПФК в задачах, требующих подавления такой иррелевантной информации [38], в т. ч. в тесте Струпа. При анализе ПСС этот процесс часто связывают с характеристиками волны N450 и поздним

устойчивым потенциалом, генераторы которых, по разным оценкам, располагаются в ППК [39] и/или ПФК [40].

Волна N450 (или N400) наблюдалась в задних отделах коры головного мозга с пиковой латентностью около 450 мс после предъявления стимула в задачах, требующих когнитивного контроля и содержащих вербальные стимулы [28]. Амплитуда волны N450 увеличивалась в неконгруэнтных пробах теста Струпа [36], что коррелирует с ростом времени реакции. Предполагается, что подобные изменения связаны с большей сложностью задачи при необходимости реагировать на неконгруэнтные стимулы, создающие конфликт между двумя типами информации. Эту гипотезу подтверждают данные о том, что амплитуда волны N450 увеличивается при усилении конфликта [36].

Исследования области генерации волны N450 установили, что различие между конгруэнтными и неконгруэнтными стимулами локализуется в ППК и ПФК [40].

В недавней работе было показано, что при выполнении модификации теста Струпа с разделением конфликтов в сенсорной и моторной системах, наблюдаются две волны N450: одна локализуется в лобно-центральной области, а вторая – в левой теменно-затылочной коре [6]. На основании этих результатов было сделано предположение, что волна N450 отражает оба вида конфликта.

Волна P300 (P3). Эта волна регистрируется над центрально-теменной корой при выполнении различных когнитивных задач, и ее связывают с процессами принятия решений [41]. P300 разделяют на два разных подтипа: P3a, который возникает немного раньше и имеет лобно-центральную топографию, и P3b, который возникает позже и имеет центрально-теменное распределение. Волну P3a соотносят с процессами внимания к стимулу и детекцией изменения его параметров [41], а функциональная роль волны P3b до сих пор однозначно не определена. Исследователями был предложен ряд гипотез о функциональном значении этой

волны, но в последнее время приоритет отдается предположению о том, что она отражает активацию связи стимул-реакция [42]. Данные о локализации источника P300 являются спорными, в разных работах его связывают с лобной, теменной, височной, а также теменно-затылочной областями коры [43].

В тесте Струпа амплитуда волны P3b выше в ответ на конгруэнтные, чем на неконгруэнтные стимулы, т. к. амплитуда этой волны уменьшается по мере усложнения задачи, снижение величины P3b при неконгруэнтных стимулах может отражать большую сложность в их оценке и классификации [22]. Однако в ряде работ были получены противоположные результаты, и амплитуда волны P3 была выше в ответ на неконгруэнтные стимулы [33]. Авторы предположили, что волна P3 может отражать процесс разрешения конфликта, например при наличии выбора из нескольких вариантов двигательного ответа.

Поздний устойчивый потенциал. В электроэнцефалографических исследованиях с использованием теста Струпа авторы описывают позднюю негативную волну ПСС, наблюдаемую в лобно-центральных отведениях в интервале 550–800 мс после начала предъявления стимула, которую назвали поздним устойчивым потенциалом (late sustained potential) или поздним позитивным комплексом (late positive complex) [44]. В некоторых работах также была описана центрально-теменная позитивная волна, наблюдаемая при сравнении конгруэнтных и неконгруэнтных стимулов [33]. Эти волны разные авторы связывали с процессами вовлечения в действие, разрешения конфликта, реактивации семантического значения слов после разрешения конфликта, а также с выбором ответа [28].

Локализация источника поздней негативности исследована недостаточно, но есть некоторые данные о расположении его основных генераторов в средней или нижней лобной извилине и экстрастриарной коре [32]. Предполагается, что левая средняя лобная извилина и экстрастриарная кора реагируют на наличие

конфликта как такового, в то время как правая средняя лобная извилина может быть чувствительна к конфликту, возникающему из-за менее существенной информации (например, цвет слова), и участвовать в разрешении конфликта [32].

Доказано, что амплитуды волн N2 и P3 зависят от того, конгруэнтным или неконгруэнтным был предыдущий стимул. Например, в исследовании [36] установлено снижение амплитуды N2 на неконгруэнтный стимул, следующий после неконгруэнтного стимула, что может отражать усиление модуляции когнитивного контроля после предъявления неконгруэнтных стимулов. В других работах было показано, что влияние конгруэнтности на амплитуду P3 становится меньше в стимулах, предъявляемых после неконгруэнтного стимула, чем после конгруэнтного. Влияние конгруэнтности предыдущего стимула также было выявлено для амплитуды поздней устойчивой волны [45]. В рамках теории мониторинга конфликта системой когнитивного контроля такие изменения считаются следствием адаптации к конфликту [36].

Потенциал готовности. Еще одна волна ПСС, которая может наблюдаться при выполнении теста Струпа, – латерализованный потенциал готовности (*lateralized readiness potential*) [46]. Эта волна как таковая не связана с обработкой неконгруэнтных стимулов, а скорее отражает процесс подготовки двигательной реакции [47]. Потенциал готовности представляет собой разницу между ПСС на стимулы, на которые испытуемый нажимал на кнопку левой рукой, и ПСС на стимулы, которые нажимал правой рукой, и наблюдается в латеральных центральных отведениях. По данным фМРТ-исследований, активность, соответствующая потенциалу готовности, генерируется в моторных областях, таких как дополнительная моторная кора [48].

Было показано, что в тесте Эриксона потенциал готовности после предъявления неконгруэнтных стимулов появляется позже, чем после конгруэнтных. Кроме того, латентность по-

тенциала готовности увеличивалась в модификациях теста Струпа с большим количеством вариантов моторного ответа [47]. Было предположено, что наличие интерференции приводит к задержке подготовки ответа, а увеличение количества возможных реакций интерференцию усиливает.

Заключение. Несмотря на большое количество исследований, функциональное значение волн ПСС остается неоднозначным [28]. Это связано с некоторыми различиями в идентификации волн ПСС и, соответственно, со смыслом, который им приписывается.

Тем не менее стоит отметить широкую область использования тестов Струп-парадигмы в целом. Это и психиатрия, в частности оценка когнитивных нарушений при аффективных и невротических расстройствах [49], шизофрении [50, 51] и депрессии [52]; и другие области медицины, такие как кардиология [53], неврология [7, 54], эндокринология [55], онкология [56], ортопедия [57].

Также тест Струпа – наиболее часто используемая методика для оценки различных аспектов функций управления действиями, таких как избирательное внимание, когнитивная гибкость (способность к быстрому переключению между разными видами умственных операций), устойчивость к влиянию отвлекающей информации и подавление ненужных действий [7], способность к переключению внимания [58], а также диагностики аффективных нарушений при различных психических расстройствах и психопатологиях [21].

Обобщая проанализированные литературные данные, можно заключить, что, несмотря на значительное количество существующих психофизических и нейрофизиологических исследований, вопрос о мозговых механизмах когнитивного контроля при решении задач, вызывающих когнитивный конфликт, остается открытым. Также можно сделать вывод, что нейропсихологический смысл волн ПСС которые регистрируются в подобных тестах, пока до конца не изучен. В связи с вышесказанным остается актуальным вопрос о продолжении

исследований мозговых механизмов эффекта Струпа и их возможных интерпретаций. По-прежнему значительный научный интерес вызывает влияние разных типов конкурирующей информации на психофизиологические показатели при выполнении теста Струпа, в т. ч. при изменении силы конфликта. Например, было показано, что эффект Струпа при использовании вербальных стимулов зависит

от уровня владения языком, на котором написаны слова [59], однако в более поздних публикациях таких различий выявлено не было [5, 60]. Кроме того, одной из недавних работ [5] было доказано, что эффект Струпа возникает даже в том случае, если слова-стимулы принадлежат к иностранному языку, которого испытуемый не знает, и были выучены незадолго до исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

1. Kahneman D. Attention and Effort. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1973. 246 p.
2. Shen C., Jiang Q., Luo Y., Long J., Tai X., Liu S. Stroop Interference in Children with Developmental Dyslexia: An Event-Related Potentials Study // *Medicine (Baltimore)*. 2021. Vol. 100, № 25. Art. № e26464. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000026464>
3. Li Z., Yang G., Wu H., Li Q., Xu H., Göschl F., Nolte G., Liu X. Modality-Specific Neural Mechanisms of Cognitive Control in a Stroop-Like Task // *Brain Cogn.* 2021. Vol. 147. Art. № 105662. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2020.105662>
4. Huang B., Chen C. Stroop N450 Reflects Both Stimulus Conflict and Response Conflict // *Neuroreport*. 2020. Vol. 31, № 12. P. 851–856. <https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000001454>
5. Šaban I., Schmidt J.R. Stimulus and Response Conflict from a Second Language: Stroop Interference in Weakly-Bilingual and Recently-Trained Languages // *Acta Psychol. (Amst.)*. 2021. Vol. 218. Art. № 103360. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2021.103360>
6. Killian G. The Stroop Color-Word Interference Test // *Test Critiques* / ed. by D. Keyser, R. Sweetland. Vol 2. Kansas City: Test Corporation of America, 1985. P. 751–758.
7. Ramos-Goicoa M., Galdo-Álvarez S., Díaz F., Zurrón M. Effect of Normal Aging and of Mild Cognitive Impairment on Event-Related Potentials to a Stroop Color-Word Task // *J. Alzheimers Dis.* 2016. Vol. 52, № 4. P. 1487–1501. <https://doi.org/10.3233/JAD-151031>
8. Стародубцев А.С., Аллахвердов М.В. Влияние установки о наличии конфликтных стимулов в тесте Струпа на величину интерференции // *Вестн. С.-Петербург. ун-та. Психология и педагогика*. 2017. Т. 7, № 2. С. 137–153. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu16.2017.203>
9. Аллахвердов М.В., Стародубцев А.С. Влияние положения дистрактора на эффект Струпа // *Петерб. психол. журн.* 2016. № 17. С. 125–150.
10. Lupker S.J., Katz A.N. Input, Decision, and Response Factors in Picture–Word Interference // *J. Exp. Psychol. Hum. Learn. Mem.* 1981. Vol. 7, № 4. P. 269–282. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.7.4.269>
11. Steinhauser M., Hübner R. Distinguishing Response Conflict and Task Conflict in the Stroop Task: Evidence from Ex-Gaussian Distribution Analysis // *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 2009. Vol. 35, № 5. P. 1398–1412. <https://doi.org/10.1037/a0016467>
12. Аллахвердов В.М., Аллахвердов М.В. Феномен Струпа: интерференция как логический парадокс // *Вестн. С.-Петербург. ун-та. Сер. 16: Психология. Педагогика*. 2014. № 4. С. 90–102.
13. Roelofs A. A Unified Computational Account of Cumulative Semantic, Semantic Blocking, and Semantic Distractor Effects in Picture Naming // *Cognition*. 2018. Vol. 172. P. 59–72. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.12.007>
14. Blais C., Besner D. A Reverse Stroop Effect Without Translation or Reading Difficulty // *Psychon. Bull. Rev.* 2007. Vol. 14, № 3. P. 466–469. <https://doi.org/10.3758/bf03194090>

15. Logan G.D., Zbrodoff N.J., Williamson J. Strategies in the Color–Word Stroop Task // *Bul. Psychon. Soc.* 1984. Vol. 22. P. 135–138. <https://doi.org/10.3758/BF03333784>
16. Simon J.R., Ruddell A.P. Auditory S-R Compatibility: The Effect of an Irrelevant Cue on Information Processing // *J. Appl. Psychol.* 1967. Vol. 51, № 3. P. 300–304. <https://doi.org/10.1037/h0020586>
17. Eriksen B.A., Eriksen C.W. Effects of Noise Letters upon the Identification of a Target Letter in a Nonsearch Task // *Percept. Psychophys.* 1974. Vol. 16. P. 143–149. <https://doi.org/10.3758/BF03203267>
18. Long B., Konkle T. A Familiar-Size Stroop Effect in the Absence of Basic-Level Recognition // *Cognition*. 2017. Vol. 168. P. 234–242. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.06.025>
19. Gajewski P.D., Falkenstein M., Thönes S., Wascher E. Stroop Task Performance Across the Lifespan: High Cognitive Reserve in Older Age Is Associated with Enhanced Proactive and Reactive Interference Control // *Neuroimage*. 2020. Vol. 207. Art. № 116430. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116430>
20. De Houwer J. On the Role of Stimulus-Response and Stimulus-Stimulus Compatibility in the Stroop Effect // *Mem. Cognit.* 2003. Vol. 31, № 3. P. 353–359. <https://doi.org/10.3758/BF03194393>
21. Killikelly C., Szűcs D. Asymmetry in Stimulus and Response Conflict Processing Across the Adult Lifespan: ERP and EMG Evidence // *Cortex*. 2013. Vol. 49, № 10. P. 2888–2903. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.08.017>
22. Wang W., Qi M., Gao H. An ERP Investigation of the Working Memory Stroop Effect // *Neuropsychologia*. 2021. Vol. 152. Art. № 107752. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2021.107752>
23. Straub E.R., Schmidts C., Kunde W., Zhang J., Kiesel A., Dignath D. Limitations of Cognitive Control on Emotional Distraction – Congruency in the Color Stroop Task Does Not Modulate the Emotional Stroop Effect // *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 2022. Vol. 22, № 1. P. 21–41. <https://doi.org/10.3758/s13415-021-00935-4>
24. Ikeda S. Influence of Color on Emotion Recognition Is Not Bidirectional: An Investigation of the Association Between Color and Emotion Using a Stroop-Like Task // *Psychol. Rep.* 2020. Vol. 123, № 4. P. 1226–1239. <https://doi.org/10.1177/0033294119850480>
25. Smolker H.R., Wang K., Luciana M., Bjork J.M., Gonzalez R., Barch D.M., McGlade E.C., Kaiser R.H., Friedman N.P., Hewitt J.K., Banich M.T. The Emotional Word-Emotional Face Stroop Task in the ABCD Study: Psychometric Validation and Associations with Measures of Cognition and Psychopathology // *Dev. Cogn. Neurosci.* 2022. Vol. 53. Art. № 101054. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2021.101054>
26. Sharma V.V., Thaut M., Russo F., Alain C. Absolute Pitch and Musical Expertise Modulate Neuro-Electric and Behavioral Responses in an Auditory Stroop Paradigm // *Front. Neurosci.* 2019. Vol. 13. Art. № 932. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00932>
27. Tarai S., Srinivasan N. Emotional Prosody Stroop Effect in Hindi: An Event Related Potential Study // *Prog. Brain. Res.* 2019. Vol. 247. P. 193–217. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2019.04.003>
28. Heidlmayr K., Kihlstedt M., Isel F. A Review on the Electroencephalography Markers of Stroop Executive Control Processes // *Brain Cogn.* 2020. Vol. 146. Art. № 105637. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2020.105637>
29. Botvinick M.M., Braver T.S., Barch D.M., Carter C.S., Cohen J.D. Conflict Monitoring and Cognitive Control // *Psychol. Rev.* 2001. Vol. 108, № 3. P. 624–652. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.108.3.624>
30. Carter C.S., van Veen V. Anterior Cingulate Cortex and Conflict Detection: An Update of Theory and Data // *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 2007. Vol. 7, № 4. P. 367–379. <https://doi.org/10.3758/cabn.7.4.367>
31. Song S., Zilverstand A., Song H., d'Oleire Uquillas F., Wang Y., Xie C., Cheng L., Zou Z. The Influence of Emotional Interference on Cognitive Control: A Meta-Analysis of Neuroimaging Studies Using the Emotional Stroop Task // *Sci. Rep.* 2017. Vol. 7, № 1. Art. № 2088. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02266-2>
32. West R. Neural Correlates of Cognitive Control and Conflict Detection in the Stroop and Digit-Location Tasks // *Neuropsychologia*. 2003. Vol. 41, № 8. P. 1122–1135. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(02\)00297-x](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(02)00297-x)
33. Coderre E., Conklin K., van Heuven W.J.B. Electrophysiological Measures of Conflict Detection and Resolution in the Stroop Task // *Brain Res.* 2011. Vol. 21, № 1413. P. 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.07.017>
34. Kropotov J.D., Pronina M.V., Ponomarev V.A., Poliakov Y.I., Plotnikova I.V., Mueller A. Latent ERP Components of Cognitive Dysfunctions in ADHD and Schizophrenia // *Clin. Neurophysiol.* 2019. Vol. 130, № 4. P. 445–453. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.01.015>
35. Gawłowska M., Domagalik A., Beldzik E., Marek T., Mojsa-Kaja J. Dynamics of Error-Related Activity in Deterministic Learning – an EEG and fMRI Study // *Sci. Rep.* 2018. Vol. 8, № 1. Art. № 14617. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32995-x>

36. Larson M.J., Clayson P.E., Clawson A. Making Sense of All the Conflict: A Theoretical Review and Critique of Conflict-Related ERPs // *Int. J. Psychophysiol.* 2014. Vol. 93, № 3. P. 283–297. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.06.007>
37. Friedman N.P., Miyake A. The Relations Among Inhibition and Interference Control Functions: A Latent-Variable Analysis // *J. Exp. Psychol. Gen.* 2004. Vol. 133, № 1. P. 101–135. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.101>
38. Chen Z., Lei X., Ding C., Li H., Chen A. The Neural Mechanisms of Semantic and Response Conflicts: An fMRI Study of Practice-Related Effects in the Stroop Task // *Neuroimage.* 2013. Vol. 66. P. 577–584. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.10.028>
39. Markela-Lerenc J., Ille N., Kaiser S., Fiedler P., Mundt C., Weisbrod M. Prefrontal-Cingulate Activation During Executive Control: Which Comes First? // *Cogn. Brain Res.* 2004. Vol. 18, № 3. P. 278–287. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2003.10.013>
40. Bruchmann M., Herper K., Konrad C., Pantev C., Huster R.J. Individualized EEG Source Reconstruction of Stroop Interference with Masked Color Words // *Neuroimage.* 2010. Vol. 49, № 2. P. 1800–1809. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.09.032>
41. Polich J. Updating P300: An Integrative Theory of P3a and P3b // *Clin. Neurophysiol.* 2007. Vol. 118, № 10. P. 2128–2148. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>
42. Verleger R. Effects of Relevance and Response Frequency on P3b Amplitudes: Review of Findings and Comparison of Hypotheses About the Process Reflected by P3b // *Psychophysiology.* 2020. Vol. 57, № 7. Art. № e13542. <https://doi.org/10.1111/psyp.13542>
43. Overbye K., Walhovd K.B., Fjell A.M., Tamnes C.K., Huster R.J. Electrophysiological and Behavioral Indices of Cognitive Conflict Processing Across Adolescence // *Dev. Cogn. Neurosci.* 2021. Vol. 48. Art. № 100929. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2021.100929>
44. Heidlmayr K., Hemforth B., Moutier S., Isel F. Neurodynamics of Executive Control Processes in Bilinguals: Evidence from ERP and Source Reconstruction Analyses // *Front. Psychol.* 2015. Vol. 6. Art. № 821. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00821>
45. Larson M.J., Clayson P.E., Kirwan C.B., Weissman D.H. Event-Related Potential Indices of Congruency Sequence Effects Without Feature Integration or Contingency Learning Confounds // *Psychophysiology.* 2016. Vol. 53, № 6. P. 814–822. <https://doi.org/10.1111/psyp.12625>
46. Coles M.G., Gratton G., Donchin E. Detecting Early Communication: Using Measures of Movement-Related Potentials to Illuminate Human Information Processing // *Biol. Psychol.* 1988. Vol. 26, № 1-3. P. 69–89. [https://doi.org/10.1016/0301-0511\(88\)90014-2](https://doi.org/10.1016/0301-0511(88)90014-2)
47. Donohue S.E., Appelbaum L.G., McKay C.C., Woldorff M.G. The Neural Dynamics of Stimulus and Response Conflict Processing as a Function of Response Complexity and Task Demands // *Neuropsychologia.* 2016. Vol. 84. P. 14–28. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.01.035>
48. Sakata H., Itoh K., Suzuki Y., Nakamura K., Watanabe M., Igarashi H., Nakada T. Slow Accumulations of Neural Activities in Multiple Cortical Regions Precede Self-Initiation of Movement: An Event-Related fMRI Study // *eNeuro.* 2017. Vol. 4, № 5. Art. № ENEURO.0183-17.2017. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0183-17.2017>
49. Joyal M., Wensing T., Lévassieur-Moreau J., Leblond J., Sack A.T., Fecteau S. Characterizing Emotional Stroop Interference in Posttraumatic Stress Disorder, Major Depression and Anxiety Disorders: A Systematic Review and Meta-Analysis // *PLoS One.* 2019. Vol. 14, № 4. Art. № e0214998. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214998>
50. Popov T., Kustermann T., Popova P., Miller G.A., Rockstroh B. Oscillatory Brain Dynamics Supporting Impaired Stroop Task Performance in Schizophrenia-Spectrum Disorder // *Schizophr. Res.* 2019. Vol. 204. P. 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2018.08.026>
51. Salgado-Pineda P., Rodríguez-Jiménez R., Moreno-Ortega M., Dompablo M., Martínez de Aragón A., Salvador R., McKenna P.J., Pomarol-Clotet E., Palomo T. Activation and Deactivation Patterns in Schizophrenia During Performance of an fMRI Adapted Version of the Stroop Task // *J. Psychiatr. Res.* 2021. Vol. 144. P. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2021.09.039>
52. Ros L., Satorres E., Fernández-Aguilar L., Delhom I., López-Torres J., Latorre J.M., Melendez J.C. Differential Effects of Faces and Words in Cognitive Control in Older Adults with and Without Major Depressive Disorder: An Emotional Stroop Task Study // *Appl. Neuropsychol. Adult.* 2023. Vol. 30, № 2. P. 239–248. <https://doi.org/10.1080/23279095.2021.1927037>

53. Aliyeva N., Yozgat Y., Bakhshaliyev N., Afshord T.Z., Yozgat C.Y., Kilicoglu A.G. Evaluation of Executive Functions in Children with Rheumatic Heart Diseases // *Pediatr. Int.* 2022. Vol. 64, № 1. Art. № e15035. <https://doi.org/10.1111/ped.15035>

54. Bo W., Lei M., Tao S., Jie L.T., Qian L., Lin F.Q., Ping W.X. Effects of Combined Intervention of Physical Exercise and Cognitive Training on Cognitive Function in Stroke Survivors with Vascular Cognitive Impairment: A Randomized Controlled Trial // *Clin. Rehabil.* 2019. Vol. 33, № 1. P. 54–63. <https://doi.org/10.1177/0269215518791007>

55. Yin J., Xie L., Luo D., Huang J., Guo R., Zheng Y., Xu W., Duan S., Lin Z., Ma S. Changes of Structural and Functional Attention Control Networks in Subclinical Hypothyroidism // *Front. Behav. Neurosci.* 2021. Vol. 15. Art. № 725908. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2021.725908>

56. Tarantino V., Visalli A., Facchini S., Rossato C., Bertoldo A., Silvestri E., Cecchin D., Capizzi M., Anglani M., Baro V., Denaro L., Della Puppa A., D'Avella D., Corbetta M., Vallesi A. Impaired Cognitive Control in Patients with Brain Tumors // *Neuropsychologia*. 2022. Vol. 169. Art. № 108187. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108187>

57. Политов М.Е., Штайнмец А.А., Красносельский М.Я., Бастрикин С.Ю., Буланова Е.Л., Овечкин А.М. Сравнительный анализ методов оценки когнитивной дисфункции в периоперационном периоде у пациентов пожилого возраста после эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов // *Рос. мед. журн.* 2015. Т. 21, № 3. С. 20–25.

58. Kiesel A., Steinhauser M., Wendt M., Falkenstein M., Jost K., Philipp A.M., Koch I. Control and Interference in Task Switching: A Review // *Psychol. Bull.* 2010. Vol. 136, № 5. P. 849–874. <https://doi.org/10.1037/a0019842>

59. Braet W., Noppe N., Wagemans J., Op de Beeck H. Increased Stroop Interference with Better Second-Language Reading Skill // *Q. J. Exp. Psychol. (Hove)*. 2011. Vol. 64, № 3. P. 596–607. <https://doi.org/10.1080/17470218.2010.513735>

60. Šaban I., Schmidt J.R. Interlinguistic Conflict: Word-Word Stroop with First and Second Language Colour Words // *Cogn. Process.* 2022. Vol. 23, № 4. P. 619–636. <https://doi.org/10.1007/s10339-022-01105-1>

References

1. Kahneman D. *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, 1973. 246 p.
2. Shen C., Jiang Q., Luo Y., Long J., Tai X., Liu S. Stroop Interference in Children with Developmental Dyslexia: An Event-Related Potentials Study. *Medicine (Baltimore)*, 2021, vol. 100, no. 25. Art. no. e26464. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000026464>
3. Li Z., Yang G., Wu H., Li Q., Xu H., Göschl F., Nolte G., Liu X. Modality-Specific Neural Mechanisms of Cognitive Control in a Stroop-Like Task. *Brain Cogn.*, 2021, vol. 147. Art. no. 105662. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2020.105662>
4. Huang B., Chen C. Stroop N450 Reflects Both Stimulus Conflict and Response Conflict. *Neuroreport*, 2020, vol. 31, no. 12, pp. 851–856. <https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000001454>
5. Šaban I., Schmidt J.R. Stimulus and Response Conflict from a Second Language: Stroop Interference in Weakly-Bilingual and Recently-Trained Languages. *Acta Psychol. (Amst.)*, 2021, vol. 218. Art. no. 103360. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2021.103360>
6. Killian G. The Stroop Color-Word Interference Test. Keyser D., Sweetland R. (eds.). *Test Critiques*. Vol. 2. Kansas City, 1985, pp. 751–758.
7. Ramos-Goicoa M., Galdo-Álvarez S., Díaz F., Zurrón M. Effect of Normal Aging and of Mild Cognitive Impairment on Event-Related Potentials to a Stroop Color-Word Task. *J. Alzheimers Dis.*, 2016, vol. 52, no. 4, pp. 1487–1501. <https://doi.org/10.3233/JAD-151031>
8. Starodubcev A.S., Allakhverdov M.V. Influence of Expectation of Conflict Stimuli on Stroop Effect. *Vestnik Sankt-Petersburgskogo universiteta. Psikhologiya i pedagogika*, 2017, vol. 7, no. 2, pp. 137–153 (in Russ.). <https://doi.org/10.21638/11701/spbu16.2017.203>
9. Allakhverdov M.V., Starodubtsev A.S. Vliyanie polozheniya distraktora na effekt Strupa [Influence of Distracter's Location on Stroop Interference]. *Peterburgskiy psikhologicheskij zhurnal*, 2016, no. 17, pp. 125–150.
10. Lupker S.J., Katz A.N. Input, Decision, and Response Factors in Picture–Word Interference. *J. Exp. Psychol. Hum. Learn. Mem.*, 1981, vol. 7, no. 4, pp. 269–282. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.7.4.269>
11. Steinhauser M., Hübner R. Distinguishing Response Conflict and Task Conflict in the Stroop Task: Evidence from Ex-Gaussian Distribution Analysis. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, 2009, vol. 35, no. 5, pp. 1398–1412. <https://doi.org/10.1037/a0016467>

12. Allakhverdov V.M., Allakhverdov M.V. Fenomen Strupa: interferentsiya kak logicheskiy paradoks [Stroop Effect: Interference as a Logic Paradox]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 16: Psikhologiya. Pedagogika*, 2014, no. 4, pp. 90–102.
13. Roelofs A. A Unified Computational Account of Cumulative Semantic, Semantic Blocking, and Semantic Distractor Effects in Picture Naming. *Cognition*, 2018, vol. 172, pp. 59–72. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.12.007>
14. Blais C., Besner D. A Reverse Stroop Effect Without Translation or Reading Difficulty. *Psychon. Bull. Rev.*, 2007, vol. 14, no. 3, pp. 466–469. <https://doi.org/10.3758/bf03194090>
15. Logan G.D., Zbrodoff N.J., Williamson J. Strategies in the Color–Word Stroop Task. *Bull. Psychon. Soc.*, 1984, vol. 22, pp. 135–138. <https://doi.org/10.3758/BF03333784>
16. Simon J.R., Ruddell A.P. Auditory S-R Compatibility: The Effect of an Irrelevant Cue on Information Processing. *J. Appl. Psychol.*, 1967, vol. 51, no. 3, pp. 300–304. <https://doi.org/10.1037/h0020586>
17. Eriksen B.A., Eriksen C.W. Effects of Noise Letters upon the Identification of a Target Letter in a Nonsearch Task. *Percept. Psychophys.*, 1974, vol. 16, pp. 143–149. <https://doi.org/10.3758/BF03203267>
18. Long B., Konkle T. A Familiar-Size Stroop Effect in the Absence of Basic-Level Recognition. *Cognition*, 2017, vol. 168, pp. 234–242. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.06.025>
19. Gajewski P.D., Falkenstein M., Thönes S., Wascher E. Stroop Task Performance Across the Lifespan: High Cognitive Reserve in Older Age Is Associated with Enhanced Proactive and Reactive Interference Control. *Neuroimage*, 2020, vol. 207. Art. no. 116430. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116430>
20. De Houwer J. On the Role of Stimulus-Response and Stimulus-Stimulus Compatibility in the Stroop Effect. *Mem. Cognit.*, 2003, vol. 31, no. 3, pp. 353–359. <https://doi.org/10.3758/BF03194393>
21. Killikelly C., Szűcs D. Asymmetry in Stimulus and Response Conflict Processing Across the Adult Lifespan: ERP and EMG Evidence. *Cortex*, 2013, vol. 49, no. 10, pp. 2888–2903. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.08.017>
22. Wang W., Qi M., Gao H. An ERP Investigation of the Working Memory Stroop Effect. *Neuropsychologia*, 2021, vol. 152. Art. no. 107752. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2021.107752>
23. Straub E.R., Schmidts C., Kunde W., Zhang J., Kiesel A., Dignath D. Limitations of Cognitive Control on Emotional Distraction – Congruency in the Color Stroop Task Does Not Modulate the Emotional Stroop Effect. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.*, 2022, vol. 22, no. 1, pp. 21–41. <https://doi.org/10.3758/s13415-021-00935-4>
24. Ikeda S. Influence of Color on Emotion Recognition Is Not Bidirectional: An Investigation of the Association Between Color and Emotion Using a Stroop-Like Task. *Psychol. Rep.*, 2020, vol. 123, no. 4, pp. 1226–1239. <https://doi.org/10.1177/0033294119850480>
25. Smolker H.R., Wang K., Luciana M., Bjork J.M., Gonzalez R., Barch D.M., McGlade E.C., Kaiser R.H., Friedman N.P., Hewitt J.K., Banich M.T. The Emotional Word-Emotional Face Stroop Task in the ABCD Study: Psychometric Validation and Associations with Measures of Cognition and Psychopathology. *Dev. Cogn. Neurosci.*, 2022, vol. 53. Art. no. 101054. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2021.101054>
26. Sharma V.V., Thaut M., Russo F., Alain C. Absolute Pitch and Musical Expertise Modulate Neuro-Electric and Behavioral Responses in an Auditory Stroop Paradigm. *Front. Neurosci.*, 2019, vol. 13. Art. no. 932. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00932>
27. Tarai S., Srinivasan N. Emotional Prosody Stroop Effect in Hindi: An Event Related Potential Study. *Prog. Brain Res.*, 2019, vol. 247, pp. 193–217. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2019.04.003>
28. Heidlmayr K., Kihlstedt M., Isel F. A Review on the Electroencephalography Markers of Stroop Executive Control Processes. *Brain Cogn.*, 2020, vol. 146. Art. no. 105637. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2020.105637>
29. Botvinick M.M., Braver T.S., Barch D.M., Carter C.S., Cohen J.D. Conflict Monitoring and Cognitive Control. *Psychol. Rev.*, 2001, vol. 108, no. 3, pp. 624–652. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.108.3.624>
30. Carter C.S., van Veen V. Anterior Cingulate Cortex and Conflict Detection: An Update of Theory and Data. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.*, 2007, vol. 7, no. 4, pp. 367–379. <https://doi.org/10.3758/cabn.7.4.367>
31. Song S., Zilverstand A., Song H., d'Oleire Uquillas F., Wang Y., Xie C., Cheng L., Zou Z. The Influence of Emotional Interference on Cognitive Control: A Meta-Analysis of Neuroimaging Studies Using the Emotional Stroop Task. *Sci. Rep.*, 2017, vol. 7, no. 1. Art. no. 2088. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02266-2>
32. West R. Neural Correlates of Cognitive Control and Conflict Detection in the Stroop and Digit-Location Tasks. *Neuropsychologia*, 2003, vol. 41, no. 8, pp. 1122–1135. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(02\)00297-x](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(02)00297-x)

33. Coderre E., Conklin K., van Heuven W.J.B. Electrophysiological Measures of Conflict Detection and Resolution in the Stroop Task. *Brain Res.*, 2011, vol. 21, no. 1413, pp. 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.07.017>
34. Kropotov J.D., Pronina M.V., Ponomarev V.A., Poliakov Y.I., Plotnikova I.V., Mueller A. Latent ERP Components of Cognitive Dysfunctions in ADHD and Schizophrenia. *Clin. Neurophysiol.*, 2019, vol. 130, no. 4, pp. 445–453. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.01.015>
35. Gawlowska M., Domagalik A., Beldzik E., Marek T., Mojsa-Kaja J. Dynamics of Error-Related Activity in Deterministic Learning – an EEG and fMRI Study. *Sci. Rep.*, 2018, vol. 8, no. 1. Art. no. 14617. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32995-x>
36. Larson M.J., Clayson P.E., Clawson A. Making Sense of All the Conflict: A Theoretical Review and Critique of Conflict-Related ERPs. *Int. J. Psychophysiol.*, 2014, vol. 93, no. 3, pp. 283–297. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.06.007>
37. Friedman N.P., Miyake A. The Relations Among Inhibition and Interference Control Functions: A Latent-Variable Analysis. *J. Exp. Psychol. Gen.*, 2004, vol. 133, no. 1, pp. 101–135. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.101>
38. Chen Z., Lei X., Ding C., Li H., Chen A. The Neural Mechanisms of Semantic and Response Conflicts: An fMRI Study of Practice-Related Effects in the Stroop Task. *Neuroimage*, 2013, vol. 66, pp. 577–584. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.10.028>
39. Markela-Lerenc J., Ille N., Kaiser S., Fiedler P., Mundt C., Weisbrod M. Prefrontal-Cingulate Activation During Executive Control: Which Comes First? *Brain Res. Cogn. Brain Res.*, 2004, vol. 18, no. 3, pp. 278–287. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2003.10.013>
40. Bruchmann M., Herper K., Konrad C., Pantev C., Huster R.J. Individualized EEG Source Reconstruction of Stroop Interference with Masked Color Words. *Neuroimage*, 2010, vol. 49, no. 2, pp. 1800–1809. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.09.032>
41. Polich J. Updating P300: An Integrative Theory of P3a and P3b. *Clin. Neurophysiol.*, 2007, vol. 118, no. 10, pp. 2128–2148. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>
42. Verleger R. Effects of Relevance and Response Frequency on P3b Amplitudes: Review of Findings and Comparison of Hypotheses About the Process Reflected by P3b. *Psychophysiology*, 2020, vol. 57, no. 7. Art. no. e13542. <https://doi.org/10.1111/psyp.13542>
43. Overbye K., Walhovd K.B., Fjell A.M., Tamnes C.K., Huster R.J. Electrophysiological and Behavioral Indices of Cognitive Conflict Processing Across Adolescence. *Dev. Cogn. Neurosci.*, 2021, vol. 48. Art. no. 100929. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2021.100929>
44. Heidlmayr K., Hemforth B., Moutier S., Isel F. Neurodynamics of Executive Control Processes in Bilinguals: Evidence from ERP and Source Reconstruction Analyses. *Front. Psychol.*, 2015, vol. 6. Art. no. 821. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00821>
45. Larson M.J., Clayson P.E., Kirwan C.B., Weissman D.H. Event-Related Potential Indices of Congruency Sequence Effects Without Feature Integration or Contingency Learning Confounds. *Psychophysiology*, 2016, vol. 53, no. 6, pp. 814–822. <https://doi.org/10.1111/psyp.12625>
46. Coles M.G., Gratton G., Donchin E. Detecting Early Communication: Using Measures of Movement-Related Potentials to Illuminate Human Information Processing. *Biol. Psychol.*, 1988, vol. 26, no. 1-3, pp. 69–89. [https://doi.org/10.1016/0301-0511\(88\)90014-2](https://doi.org/10.1016/0301-0511(88)90014-2)
47. Donohue S.E., Appelbaum L.G., McKay C.C., Woldorff M.G. The Neural Dynamics of Stimulus and Response Conflict Processing as a Function of Response Complexity and Task Demands. *Neuropsychologia*, 2016, vol. 84, pp. 14–28. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.01.035>
48. Sakata H., Itoh K., Suzuki Y., Nakamura K., Watanabe M., Igarashi H., Nakada T. Slow Accumulations of Neural Activities in Multiple Cortical Regions Precede Self-Initiation of Movement: An Event-Related fMRI Study. *eNeuro*, 2017, vol. 4, no. 5. Art. no. ENEURO.0183-17.2017. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0183-17.2017>
49. Joyal M., Wensing T., Lévassieur-Moreau J., Leblond J., Sack A.T., Fecteau S. Characterizing Emotional Stroop Interference in Posttraumatic Stress Disorder, Major Depression and Anxiety Disorders: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One*, 2019, vol. 14, no. 4. Art. no. e0214998. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214998>
50. Popov T., Kustermann T., Popova P., Miller G.A., Rockstroh B. Oscillatory Brain Dynamics Supporting Impaired Stroop Task Performance in Schizophrenia-Spectrum Disorder. *Schizophr. Res.*, 2019, vol. 204, pp. 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2018.08.026>

51. Salgado-Pineda P., Rodriguez-Jimenez R., Moreno-Ortega M., Dompablo M., Martínez de Aragón A., Salvador R., McKenna P.J., Pomarol-Clotet E., Palomo T. Activation and Deactivation Patterns in Schizophrenia During Performance of an fMRI Adapted Version of the Stroop Task. *J. Psychiatr. Res.*, 2021, vol. 144, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2021.09.039>
52. Ros L., Satorres E., Fernández-Aguilar L., Delhom I., López-Torres J., Latorre J.M., Melendez J.C. Differential Effects of Faces and Words in Cognitive Control in Older Adults with and Without Major Depressive Disorder: An Emotional Stroop Task Study. *Appl. Neuropsychol. Adult*, 2023, vol. 30, no. 2, pp. 239–248. <https://doi.org/10.1080/23279095.2021.1927037>
53. Aliyeva N., Yozgat Y., Bakhshaliyev N., Afshord T.Z., Yozgat C.Y., Kilicoglu A.G. Evaluation of Executive Functions in Children with Rheumatic Heart Diseases. *Pediatr. Int.*, 2022, vol. 64, no. 1. Art. no. e15035. <https://doi.org/10.1111/ped.15035>
54. Bo W., Lei M., Tao S., Jie L.T., Qian L., Lin F.Q., Ping W.X. Effects of Combined Intervention of Physical Exercise and Cognitive Training on Cognitive Function in Stroke Survivors with Vascular Cognitive Impairment: A Randomized Controlled Trial. *Clin. Rehabil.*, 2019, vol. 33, no. 1, pp. 54–63. <https://doi.org/10.1177/0269215518791007>
55. Yin J., Xie L., Luo D., Huang J., Guo R., Zheng Y., Xu W., Duan S., Lin Z., Ma S. Changes of Structural and Functional Attention Control Networks in Subclinical Hypothyroidism. *Front. Behav. Neurosci.*, 2021, vol. 15. Art. no. 725908. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2021.725908>
56. Tarantino V., Visalli A., Facchini S., Rossato C., Bertoldo A., Silvestri E., Cecchin D., Capizzi M., Anglani M., Baro V., Denaro L., Della Puppa A., D'Avella D., Corbetta M., Vallesi A. Impaired Cognitive Control in Patients with Brain Tumors. *Neuropsychologia*, 2022, vol. 169. Art. no. 108187. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108187>
57. Politov M.E., Shtaynmets A.A., Krasnosel'skiy M.Ya., Bastrikin S.Yu., Bulanova E.L., Ovechkin A.M. Sravnitel'nyy analiz metodov otsenki kognitivnoy disfunktsii v perioperatsionnom periode u patsientov pozhilogo vozrasta posle endoprotezirovaniya tazobedrennogo i kolennogo sustavov [The Comparative Analysis of Methods of Evaluation of Cognitive Dysfunction in Peri-Operational Period in Patients of Elder Age After Endoprosthesis Replacement of Hip and Knee Joints]. *Rossiyskiy meditsinskiy zhurnal*, 2015, vol. 21, no. 3, pp. 20–25.
58. Kiesel A., Steinhauser M., Wendt M., Falkenstein M., Jost K., Philipp A.M., Koch I. Control and Interference in Task Switching: A Review. *Psychol. Bull.*, 2010, vol. 136, no. 5, pp. 849–874. <https://doi.org/10.1037/a0019842>
59. Braet W., Noppe N., Wagemans J., Op de Beeck H. Increased Stroop Interference with Better Second-Language Reading Skill. *Q. J. Exp. Psychol. (Hove)*, 2011, vol. 64, no. 3, pp. 596–607. <https://doi.org/10.1080/17470218.2010.513735>
60. Šaban I., Schmidt J.R. Interlinguistic Conflict: Word-Word Stroop with First and Second Language Colour Words. *Cogn. Process.*, 2022, vol. 23, no. 4, pp. 619–636. <https://doi.org/10.1007/s10339-022-01105-1>

Поступила в редакцию 02.05.2023 / Одобрена после рецензирования 06.12.2023 / Принята к публикации 08.12.2023.
Submitted 2 May 2023 / Approved after reviewing 6 December 2023 / Accepted for publication 8 December 2023.

Массаж в акушерстве и перспективы применения авторского метода виброакустического массажа поющими чашами в пренатальный период (обзор)

Виктор Олегович Огуй* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1321-9824>

Евгений Михайлович Литвиченко* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5116-6612>

Евгений Витальевич Быков* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

*Уральский государственный университет физической культуры
(Челябинск, Россия)

Аннотация. Большинство женщин во время беременности испытывают ряд проблем со здоровьем, например боли в спине, тревогу, нарушения сна, головные боли и т. д. При этом лечение данных состояний рекомендуется проводить с минимизацией фармакологического воздействия. Поэтому актуальными становятся немедикаментозные методы, такие как массаж и, в частности, виброакустический массаж поющими чашами. Однако существует мнение об осторожном применении массажа во время беременности, особенно в первый и последний триместры. Цель настоящей работы – анализ преимуществ массажа и специфики его применения у беременных, а также определение возможности использования авторского метода виброакустического массажа поющими чашами (патент RU 2687006 С1) в пренатальный период. В связи с этим проведен анализ публикаций о преимуществах массажа и особенностях его применения у беременных. Поиск научных работ осуществлялся в базах данных ScienceDirect, Cochrane Library, eLIBRARY, PubMed по ключевым словам: *massage therapy, pregnant women, classical massage, pregnancy, massage, physical therapy modalities, relaxation, pregnancy massage, antenatal massage*. В результате сделаны следующие выводы: 1) здоровые женщины с неосложненной беременностью могут получать массаж в течение всего пренатального периода; 2) массаж во время беременности уменьшает симптомы депрессии и тревоги, нарушения сна, ослабляет боль в ногах и спине и оказывает положительное влияние на иммунную функцию; 3) во время массажа для беременных следует применять умеренное давление; 4) женщинам с осложненной беременностью массаж следует проводить только после консультации с акушером; 5) виброакустический массаж поющими чашами улучшает кровообращение, снижает тревожность, улучшает эмоциональное состояние и качество сна, что делает данный метод перспективным при беременности, однако требуются дальнейшие исследования для определения его эффективности, безопасности и корректировки протокола процедуры с учетом особенностей его применения у беременных.

Ключевые слова: массаж, беременность, пренатальный период, перинатальный массаж, перинеальный массаж, виброакустический массаж, поющие чаши.

Ответственный за переписку: Виктор Олегович Огуй, адрес: 454091, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, д. 1; e-mail: doktornn@yandex.ru

Благодарности. Авторы выражают благодарность Людмиле Борисовне Аренковой, врачу акушеру-гинекологу, гинекологу-эндокринологу, врачу ультразвуковой диагностики (Нижний Новгород), за высокопрофессиональные консультации о возможности применения методик, представленных в статье, в пренатальный период.

Для цитирования: Огуй, В. О. Массаж в акушерстве и перспективы применения авторского метода виброакустического массажа поющими чашами в пренатальный период (обзор) / В. О. Огуй, Е. М. Литвиченко, Е. В. Быков // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 129-143. – DOI: 10.37482/2687-1491-Z185

Review article

Massage in Obstetrics and the Prospects of Using the Author's Method of Vibroacoustic Massage with Singing Bowls During Pregnancy (Review)

Viktor O. Oguy* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1321-9824>

Evgeniy M. Litvichenko* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5116-6612>

Evgeniy V. Bykov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

*The Urals State University of Physical Culture
(Chelyabinsk, Russian Federation)

Abstract. During pregnancy, most women experience a number of health problems, e.g. back pain, anxiety, sleep disorders, headaches, etc. At the same time, it is recommended to treat these conditions with minimal medication. Therefore, non-drug methods, such as massage, and vibroacoustic massage with singing bowls in particular, become relevant. However, an opinion exists that during pregnancy massage should be used with caution, especially in the 1st and 3rd trimesters. The purpose of this article is to analyse the advantages of massage and the specifics of its use in pregnant women, as well as to determine the possibility of applying the author's method of vibroacoustic massage with singing bowls (patent RU2687006C1) during the prenatal period. In this regard, we analysed the works on the benefits of massage and its use in pregnant women. The ScienceDirect, Cochrane Library, eLIBRARY, and PubMed databases were used to search for the following keywords: *massage therapy, pregnant women, classical massage, pregnancy, massage, physical therapy modalities, relaxation, pregnancy massage, antenatal massage*. As a result, we came to a number of conclusions: 1) healthy women with uncomplicated pregnancy can have massage throughout the gestation period; 2) massage during pregnancy reduces the symptoms of depression and anxiety, improves sleep, relieves leg and back pain, and has a positive effect on the immune function; 3) during the massage, moderate pressure should be applied; 4) women with complicated pregnancy should get massage only after consulting an obstetrician; 5) vibroacoustic massage with singing bowls improves blood circulation, reduces anxiety, and improves emotional state and sleep quality, which makes it a promising massage method during pregnancy; however, further research is required to determine its effectiveness and safety as well as to adjust the procedure's protocol in order to use it in pregnant women.

Keywords: *massage, pregnancy, prenatal period, perinatal massage, perineal massage, vibroacoustic massage, singing bowls.*

Corresponding author: Viktor Oguy, address: ul. Ordzhonikidze 1, Chelyabinsk, 454091, Russian Federation; e-mail: doktornn@yandex.ru

Acknowledgements. The authors would like to thank Lyudmila B. Arenkova, obstetrician-gynaecologist, gynaecologist-endocrinologist and ultrasound physician (Nizhny Novgorod, Russia), for her highly professional consultations on the possibility of using the methods presented in the article during pregnancy.

For citation: Oguy V.O., Litvichenko E.M., Bykov E.V. Massage in Obstetrics and the Prospects of Using the Author's Method of Vibroacoustic Massage with Singing Bowls During Pregnancy (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 129–143. DOI: 10.37482/2687-1491-Z185

Беременные женщины зачастую испытывают ряд проблем со здоровьем, например такие, как боли в спине, тревога, нарушения сна и головные боли. По данным A. Bryndal et al. [1], распространенность болей в пояснице во время беременности составляет более 50 %. Другие исследования показали, что 44 % беременных женщин испытывали боль в пояснице, или боли в тазу, или и то и другое [2]. Хотя большинство женщин выздоравливают в течение месяца после родов, значительная их доля (5,0–8,5 %) продолжает жаловаться на боли даже на протяжении 2 лет после родов [3, 4]. Кроме того, беременные женщины часто страдают от расстройств сна в виде бессонницы [5], нарушения дыхания во сне [6] и синдрома беспокойных ног [7].

Наиболее распространенными нарушениями психического здоровья во время беременности являются тревога и депрессия, которые часто возникают одновременно [8]. Встречаемость этих состояний колеблется от 4,1 до 20,0 % [9, 10]. Пик тревожности приходится на вступление беременной в последний триместр, когда тревогу увеличивают мысли матери о боли во время родов [11]. Стоит отметить, что пренатальная депрессия приводит к осложнениям беременности, таким как преэклампсия [12], ранние роды [13] и более высокий риск кесарева сечения [14].

Заметим, что поиск решения вышеуказанных проблем со здоровьем у беременных женщин может быть затруднен, поскольку различные фармакологические вмешательства зачастую недоступны из-за противопоказаний и риска развития побочных эффектов. Более того, лечение и диагностика многих из этих нарушений осложняются тем, что порой женщи-

ны не обращаются за медицинской помощью, т. к. бытует мнение, что боль и тревога являются «нормальной» частью беременности.

При этом, несмотря на клинические данные о том, что массаж безопасен для матери и плода, если его проводит обученный специалист [15], у врачей нет единого мнения по поводу применения массажа у беременных. Вышесказанное и послужило основанием для проведения данного исследования.

Целью работы стал анализ преимуществ массажа и особенностей его применения у беременных, а также определение возможности использования авторского метода виброакустического массажа поющими чашами (патент RU 2687006 C1) в пренатальный период. Был проведен поиск среди научных работ в базах данных ScienceDirect, Cochrane Library, eLIBRARY, PubMed по ключевым словам: *massage therapy, pregnant women, classical massage, pregnancy, massage, physical therapy modalities, relaxation, pregnancy massage, antenatal massage*.

В результате анализа научной литературы было установлено, что основными эффектами массажа во время беременности являются: уменьшение стресса, болей в спине и ногах, депрессии и тревоги; повышение иммунного ответа; снижение риска преждевременных родов; уменьшение частоты эпизиотомии [16–21].

Так, недавний обзор 20 рандомизированных контролируемых исследований, в которых изучалось влияние дополнительных методов лечения на материнскую тревогу и депрессию во время беременности, показал, что массаж может снизить антенатальную депрессию, хотя доказательства были не вполне убедительными [8].

По данным Н. Hall et al. [22], женщины, получавшие массаж от своих партнеров, имели меньше симптомов депрессии, осложнений беременности и сообщали об улучшении отношений с интимными партнерами. Таким образом, релаксационный массаж может обеспечить недорогое, доступное и эффективное вмешательство для улучшения психического здоровья беременной.

Ряд исследований подтвердил положительное влияние массажа на концентрацию кортизола и норадреналина [23] в крови беременных с депрессией. Кроме того, было обнаружено, что концентрации дофамина и серотонина значительно увеличиваются после массажа, что может указывать на снижение уровня тревоги и депрессии [23].

T. Field et al. [24] провели исследование, цель которого состояла в том, чтобы оценить влияние массажа во время беременности на пренатальные показатели, а также на перинатальные исходы у беременных с диагностированной депрессией. Размер выборки составил 88 чел. в группе массажа и 61 чел. в контрольной группе (со случайным распределением). Массажную терапию начали на 20-й неделе беременности и продолжали до 32-й недели, когда была проведена вторая оценка. Каждый сеанс начинался с того, что обследуемая лежала на боку, с подушками, расположенными за ее спиной и между ног для поддержки. Женщины из группы массажной терапии, в отличие от представительниц контрольной группы, не только уменьшили депрессию к окончанию курса терапии, но и снизили уровень депрессии и кортизола в послеродовом периоде. Также их дети реже появлялись на свет преждевременно и реже имели низкий вес при рождении, у них отмечен меньший уровень кортизола, и они лучше показали себя по шкалам привыкания, ориентации и моторики Brazelton Neonatal Behavioral Assessment¹.

Полученные Н.Г. Hall et al. [10] путем мета-анализа 8 исследований данные говорят о том, что массажная терапия более эффективна в снижении тревоги и депрессии у беременных женщин, чем обычный уход, хотя авторы отмечают, что представленные результаты могут быть склонны к предвзятости (высок риск систематической ошибки).

Отдельно следует выделить работы по изучению перинеального массажа у беременных. Этот вид массажа показывает высокую эффективность. Так, М.К. Shipman et al. [25] полагают, что перинеальный массаж во время III триместра беременности дает такие преимущества в будущем, как снижение риска эпизиотомии, разрывов 2-й и 3-й степени и оперативного влагалищного родоразрешения.

Также эта техника массажа является потенциальным физиотерапевтическим методом для применения в активной фазе родов, который может привести к предотвращению травм [26]. Массаж промежности способен увеличить эластичность ее мышц, тем самым уменьшая мышечное сопротивление, заставляя промежность растягиваться во время родов без разрыва и без необходимости эпизиотомии [27, 28].

К подобным выводам пришли R. Shahoei et al. [29], изучавшие влияние массажа промежности во время 2-го периода родов на частоту ее разрывов, эпизиотомии и боли в промежности у не рожавших ранее женщин. Результаты их исследования показывают, что перинеальный массаж может уменьшить потребность в эпизиотомии, повреждения и боли в промежности.

Результаты исследования G. Demirel, Z. Golbasi [30] о влиянии перинеального массажа на необходимость эпизиотомии и риск разрыва промежности показали, что 69,7 % женщин контрольной группы и лишь 31,0 % женщин группы массажного воздействия нуждались в эпизиотомии.

Данные работы F. Akhlaghi et al. [31] также свидетельствуют о том, что перинеального

¹Brazelton Neonatal Behavioral Assessment Scale (BNBAS, NBAS) – система оценки состояния новорожденного. Она включает неврологические тесты, а также тесты на определение поведенческих возможностей и социальной отзывчивости новорожденного.

массажа существенно уменьшает потребность в эпизиотомии и продолжительность 2-го периода родов. Кроме того, результаты этого исследования демонстрируют, что среди матерей экспериментальной группы (получавших массаж), которым не потребовалась эпизиотомия и у которых случился спонтанный разрыв промежности, повреждение I степени встречалось чаще, чем разрыв II степени. Средняя продолжительность 2-го периода родов также была значительно снижена в экспериментальной группе.

М.М. Beckmann, А.А. Garrett [27] при анализе 4 исследований с суммарным объемом выборки 2497 женщин обнаружили, что массаж промежности приводил к снижению потребности в эпизиотомии, при этом эффект был более значительным у первородящих, чем у повторнородящих женщин. Также сообщалось об облегчении боли в течение 3 месяцев после родов у женщин, ранее рожавших вагинально. Авторы пришли к выводу, что перинеальный массаж во время беременности снижает риск повреждения промежности, эпизиотомии и последующей послеродовой боли в промежности.

Отметим, что в работе E. Mei-Dan et al. [32] не выявлено существенных различий между экспериментальной и контрольной группами в отношении влияния перинеального массажа на здоровье промежности, что может быть связано с различиями в технике либо методике и/или продолжительности массажа.

Также обратим внимание на исследование M. Álvarez-González et al. [33], в котором частота эпизиотомии в группе перинеального массажа была статистически значимо ниже, чем в контрольной группе и группе перинеального самомассажа. При этом существенных различий между двумя последними группами установлено не было. Такие результаты согласуются с вышеприведенными работами, в которых уже был выявлен профилактический эффект массажа промежности в отношении эпизиотомии, однако здесь впервые констатируется более низкая эффективность перинеального самомассажа.

На сегодняшний день рядом рандомизированных контролируемых испытаний [17, 22, 34, 35] показано снижение под влиянием расслабляющего массажа головной боли, болей в спине, нарушений сна у беременных. Так, в исследовании [34] 150 беременных женщин были рандомизированы в группу массажа и группу стандартного ухода. Авторы обнаружили статистически значимые различия в пользу группы массажа в отношении головной боли, болей в спине, мышечных спазмов, нарушения сна и беспокойства, в то же время в отношении болей в суставах различий не наблюдалось.

К. Urtnowska et al. [36] упоминают, что расслабляющий массаж, регулярно проводимый во время беременности, способен предотвратить или облегчить уже имеющиеся симптомы боли в спине.

В исследовании P.-J. Chen et al. [35] уровни кортизола и иммуноглобулина А (Ig A) у женщин, получавших массажные процедуры, сравнивали с данными женщин, получавших стандартную медицинскую помощь. Женщинам в первой группе делали массаж с ароматическими маслами в течение 70 мин каждую 2-ю неделю (всего 10 раз) между 16-й и 36-й неделями беременности. Уровни Ig A у них непрерывно повышались в течение 10 измерений, что говорит о положительном воздействии регулярно проводимых массажных процедур на иммунную систему.

Регулярный расслабляющий массаж во время беременности может оказать положительное влияние на развитие и рост плода. Так, T. Field et al. [37] оценивали по шкале VNBAS 64 новорожденных от матерей с депрессией, получавших массаж во время беременности. Средний возраст детей составил 6,8 дня. При этом 1/2 матерей выполняли массаж с умеренным давлением, а 1/2 – с легким давлением. Контрольная группа в данном исследовании отсутствовала. Авторы пришли к выводу, что умеренное давление оказывает более сильное положительное влияние на неонатальные исходы, чем легкое давление. Новорожденные,

матери которых получали массаж с умеренным давлением, по шкале BNBAS достигли лучших результатов.

Необходимо также отметить, что в ряде рандомизированных контролируемых исследований выявлены потенциальные побочные эффекты массажа. У женщин с неосложненной беременностью сообщалось лишь о незначительных преходящих побочных эффектах (например, усталость), которые были вызваны массажем [22, 38].

В работе S. Fogarty et al. [15] также изучались побочные эффекты после одного сеанса массажа всего тела у беременных женщин с последующим наблюдением в течение одной недели ($n = 101$). Авторы сообщают, что 40 % участниц имели один или несколько из следующих побочных эффектов: болезненность мышц, головная боль, обострение симптомов со стороны опорно-двигательного аппарата, усталость и головокружение. При этом акушерских осложнений не было.

Отдельно стоит обратить внимание на то, что массаж ног во время беременности с нераспознанным тромбозом глубоких вен может быть опасным для жизни [39–42]. Поэтому беременным женщинам рекомендуется избегать массажа ног, если нет уверенности в отсутствии нарушений свертываемости крови.

Таким образом, обзор имеющихся работ позволяет заключить, что здоровые женщины с неосложненной беременностью могут получать массаж в течение всего пренатального периода. Однако необходимо упомянуть некоторые особенности выполнения массажа беременным.

Результаты исследований, представленных в обзоре S.M. Mueller, M. Grunwald [16], подтверждают, что здоровые женщины с неосложненной беременностью могут получать массаж в течение всего ее периода. В большинстве рандомизированных контролируемых исследований сеансы массажа длились приблизительно 20 мин, выполнялись в общей сложности от 5 до 10 раз (1-2 раза в неделю) между 16-й и 36-й неделя-

ми беременности. Женщину, получающую лечение, располагают на одном боку, с подушкой у груди и между ног, ей массируют голову, плечи, спину, руки, кисти и ступни. Через 10 мин женщину переворачивают на другой бок и повторяют процедуру.

В этой же работе [16] отмечается, что массаж можно выполнять в сидячем положении. Одновременно рекомендуется не делать массаж беременным в положении лежа на животе [36] (за исключением I триместра). В I триместре риск самопроизвольного аборта наиболее высок, поэтому следует избегать массажа живота и при каждом посещении проводить тщательный профилактический осмотр.

Беременным женщинам не следует делать глубокий массаж живота, т. к. это может привести к разрыву плаценты или матки, невынашиванию беременности и даже смерти матери [43].

Поскольку предполагается, что некоторые эфирные масла вызывают схватки, во время беременности нельзя применять высококонцентрированные эфирные масла [16].

Некоторые специалисты (например, I. Neri et al. [44]) считают, что стимуляция определенных рефлексологических точек во время беременности может привести к родам. Однако в настоящее время нет никаких научных доказательств в поддержку этого утверждения. В рандомизированном контролируемом исследовании S. Torkzahrani et al. [45] не было выявлено влияния акупунктуры на начало родов.

Исходя из физиологических особенностей течения беременности, можно рассмотреть специфические рекомендации для массажа в разные триместры.

Как правило, в I триместре беременную можно расположить на животе и на спине, если это удобно, в противном случае применяется положение на боку или полулежачее положение, особенно при болезненности молочных желез или тошноте².

Во II триместре живот увеличивается, поэтому стоит избегать положения лежа на спине, если

²Епифанов В.А. Лечебная физическая культура. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. С. 568.

беременной становится неудобно. После 22-й недели можно использовать такое положение только на короткое время для определенных техник и только в том случае, если беременная хорошо его переносит.

В III триместре массаж должен осуществляться только в положении лежа на боку или полулежа. Положение на спине можно использовать лишь на очень короткие промежутки времени (от 3 до 8 мин) для определенных терапевтических техник и только в том случае, если беременная чувствует себя комфортно [16].

На основании представленных выше результатов исследований можно сделать вывод, что массаж является недооцененным, но перспективным методом коррекции нарушений качества сна, депрессии, тревоги, боли в ногах и спине у беременных.

Полученные в пилотных исследованиях данные о положительном влиянии виброакустического массажа поющими чашами: стимуляции кровообращения [46, 47], снижении тревожности [48, 49], улучшении эмоционального состояния [50] и качества сна [51] – позволяют предположить, что этот массаж может быть показан при беременности, однако необходимы исследования для определения его эффективности, безопасности и корректировки протокола массажа с учетом особенностей его применения у беременных.

Способ виброакустического массажа поющими чашами был разработан в 2018 году (государственный патент на изобретение RU 2687006 С1, автор и патентообладатель – В.О. Огуй). Данный массаж выполняется с помощью металлического инструмента «поющая чаша», имеющего форму полый полусферы с внешним диаметром 280 мм, диаметром дна 140 мм, высотой стенок 125 мм, толщиной стенок 4,5 мм. Для извлечения вибрации используется колотушка с деревянной ручкой диаметром 20 мм, общей длиной 265 мм, с утолщением на ударном конце общим диаметром 50 мм, образуемым резиновой лен-

той шириной 30 мм (рис. 1). Вибрация извлекается посредством удара утолщением колотушки по бортику поющей чаши (рис. 2, см. с. 136) (частота вибрации поющей чаши равняется 110 ± 2 Гц). В процессе массажа поющая чаша размещается непосредственно на теле массируемого. После окончания вибрации поющая чаша перемещается в следующее положение согласно направлению массажных движений. Изобретение относится к восстановительной медицине и может быть использовано для лечения тревожных и инсомнических расстройств.



Рис. 1. Поющая чаша и колотушка

Fig. 1. Singing bowl with a mallet

Корректировка протокола процедуры в пренатальный период необходима, поскольку в настоящий момент схема ее выполнения предусматривает положение массируемого лежа на животе при массаже задней поверхности тела, что может быть проблематично во II триместре беременности и невозможно в III триместре. Также требуется корректировка дозировки как самой процедуры, так и количества процедур в составе курсового применения.

Исходя из проведенного нами анализа литературы, следует скорректировать протокол процедуры и дозировку процедур в составе курсового воздействия авторским методом виброакустического массажа поющими чашами³ следующим образом:

1. Использование положения беременной лежа на спине необходимо уменьшить до 10–15 мин в I триместре и до 3–8 мин во II триместре.

³Oguy V.O. Виброакустический массаж поющими чашами по В.О. Огуй в спа. М.: Изд. решения, 2022. 76 с. <http://dx.doi.org/10.12731/978-5-0056-3056-8>

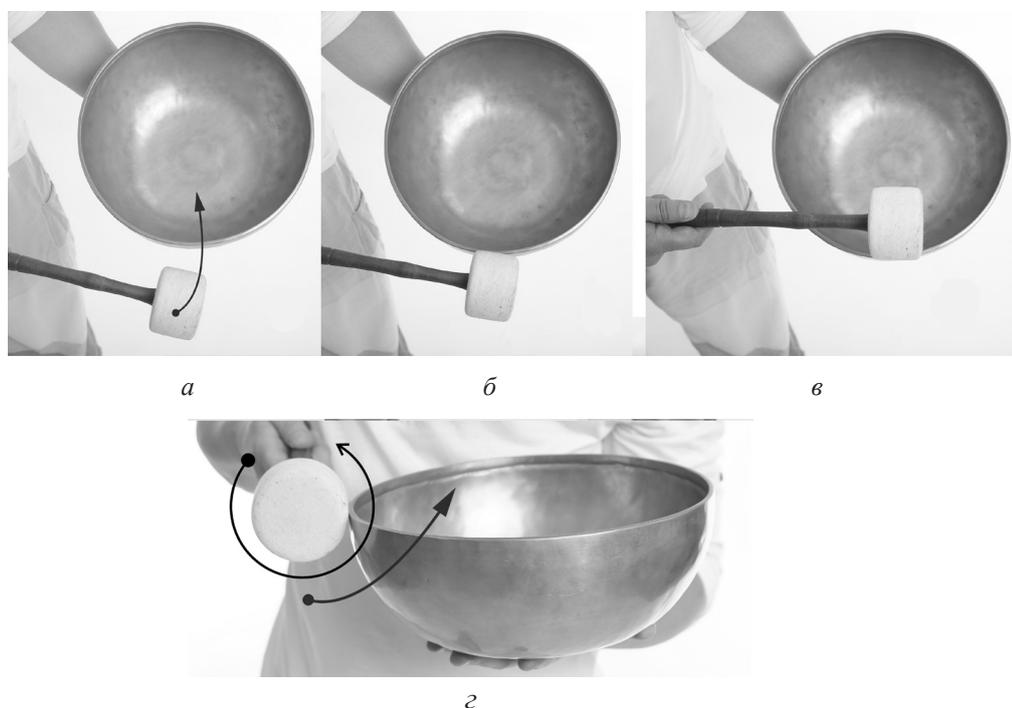


Рис. 2. Процесс извлечения вибраций из поющей чаши: *а, б, в* – траектория удара, вид сверху; *г* – траектория удара, вид сбоку

Fig. 2. The process of exiting vibrations in a singing bowl: *a, б, в* – impact trajectory, top view; *г* – impact trajectory, side view

В III триместре также следует исключить положение беременной лежа на спине при массаже (для предотвращения синдрома нижней полой вены).

2. Положение беременной лежа на животе нужно заменить на положение лежа на боку или положение сидя с опорой корпуса на колени: в I триместре – по показаниям; во II и III триместрах – обязательно. При удобстве для беременной можно использовать позу с опорой на колени и руки (рис. 3а) или «позу младенца» с вытянутыми руками (рис. 3б). В случае удобства для беременной в положении лежа на боку менять опорный бок (положение тела) каждые 10–15 мин.

3. Требуется исключить непосредственно массаж живота (передней брюшной стенки) в I триместре.

4. Рекомендуемый курс процедур – от 5 до 10 раз (1-2 раза в неделю) между 16-й и 36-й неделями беременности.

Таким образом, виброакустический массаж поющими чашами является перспективным методом для внедрения в практику акушерства с целью коррекции депрессии, тревожности и качества сна у беременных, поэтому требует дальнейшего изучения и физиологического обоснования.

В результате проведенного анализа литературы мы пришли к следующим выводам:

1. В настоящее время терапевтический потенциал массажных процедур в пренатальный период недооценивается.

2. Здоровые женщины с неосложненной беременностью могут получать массаж в течение всего ее периода. Женщинам с осложненной беременностью массаж следует проводить только после консультации с акушером.

3. Массаж во время беременности уменьшает симптомы депрессии и тревоги, ослабляет боль в ногах и спине и оказывает поло-



Рис. 3. Примеры поз для беременных при виброакустическом массаже поющими чашами: *а* – поза с опорой на колени и руки; *б* – «поза младенца» с вытянутыми руками

Fig. 3. Examples of postures for pregnant women during vibroacoustic massage with singing bowls: *a* – pose on hands and knees; *b* – child's pose with arms extended forward

жительное влияние на иммунную функцию, помогает при нарушениях сна. Для того чтобы массаж был эффективным, необходимо применять умеренное давление, которое женщины воспринимают как приятное и безболезненное.

4. Следует скорректировать протокол процедуры и дозировку процедур в составе курсового воздействия авторским методом вибро-

акустического массажа поющими чашами в пренатальный период.

5. Требуются дальнейшие исследования для определения эффективности, безопасности виброакустического массажа поющими чашами и корректировки протокола авторского метода данного массажа с учетом особенностей его применения у беременных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов: Огуй В.О. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста статьи; Литвиченко Е.М. – концепция и дизайн исследования, редактирование статьи; Быков Е.В. – концепция и дизайн исследования, редактирование статьи.

Authors' contributions: V.O. Oguy developed the concept and design of the study, collected and processed materials and wrote the manuscript; E.M. Litvichenko developed the concept and design of the study and edited the manuscript; E.V. Bykov developed the concept and design of the study and edited the manuscript.

Список литературы

1. Bryndal A., Majchrzycki M., Grochulska A., Glowinski S., Seremak-Mrozikiewicz A. Risk Factors Associated with Low Back Pain Among a Group of 1510 Pregnant Women // J. Pers. Med. 2020. Vol. 10, № 2. Art. № 51. <http://dx.doi.org/10.3390/jpm10020051>
2. Ogollah R., Bishop A., Lewis M., Grotle M., Foster N.E. Responsiveness and Minimal Important Change for Pain and Disability Outcome Measures in Pregnancy-Related Low Back and Pelvic Girdle Pain // Phys. Ther. 2019. Vol. 99, № 11. P. 1551–1561. <http://dx.doi.org/10.1093/ptj/pzz107>

3. *Unsgaard-Tøndel M., Vasseljen O., Woodhouse A., Morkved S.* Exercises for Women with Persistent Pelvic and Low Back Pain After Pregnancy // *Glob. J. Health Sci.* 2016. Vol. 8, № 9. P. 107–120. <http://dx.doi.org/10.5539/gjhs.v8n9p107>
4. *Hu X., Ma M., Zhao X., Sun W., Liu Y., Zheng Z., Xu L.* Effects of Exercise Therapy for Pregnancy-Related Low Back Pain and Pelvic Pain: A Protocol for Systematic Review and Meta-Analysis // *Medicine (Baltimore)*. 2020. Vol. 99, № 3. Art. № e17318. <http://dx.doi.org/10.1097/md.00000000000017318>
5. *Sedov I.D., Anderson N.J., Dhillon A.K., Tomfohr-Madsen L.M.* Insomnia Symptoms During Pregnancy: A Meta-Analysis // *J. Sleep Res.* 2020. Vol. 30, № 1. <http://dx.doi.org/10.1111/jsr.13207>
6. *Liu L., Su G., Wang S., Zhu B.* The Prevalence of Obstructive Sleep Apnea and Its Association with Pregnancy-Related Health Outcomes: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Sleep Breath.* 2018. Vol. 23, № 2. P. 399–412. <http://dx.doi.org/10.1007/s11325-018-1714-7>
7. *Gupta R., Rawat V.S.* Sleep and Sleep Disorders in Pregnancy // *Handb. Clin. Neurol.* 2020. Vol. 172. P. 169–186. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-444-64240-0.00010-6>
8. *Smith C.A., Shewamene Z., Galbally M., Schmied V., Dahlen H.* The Effect of Complementary Medicines and Therapies on Maternal Anxiety and Depression in Pregnancy: A Systematic Review and Meta-Analysis // *J. Affect. Disord.* 2019. Vol. 245. P. 428–439. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jad.2018.11.054>
9. *Dennis C.-L., Falah-Hassani K., Shiri R.* Prevalence of Antenatal and Postnatal Anxiety: Systematic Review and Meta-Analysis // *Br. J. Psychiatry.* 2017. Vol. 210, № 5. P. 315–323. <http://dx.doi.org/10.1192/bjp.bp.116.187179>
10. *Hall H.G., Cant R., Munk N., Carr B., Tremayne A., Weller C., Fogarty S., Lauche R.* The Effectiveness of Massage for Reducing Pregnant Women's Anxiety and Depression: Systematic Review and Meta-Analysis // *Midwifery.* 2020. Vol. 90. Art. № 102818. <https://doi.org/10.1016/j.midw.2020.102818>
11. *Santi L.K.S., Sudewi A.A.R., Duarsa D.P., Lesmana C.B.J.* The Relationship of Pregnancy Massage to the Rate of Anxiety Depression and Stress in Pregnant Women // *Int. J. Health Med. Sci.* 2021. Vol. 4, № 2. P. 208–214.
12. *Kurki T., Hiilesmaa V., Raitasalo R., Mattila H., Ylikorkala O.* Depression and Anxiety in Early Pregnancy and Risk for Preeclampsia // *Obstet. Gynecol.* 2000. Vol. 95, № 4. P. 487–490. [http://dx.doi.org/10.1016/s0029-7844\(99\)00602-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0029-7844(99)00602-x)
13. *Dayan J., Creveuil C., Herlicoviez M., Herbel C., Baranger E., Savoye C., Thouin A.* Role of Anxiety and Depression in the Onset of Spontaneous Preterm Labor // *Am. J. Epidemiol.* 2002. Vol. 155, № 4. P. 293–301. <http://dx.doi.org/10.1093/aje/155.4.293>
14. *Oberlander T.F., Warburton W., Misri S., Aghajanian J., Hertzman C.* Neonatal Outcomes After Prenatal Exposure to Selective Serotonin Reuptake Inhibitor Antidepressants and Maternal Depression Using Population-Based Linked Health Data // *Arch. Gen. Psychiatry.* 2006. Vol. 63, № 8. P. 898–906. <http://dx.doi.org/10.1001/archpsyc.63.8.898>
15. *Fogarty S., McInerney C., Stuart C., Hay P.* The Side Effects and Mother or Child Related Physical Harm from Massage During Pregnancy and the Postpartum Period: An Observational Study // *Complement. Ther. Med.* 2019. Vol. 42. P. 89–94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ctim.2018.11.002>
16. *Mueller S.M., Grunwald M.* Effects, Side Effects and Contraindications of Relaxation Massage During Pregnancy: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials // *J. Clin. Med.* 2021. Vol. 10, № 16. Art. № 3485. <http://dx.doi.org/10.3390/jcm10163485>
17. *Khojasteh F., Rezaee N., Safarzadeh A., Sahlabadi R., Shahrakipoor M.* Comparison of the Effects of Massage Therapy and Guided Imagery on Anxiety of Nulliparous Women During Pregnancy // *Pharm. Lett.* 2016. Vol. 8, № 18. P. 1–7.
18. *Румянцева З.С., Миклин О.П., Симчин С.А., Гафаров Э.Э.* Гинекологический массаж, его общая концепция и актуальность // *Modern Science.* 2022. № 6-2. P. 51–55.
19. *Милинская Л.Н.* Массаж глубоких тканей и его влияние на боли в пояснице и функциональную активность у беременных женщин // *Научный форум: медицина, биология и химия: сб. ст. по материалам XXIX Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 27 янв. 2020 г. Т. 1(29). М.: МЦНО, 2020. С. 10–15.*
20. *Cahyani I.A., Winarsih S., Arfiana A.* The Effect of Endorphin Massage Towards Decreasing Low Back Pain in Third Trimester Pregnant Women // *Midwifery Nurs. Res.* 2020. Vol. 2, № 1. P. 41–45. <http://dx.doi.org/10.31983/manr.v2i1.5520>
21. *Bušková J., Miletínová E., Králová R., Dvořáková T., Teř Faridová A., Heřman H., Hrdličková K., Šebela A.* Parasomnias in Pregnancy // *Brain Sci.* 2023. Vol. 13, № 2. Art. № 357. <http://dx.doi.org/10.3390/brainsci13020357>

22. Hall H., Munk N., Carr B., Fogarty S., Cant R., Holton S., Weller C., Lauche R. Maternal Mental Health and Partner-Delivered Massage: A Pilot Study // *Women Birth*. 2021. Vol. 34, № 3. P. 237–247. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wombi.2020.05.003>
23. Field T., Deeds O., Diego M., Hernandez-Reif M., Gauler A., Sullivan S., Wilson D., Nearing G. Benefits of Combining Massage Therapy with Group Interpersonal Psychotherapy in Prenatally Depressed Women // *J. Bodyw. Mov. Ther.* 2009. Vol. 13, № 4. P. 297–303. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbmt.2008.10.002>
24. Field T., Diego M., Hernandez-Reif M., Deeds O., Figueiredo B. Pregnancy Massage Reduces Prematurity, Low Birthweight and Postpartum Depression // *Infant Behav. Dev.* 2009. Vol. 32, № 4. P. 454–460. <http://dx.doi.org/10.1016/j.infbeh.2009.07.001>
25. Shipman M.K., Boniface D.R., Tefft M.E., McCloghry F. Antenatal Perineal Massage and Subsequent Perineal Outcomes: A Randomised Controlled Trial // *Br. J. Obstet. Gynaecol.* 1997. Vol. 104, № 7. P. 787–791. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1471-0528.1997.tb12021.x>
26. Albers L.L. Reducing Genital Tract Trauma at Birth: Launching a Clinical Trial in Midwifery // *J. Midwifery Women's Health*. 2003. Vol. 48, № 2. P. 105–110. [http://dx.doi.org/10.1016/s1526-9523\(02\)00415-4](http://dx.doi.org/10.1016/s1526-9523(02)00415-4)
27. Beckmann M.M., Garrett A.J. Antenatal Perineal Massage for Reducing Perineal Trauma // *Cochrane Database Syst. Rev.* 2006. № 1. Art. № CD005123. <http://dx.doi.org/10.1002/14651858.cd005123.pub2>
28. Шнейдерман М.Г., Тетерина Т.А., Аполихина И.А. Роль и место гинекологического массажа в профилактике разрывов промежности в родах и опущения тазовых органов после родов // *Consilium medicum*. 2013. Т. 15, № 6. С. 37–39.
29. Shahoei R., Zaheri F., Hashemi Nasab L., Ranaei F. The Effect of Perineal Massage During the Second Stage of Birth on Nulliparous Women Perineal: A Randomization Clinical Trial // *Electron. Physician*. 2017. Vol. 9, № 10. P. 5588–5595. <http://dx.doi.org/10.19082/5588>
30. Demirel G., Golbasi Z. Effect of Perineal Massage on the Rate of Episiotomy and Perineal Tearing // *Int. J. Gynecol. Obstet.* 2015. Vol. 131, № 2. P. 183–186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijgo.2015.04.048>
31. Akhlaghi F., Sabeti Baygi Z., Miri M., Najaf Najafi M. Effect of Perineal Massage on the Rate of Episiotomy // *J. Family Reprod. Health*. 2019. Vol. 13, № 3. P. 160–166. <http://dx.doi.org/10.18502/jfrh.v13i3.2130>
32. Mei-Dan E., Walfisch A., Raz I., Harlev S., Levi A., Hallak M. Effect of Perineal Massage During Pregnancy on Perineal Trauma: A Prospective Controlled Trial // *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2004. Vol. 191, № 6, suppl. Art. № S189. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajog.2004.10.582>
33. Álvarez-González M., Leirós-Rodríguez R., Álvarez-Barrio L., López-Rodríguez A.F. Perineal Massage During Pregnancy for the Prevention of Postpartum Urinary Incontinence: Controlled Clinical Trial // *Medicina (Kaunas)*. 2022. Vol. 58, № 10. Art. № 1485. <http://dx.doi.org/10.3390/medicina58101485>
34. El-Hosary E.A., Abbas Soliman H.F., El-Homasy S.M. Effect of Therapeutic Massage on Relieving Pregnancy Discomforts // *IOSR-JNHS*. 2016. Vol. 5, № 4, ver. 2. P. 57–64. <http://dx.doi.org/10.9790/1959-0504025764>
35. Chen P.-J., Chou C.-C., Yang L., Tsai Y.-L., Chang Y.-C., Liaw J.-J. Effects of Aromatherapy Massage on Pregnant Women's Stress and Immune Function: A Longitudinal, Prospective, Randomized Controlled Trial // *J. Altern. Complement. Med.* 2017. Vol. 23, № 10. P. 778–786. <https://doi.org/10.1089/acm.2016.0426>
36. Urtnowska K., Bulatowicz I., Ludwikowski G. Massage During Pregnancy – Indications, Contraindications, General Principles for Performing the Treatment // *FP*. 2017. Vol. 17, № 1. P. 88–94.
37. Field T., Hernandez-Reif M., Diego M. Newborns of Depressed Mothers Who Received Moderate versus Light Pressure Massage During Pregnancy // *Infant Behav. Dev.* 2006. Vol. 29, № 1. P. 54–58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.infbeh.2005.07.004>
38. Ortiz M., Manber R., Schnyer R.N., Lyell D., Chambers A.S., Caughey A.B., Druzin M., Carlyle E., Celio C., Gress J.L., Huang M.I., Kalista T., Martin-Okada R., Allen J.J. Acupuncture for Depression During Pregnancy: A Randomized Controlled Trial // *Dtsch. Z. Akupunkt.* 2010. Vol. 53, № 2. P. 43–45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dza.2010.04.009>
39. Behera C., Devassy S., Mridha A.R., Chauhan M., Gupta S.K. Leg Massage by Mother Resulting in Fatal Pulmonary Thromboembolism // *Med. Leg. J.* 2017. Vol. 86, № 3. P. 146–150. <http://dx.doi.org/10.1177/0025817217706645>
40. Jabr F.I. Massive Pulmonary Emboli After Legs Massage // *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 2007. Vol. 86, № 8. P. 691. <http://dx.doi.org/10.1097/phm.0b013e31811e2a7a>
41. Lim D.C.G., Jayanthi H.K., Money-Kyrle A., Ramrakha P. Massaging the Outcome: An Unusual Presentation of Pulmonary Embolism // *BMJ Case Rep.* 2009. Vol. 2009. Art. № bcr0120091505. <http://dx.doi.org/10.1136/bcr.01.2009.1505>

42. Sutham K., Na-Nan S., Paiboonsithiwong S., Chaksuwat P., Tongsong T. Leg Massage During Pregnancy with Unrecognized Deep Vein Thrombosis Could Be Life Threatening: A Case Report // *BMC Pregnancy Childbirth*. 2020. Vol. 20, № 1. Art. № 237. <http://dx.doi.org/10.1186/s12884-020-02924-w>
43. Ugboma H.A.A., Akani C.I. Abdominal Massage: Another Cause of Maternal Mortality // *Niger. J. Med.* 2004. Vol. 13, № 3. P. 259–262.
44. Neri I., Monari F., Midwife C.S., Facchinetti F. Acupuncture in Post-Date Pregnancy: A Pilot Study // *J. Matern. Fetal Neonatal Med.* 2014. Vol. 27, № 9. P. 874–878. <https://doi.org/10.3109/14767058.2013.845158>
45. Torkzahrani S., Mahmoudikohani F., Saatchi K., Sefidkar R., Banaei M. The Effect of Acupressure on the Initiation of Labor: A Randomized Controlled Trial // *Women Birth*. 2017. Vol. 30, № 1. P. 46–50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wombi.2016.07.002>
46. Огуй В.О. Влияние авторского метода виброакустического массажа поющими чашами на показатели артериального давления и частоты сердечного ритма // Проблемы подготовки научных и научно-педагогических кадров: опыт и перспективы: сб. науч. тр. молодых ученых, посвящ. Дню рос. науки. Вып. 19 / под ред. Е.Б. Малетиной. Челябинск: УралГУФК, 2022. С. 148–153.
47. Огуй В.О. Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма при применении авторского метода виброакустического массажа поющими чашами // *Соврем. вопр. биомедицины*. 2022. Т. 6, № 1. https://dx.doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_01_23
48. Огуй В.О., Тарасенко А.А., Свириц Е.Н. Исследование эффективности виброакустического тибетского массажа для снижения уровня тревожности // *Соврем. наука: актуал. проблемы теории и практики. Сер.: Познание*. 2019. № 6(93). С. 82–90.
49. Ogyu V.O., Bykov E., Litvichenko E. Single Vibroacoustic Impact Effect of Singing Bowls over the Psycho-Emotional State and Cardiovascular System Work // *J. Intellect. Disabil. Diagn. Treat.* 2021. Vol. 9, № 5. P. 483–494. <http://dx.doi.org/10.6000/2292-2598.2021.09.05.7>
50. Огуй В.О. Влияние авторского метода виброакустического массажа поющими чашами на качество жизни // Проблемы подготовки научных и научно-педагогических кадров: опыт и перспективы: сб. науч. тр. молодых ученых, посвящ. Дню рос. науки. Вып. 18 / под ред. Е.Б. Малетиной. Челябинск: УралГУФК, 2021. С. 148–151.
51. Огуй В.О. Влияние курсового применения авторского метода виброакустического массажа поющими чашами на расстройство и качество сна // *Соврем. вопр. биомедицины*. 2022. Т. 6, № 1. https://dx.doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_01_22

References

1. Bryndal A., Majchrzycki M., Grochulska A., Glowinski S., Seremak-Mrozikiewicz A. Risk Factors Associated with Low Back Pain Among a Group of 1510 Pregnant Women. *J. Pers. Med.*, 2020, vol. 10, no. 2. Art. no. 51. <http://dx.doi.org/10.3390/jpm10020051>
2. Ogollah R., Bishop A., Lewis M., Grotle M., Foster N.E. Responsiveness and Minimal Important Change for Pain and Disability Outcome Measures in Pregnancy-Related Low Back and Pelvic Girdle Pain. *Phys. Ther.*, 2019, vol. 99, no. 11, pp. 1551–1561. <http://dx.doi.org/10.1093/ptj/pzz107>
3. Unsgaard-Tøndel M., Vasseljen O., Woodhouse A., Morkved S. Exercises for Women with Persistent Pelvic and Low Back Pain After Pregnancy. *Glob. J. Health Sci.*, 2016, vol. 8, no. 9, pp. 107–120. <http://dx.doi.org/10.5539/gjhs.v8n9p107>
4. Hu X., Ma M., Zhao X., Sun W., Liu Y., Zheng Z., Xu L. Effects of Exercise Therapy for Pregnancy-Related Low Back Pain and Pelvic Pain: A Protocol for Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicine (Baltimore)*, 2020, vol. 99, no. 3. Art. no. e17318. <http://dx.doi.org/10.1097/md.00000000000017318>
5. Sedov I.D., Anderson N.J., Dhillon A.K., Tomfohr-Madsen L.M. Insomnia Symptoms During Pregnancy: A Meta-Analysis. *J. Sleep Res.*, 2020, vol. 30, no. 1. Art. no. e13207. <http://dx.doi.org/10.1111/jsr.13207>
6. Liu L., Su G., Wang S., Zhu B. The Prevalence of Obstructive Sleep Apnea and Its Association with Pregnancy-Related Health Outcomes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sleep Breath.*, 2018, vol. 23, no. 2, pp. 399–412. <http://dx.doi.org/10.1007/s11325-018-1714-7>
7. Gupta R., Rawat V.S. Sleep and Sleep Disorders in Pregnancy. *Handb. Clin. Neurol.*, 2020, vol. 172, pp. 169–186. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-444-64240-0.00010-6>

8. Smith C.A., Shewamene Z., Galbally M., Schmied V., Dahlen H. The Effect of Complementary Medicines and Therapies on Maternal Anxiety and Depression in Pregnancy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Affect. Disord.*, 2019, vol. 245, pp. 428–439. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jad.2018.11.054>
9. Dennis C.-L., Falah-Hassani K., Shiri R. Prevalence of Antenatal and Postnatal Anxiety: Systematic Review and Meta-Analysis. *Br. J. Psychiatry*, 2017, vol. 210, no. 5, pp. 315–323. <http://dx.doi.org/10.1192/bjp.bp.116.187179>
10. Hall H.G., Cant R., Munk N., Carr B., Tremayne A., Weller C., Fogarty S., Lauche R. The Effectiveness of Massage for Reducing Pregnant Women's Anxiety and Depression: Systematic Review and Meta-Analysis. *Midwifery*, 2020, vol. 90. Art. no. 102818. <https://doi.org/10.1016/j.midw.2020.102818>
11. Santi L.K.S., Sudewi A.A.R., Duarsa D.P., Lesmana C.B.J. The Relationship of Pregnancy Massage to the Rate of Anxiety Depression and Stress in Pregnant Women. *Int. J. Health Med. Sci.*, 2021, vol. 4, no. 2, pp. 208–214.
12. Kurki T., Hiilesmaa V., Raitasalo R., Mattila H., Ylikorkala O. Depression and Anxiety in Early Pregnancy and Risk for Preeclampsia. *Obstet. Gynecol.*, 2000, vol. 95, no. 4, pp. 487–490. [http://dx.doi.org/10.1016/s0029-7844\(99\)00602-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0029-7844(99)00602-x)
13. Dayan J., Creveuil C., Herlicoviez M., Herbel C., Baranger E., Savoye C., Thouin A. Role of Anxiety and Depression in the Onset of Spontaneous Preterm Labor. *Am. J. Epidemiol.*, 2002, vol. 155, no. 4, pp. 293–301. <http://dx.doi.org/10.1093/aje/155.4.293>
14. Oberlander T.F., Warburton W., Misri S., Aghajanian J., Hertzman C. Neonatal Outcomes After Prenatal Exposure to Selective Serotonin Reuptake Inhibitor Antidepressants and Maternal Depression Using Population-Based Linked Health Data. *Arch. Gen. Psychiatry*, 2006, vol. 63, no. 8, pp. 898–906. <http://dx.doi.org/10.1001/archpsyc.63.8.898>
15. Fogarty S., McInerney C., Stuart C., Hay P. The Side Effects and Mother or Child Related Physical Harm from Massage During Pregnancy and the Postpartum Period: An Observational Study. *Complement. Ther. Med.*, 2019, vol. 42, pp. 89–94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ctim.2018.11.002>
16. Mueller S.M., Grunwald M. Effects, Side Effects and Contraindications of Relaxation Massage During Pregnancy: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *J. Clin. Med.*, 2021, vol. 10, no. 16. Art. no. 3485. <http://dx.doi.org/10.3390/jcm10163485>
17. Khojasteh F., Rezaee N., Safarzadeh A., Sahlabadi R., Shahrakipoor M. Comparison of the Effects of Massage Therapy and Guided Imagery on Anxiety of Nulliparous Women During Pregnancy. *Pharm. Lett.*, 2016, vol. 8, no. 18, pp. 1–7.
18. Romyantseva Z.S., Miklin O.P., Simchin S.A., Gafarov E.E. Ginekologicheskii massazh, ego obshchaya kontseptsiya i aktual'nost' [Gynaecological Massage, Its General Concept and Relevance]. *Mod. Sci.*, 2022, no. 6-2, pp. 51–55.
19. Milinskaya L.N. Massazh glubokikh tkaney i ego vliyanie na boli v pojasnitse i funktsional'nuyu aktivnost' u beremennykh zhenshchin [Deep Tissue Massage and Its Effect on Low Back Pain and Functional Activity in Pregnant Women]. *Nauchnyy forum: meditsina, biologiya i khimiya* [Scientific Forum: Medicine, Biology and Chemistry]. Vol. 1. Moscow, 2020, pp. 10–15.
20. Cahyani I.A., Winarsih S., Arfiana A. The Effect of Endorphin Massage Towards Decreasing Low Back Pain in Third Trimester Pregnant Women. *Midwifery Nurs. Res.*, 2020, vol. 2, no. 1, pp. 41–45. <http://dx.doi.org/10.31983/manr.v2i1.5520>
21. Bušková J., Miletinová E., Králová R., Dvořáková T., Tefr Faridová A., Heřman H., Hrdličková K., Šebela A. Parasomnias in Pregnancy. *Brain Sci.*, 2023, vol. 13, no. 2. Art. no. 357. <http://dx.doi.org/10.3390/brainsci13020357>
22. Hall H., Munk N., Carr B., Fogarty S., Cant R., Holton S., Weller C., Lauche R. Maternal Mental Health and Partner-Delivered Massage: A Pilot Study. *Women Birth*, 2021, vol. 34, no. 3, pp. e237–e247. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wombi.2020.05.003>
23. Field T., Deeds O., Diego M., Hernandez-Reif M., Gauler A., Sullivan S., Wilson D., Nearing G. Benefits of Combining Massage Therapy with Group Interpersonal Psychotherapy in Prenatally Depressed Women. *J. Bodyw. Mov. Ther.*, 2009, vol. 13, no. 4, pp. 297–303. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbmt.2008.10.002>
24. Field T., Diego M., Hernandez-Reif M., Deeds O., Figueiredo B. Pregnancy Massage Reduces Prematurity, Low Birthweight and Postpartum Depression. *Infant Behav. Dev.*, 2009, vol. 32, no. 4, pp. 454–460. <http://dx.doi.org/10.1016/j.infbeh.2009.07.001>
25. Shipman M.K., Boniface D.R., Tefft M.E., McCloghry F. Antenatal Perineal Massage and Subsequent Perineal Outcomes: A Randomised Controlled Trial. *Br. J. Obstet. Gynaecol.*, 1997, vol. 104, no. 7, pp. 787–791. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1471-0528.1997.tb12021.x>

26. Albers L.L. Reducing Genital Tract Trauma at Birth: Launching a Clinical Trial in Midwifery. *J. Midwifery Women's Health*, 2003, vol. 48, no. 2, pp. 105–110. [http://dx.doi.org/10.1016/s1526-9523\(02\)00415-4](http://dx.doi.org/10.1016/s1526-9523(02)00415-4)
27. Beckmann M.M., Garrett A.J. Antenatal Perineal Massage for Reducing Perineal Trauma. *Cochrane Database Syst. Rev.*, 2006, no. 1. Art. no. CD005123. <http://dx.doi.org/10.1002/14651858.cd005123.pub2>
28. Shneyderman M.G., Teterina T.A., Apolikhina I.A. Rol' i mesto ginekologicheskogo massazha v profilaktike razryvov promezhnosti v rodakh i opushcheniya tazovykh organov posle rodov [Role and Place of Gynaecological Massage in Preventing Perineal Tears During Childbirth and Pelvic Organ Prolapse After Childbirth]. *Consilium medicum*, 2013, vol. 15, no. 6, pp. 37–39.
29. Shahoei R., Zaheri F., Hashemi Nasab L., Ranaei F. The Effect of Perineal Massage During the Second Stage of Birth on Nulliparous Women Perineal: A Randomization Clinical Trial. *Electron. Physician*, 2017, vol. 9, no. 10, pp. 5588–5595. <http://dx.doi.org/10.19082/5588>
30. Demirel G., Golbasi Z. Effect of Perineal Massage on the Rate of Episiotomy and Perineal Tearing. *Int. J. Gynecol. Obstet.*, 2015, vol. 131, no. 2, pp. 183–186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijgo.2015.04.048>
31. Akhlaghi F., Sabeti Baygi Z., Miri M., Najaf Najafi M. Effect of Perineal Massage on the Rate of Episiotomy. *J. Family Reprod. Health*, 2019, vol. 13, no. 3, pp. 160–166. <http://dx.doi.org/10.18502/jfrh.v13i3.2130>
32. Mei-Dan E., Walfisch A., Raz I., Harlev S., Levi A., Hallak M. Effect of Perineal Massage During Pregnancy on Perineal Trauma: A Prospective Controlled Trial. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 2004, vol. 191, no. 6, suppl. Art. no. S189. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajog.2004.10.582>
33. Álvarez-González M., Leirós-Rodríguez R., Álvarez-Barrio L., López-Rodríguez A.F. Perineal Massage During Pregnancy for the Prevention of Postpartum Urinary Incontinence: Controlled Clinical Trial. *Medicina (Kaunas)*, 2022, vol. 58, no. 10. Art. no. 1485. <http://dx.doi.org/10.3390/medicina58101485>
34. El-Hosary E.A., Abbas Soliman H.F., El-Homasy S.M. Effect of Therapeutic Massage on Relieving Pregnancy Discomforts. *IOSR-JNHS*, 2016, vol. 5, no. 4, ver. 2, pp. 57–64. <http://dx.doi.org/10.9790/1959-0504025764>
35. Chen P.-J., Chou C.-C., Yang L., Tsai Y.-L., Chang Y.-C., Liaw J.-J. Effects of Aromatherapy Massage on Pregnant Women's Stress and Immune Function: A Longitudinal, Prospective, Randomized Controlled Trial. *J. Altern. Complement. Med.*, 2017, vol. 23, no. 10, pp. 778–786. <https://doi.org/10.1089/acm.2016.0426>
36. Urtnowska K., Bułatowicz I., Ludwikowski G. Massage During Pregnancy – Indications, Contraindications, General Principles for Performing the Treatment. *FP*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 88–94.
37. Field T., Hernandez-Reif M., Diego M. Newborns of Depressed Mothers Who Received Moderate versus Light Pressure Massage During Pregnancy. *Infant Behav. Dev.*, 2006, vol. 29, no. 1, pp. 54–58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.infbeh.2005.07.004>
38. Ortiz M., Manber R., Schnyer R.N., Lyell D., Chambers A.S., Caughey A.B., Druzin M., Carlyle E., Celio C., Gress J.L., Huang M.I., Kalista T., Martin-Okada R., Allen J.J. Acupuncture for Depression During Pregnancy: A Randomized Controlled Trial. *Disch. Z. Akupunkt.*, 2010, vol. 53, no. 2, pp. 43–45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dza.2010.04.009>
39. Behera C., Devassy S., Mridha A.R., Chauhan M., Gupta S.K. Leg Massage by Mother Resulting in Fatal Pulmonary Thromboembolism. *Med. Leg. J.*, 2017, vol. 86, no. 3, pp. 146–150. <http://dx.doi.org/10.1177/0025817217706645>
40. Jabr F.I. Massive Pulmonary Emboli After Legs Massage. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, 2007, vol. 86, no. 8, p. 691. <http://dx.doi.org/10.1097/phm.0b013e31811e2a7a>
41. Lim D.C.G., Jayanthi H.K., Money-Kyrle A., Ramrakha P. Massaging the Outcome: An Unusual Presentation of Pulmonary Embolism. *BMJ Case Rep.*, 2009, vol. 2009. Art. no. bcr0120091505. <http://dx.doi.org/10.1136/bcr.01.2009.1505>
42. Sutham K., Na-Nan S., Paiboonsithiwong S., Chaksuwat P., Tongsong T. Leg Massage During Pregnancy with Unrecognized Deep Vein Thrombosis Could Be Life Threatening: A Case Report. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2020, vol. 20, no. 1. Art. no. 237. <http://dx.doi.org/10.1186/s12884-020-02924-w>
43. Ugboma H.A.A., Akani C.I. Abdominal Massage: Another Cause of Maternal Mortality. *Niger. J. Med.*, 2004, vol. 13, no. 3, pp. 259–262.
44. Neri I., Monari F., Midwife C.S., Facchinetti F. Acupuncture in Post-Date Pregnancy: A Pilot Study. *J. Matern. Fetal Neonatal Med.*, 2014, vol. 27, no. 9, pp. 874–878. <https://doi.org/10.3109/14767058.2013.845158>
45. Torkzahrani S., Mahmoudikohani F., Saatchi K., Sefidkar R., Banaei M. The Effect of Acupressure on the Initiation of Labor: A Randomized Controlled Trial. *Women Birth*, 2017, vol. 30, no. 1, pp. 46–50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wombi.2016.07.002>

46. Oguy V.O. Vliyanie avtorskogo metoda vibroakusticheskogo massazha poyushchimi chashami na pokazateli arterial'nogo davleniya i chastoty serdechnogo ritma [Effect of the Author's Method of Vibroacoustic Massage with Singing Bowls on Blood Pressure and Heart Rate]. Maletina E.B. (ed.). *Problemy podgotovki nauchnykh i nauchno-pedagogicheskikh kadrov: opyt i perspektivy* [Problems of Training Scientific and Academic Personnel: Experience and Prospects]. Iss. 19. Chelyabinsk, 2022, pp. 148–153.

47. Oguy V.O. Features of the Heart Rate Vegetative Regulation When Using the Author's Method of Vibroacoustic Massage with Singing Bowls. *Mod. Iss. Biomed.*, 2022, vol. 6, no. 1 (in Russ.). https://dx.doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_01_23

48. Oguy V.O., Tarasenko A.A., Svirshch E.N. Issledovanie effektivnosti vibroakusticheskogo tibetskogo massazha dlya snizheniya urovnya trevozhnosti [Research of the Efficiency of Vibroacoustic Tibetan Massage to Reduce the Level of Anxiety]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Ser.: Poznanie*, 2019, no. 6, pp. 82–90.

49. Oguy V.O., Bykov E., Litvichenko E. Single Vibroacoustic Impact Effect of Singing Bowls over the Psycho-Emotional State and Cardiovascular System Work. *J. Intellect. Disabil. Diagn. Treat.*, 2021, vol. 9, no. 5, pp. 483–494. <http://dx.doi.org/10.6000/2292-2598.2021.09.05.7>

50. Oguy V.O. Vliyanie avtorskogo metoda vibroakusticheskogo massazha poyushchimi chashami na kachestvo zhizni [Author's Method of Vibroacoustic Resonance Bowls Massage Impact over the Quality of Life]. Maletina E.B. (ed.). *Problemy podgotovki nauchnykh i nauchno-pedagogicheskikh kadrov: opyt i perspektivy* [Problems of Training Scientific and Academic Personnel: Experience and Prospects]. Iss. 18. Chelyabinsk, 2021, pp. 148–151.

51. Oguy V.O. Influence of the Course Application of the Author's Method of Vibroacoustic Massage with Singing Bowls on the Disorder and Quality of Sleep. *Mod. Iss. Biomed.*, 2022, vol. 6, no. 1 (in Russ.). https://dx.doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_01_22

*Поступила в редакцию 31.10.2023 / Одобрена после рецензирования 21.12.2023 / Принята к публикации 25.12.2023.
Submitted 31 October 2023 / Approved after reviewing 21 December 2023 / Accepted for publication 25 December 2023.*

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

«Журнал медико-биологических исследований» содержит публикации по основным направлениям научно-исследовательской работы в области биологических, медико-биологических наук, клинической и профилактической медицины.

Общие требования

Тексты представляются в электронном виде. Для этого необходимо зайти на сайт журнала <https://vestnikmed.ru> и, нажав на кнопку «Отправить материал», перейти на редакционно-издательскую платформу, куда можно будет после регистрации загрузить статью и сопроводительные документы. Необходимо указать отрасль науки и специальность (шифр и название), по которым выполнено научное исследование.

Электронный вариант статьи выполняется в текстовом редакторе «Microsoft Word» и сохраняется с расширением *.doc. В имени файла указываются фамилия, инициалы автора.

Параметры страницы

Формат А4. Поля: правое, левое – 25 мм, верхнее, нижнее – 20 мм.

Форматирование основного текста

Абзацный отступ – 10 мм. Межстрочный интервал – полуторный. Порядковые номера страниц проставляются посередине верхнего поля страницы арабскими цифрами.

Шрифт

Times New Roman. Размер кегля (символов) – 14 пт; аннотации, ключевых слов – 12 пт.

Объем статьи

Максимальный объем статей: 10–15 страниц, обзорных статей – до 20 страниц, кратких сообщений – 4–6 страниц.

Сведения об авторе

Указываются на русском и английском языках фамилия, имя, отчество автора (полностью); ученая степень, звание, должность и место работы (кафедра, институт, университет). Общее количество научных публикаций, в т. ч. отдельно указать количество монографий; рабочий адрес с почтовым индексом; тел./факсы (служебный, домашний, мобильный), e-mail.

ORCID

В сведениях об авторах также необходимо указать международный авторский идентификатор ORCID в формате интерактивной ссылки <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>. Если у автора нет номера ORCID, его необходимо получить, зарегистрировавшись на ресурсе orcid.org. В профиле обязательно должна быть указана минимальная информация: место работы, ученая степень, ученое звание, должность.

Индекс УДК

Располагается отдельной строкой слева перед заглавием статьи. Индекс УДК (универсальная десятичная классификация книг) должен соответствовать заявленной теме, проставляется научной библиотекой.

Заглавие

Помещается перед текстом статьи на русском и английском языках. Используется не более 11 слов.

Аннотация	<p>Предоставляется на русском и английском языках. Аннотация должна быть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – информативной (не содержать общих фраз); – оригинальной; – содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований); – структурированной (содержать те же разделы, что и статья); – компактной (укладываться в объем от 200 до 250 слов). <p>Авторы статей в разделах «Научная жизнь» и «Критика и библиография» предоставляют аннотацию объемом 50–100 слов.</p>
Ключевые слова	<p>После аннотации указывается до 6–8 ключевых слов (словосочетаний), несущих в тексте основную смысловую нагрузку.</p>
Примечания и комментарии	<p>Примечания, комментарии, ссылки на сайты (если это не книга, сборник, нормативный документ, статья и т. п. в электронном виде) даются в виде подстрочных сносок (внизу страницы). Маркер сноски – арабская цифра (нумерация сквозная).</p>
Библиографические ссылки	<p>Библиографические ссылки на использованную литературу оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008 (п. 7 «Затекстовая библиографическая ссылка»).</p> <p>– Подпункт 7.4.1 – ссылка на текст.</p> <p><i>Например</i>, в тексте: Общий список справочников по терминологии, охватывающий время не позднее середины XX века, дает работа библиографа И.М. Кауфмана [59];</p> <p>в списке литературы: 59. <i>Кауфман И.М.</i> Терминологические словари: библиография. М., 1961.</p> <p>– Подпункт 7.4.2 – ссылка на фрагмент текста.</p> <p><i>Например</i>, в тексте: [10, с. 81], [10, с. 106] и т. д.;</p> <p>в списке литературы: 10. <i>Бердяев Н.А.</i> Смысл истории. М., 1990. 175 с.</p>
Рисунки, схемы, диаграммы	<p>Принимается не более 4 рисунков (черно-белых). Рисунки, схемы, диаграммы приводятся в тексте статьи и предоставляются отдельным файлом. Схемы выполняются с использованием штриховой заливки. Электронную версию рисунка следует сохранять в форматах *.tiff, *.tif (Grayscale – Оттенки серого, 300 dpi). Иллюстрации должны быть четкими. В тексте статьи следует дать ссылку на конкретный рисунок, например (<i>рис. 2</i>). На рисунках должно быть минимальное количество слов и обозначений. Под рисунком необходимо разместить порядковый номер, подпись и объяснение значений всех кривых, цифр, букв и прочих условных обозначений.</p>

Таблицы

Таблиц должно быть не более 3. Каждую таблицу следует снабжать порядковым номером и заголовком. Все графы в таблицах должны также иметь тематические заголовки. Сокращение слов допускается только в соответствии с требованиями ГОСТ 7.0.12–2011 (касается русских слов), 7.11–2004 (касается слов на иностранных европейских языках). Таблицы должны быть предоставлены в текстовом редакторе «Microsoft Word» и пронумерованы по порядку. Одновременное использование таблиц и графиков (рисунков) для изложения одних и тех же результатов не допускается. Размерность всех физических величин следует указывать в системе единиц СИ.

Формулы

Математические и физические формулы (только формулы!) выполняются в редакторе «MS Equation 3.0». Переменные в тексте набираются в обычном текстовом режиме.

- Решение о публикации статьи принимается редколлегией журнала. Электронные варианты отредактированного текста авторам не высылаются, присланные материалы не возвращаются.
- Все статьи отправляются на независимую экспертизу и публикуются только в случае положительной рецензии. Редакция оставляет за собой право производить необходимые уточнения и сокращения.

- Статьи публикуются на бесплатной основе.

- Для отправки статьи воспользуйтесь кнопкой «Отправить материал» на сайте журнала <https://vestnikmed.ru>

Тел.: (8182) 21-61-21; e-mail: vestnik@narfu.ru; vestnik_med@narfu.ru.

- Редакция принимает предварительные заявки на приобретение номеров журнала.

На электронную версию журнала можно подписаться через каталоги:

«Урал-Пресс» http://www.ural-press.ru/catalog/97266/8652104/?sphrase_id=328738

«Пресса по подписке» https://www.akc.ru/itm/z_hurnal-mediko-biologic_heskih-issledovaniy/

Свободная цена.