

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

Научный рецензируемый журнал

Издается 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 ЭЛ № ФС77-89077
выдано 27 января 2025 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:

Ю.В. Агафонов (г. Архангельск, Россия),
Н.М. Антонова (София, Болгария),
Ю.В. Архипенко (Москва, Россия),
М.В. Балыкин (г. Ульяновск, Россия),
А.Н. Баранов (г. Архангельск, Россия),
Н.А. Бебякова (г. Архангельск, Россия),
М.М. Безруких (Москва, Россия),
Е.Р. Бойко (г. Сыктывкар, Россия),
М.И. Бочаров (г. Сыктывкар, Россия),
Р.В. Бузинов (г. Архангельск, Россия),
Ю.А. Владимиров (Москва, Россия),
А.Б. Гудков (г. Архангельск, Россия),
Л.К. Добродеева (г. Архангельск, Россия),
В.В. Зинчук (г. Гродно, Беларусь),
Л.И. Иржак (г. Сыктывкар, Россия),
М.Ф. Казанова (г. Колумбия, Южная Каролина, США),
И.С. Кожевникова (отв. ред.) (г. Архангельск, Россия),
В.И. Корчин (г. Ханты-Мансийск, Россия),
С.Г. Кривоцеков (г. Новосибирск, Россия),
И.В. Кузнецова (отв. секретарь) (г. Архангельск, Россия),
Е.Б. Лысков (г. Евле, Швеция),
А.Л. Максимов (г. Магадан, 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),
М. Паасуке (г. Тарту, Эстония),
М.Н. Панков (зам. гл. ред.) (г. Архангельск, Россия),
Л.В. Поскотинова (зам. гл. ред.) (г. Архангельск, Россия),
А.С. Сарычев (г. Архангельск, Россия),
Л.В. Соколова (г. Архангельск, Россия),
А.Г. Соловьев (г. Архангельск, Россия),
С.И. Сороко (Санкт-Петербург, Россия),
С.Г. Суханов (г. Архангельск, Россия),
И.А. Тихомирова (г. Ярославль, Россия),
В.А. Ткачук (Москва, Россия),
В.И. Торшин (Москва, Россия),
Т. Ульрикс (Берлин, Германия),
В.Х. Хавинсон (Санкт-Петербург, Россия),
В.И. Циркин (г. Киров, Россия),
Л.С. Чутко (Санкт-Петербург, Россия),
А.В. Шабров (Санкт-Петербург, Россия),
А.С. Шаназаров (Бишкек, Кыргызстан),
С.Н. Шилов (г. Красноярск, Россия)
Л.С. Щёголева (г. Архангельск, Россия)

Том 13, № 4
2025

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Балбера О.В., Быков Е.В. Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма у спортсменов, специализирующихся в беге на разные дистанции.....	399
Ишунина Т.А., Луценко Ю.Д., Олейникова А.В., Миронов С.Ю., Прусаченко А.В. Уровень тромбоцитов как возможный предиктор успешности обучения студентов в высших учебных заведениях.....	409
Тищутин Н.А., Рубченя И.Н. Связь показателей постурального баланса при выполнении двойных задач с игровым амплуа футболистов.....	421
Мальцев В.П., Говорухина А.А., Литовченко О.Г. Нейродинамические и нейровегетативные особенности студентов с разным уровнем функционального состояния центральной нервной системы.....	432
Поскотинова Л.В., Уханова А.В. Вариационный размах кардиоинтервалов при фиксированном темпе дыхания у юношей и девушек Арктической зоны Российской Федерации (на примере Архангельской области).....	442
Корюкалов Ю.И., Попова Т.В., Коурова О.Г. Влияние практики релаксации на синхронизацию нейронов коры головного мозга человека при развитии утомления во время локальной работы мышц.....	453

СОДЕРЖАНИЕ

Индексируется в: Размещается в:

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU

 РУКОНТ

 INFOBASE INDEX

 CYBERLENINKA
издательский дом
 ЛАНЬ®
www.e.lanbook.com
электронно - библиотечная система

 Crossref

 IPR SMART

Редактор
М.Г. Аверина

Ведущий редактор
А.В. Крюкова

Переводчик
С.В. Бирюкова

Верстка
Е.Б. Красновой, О.В. Деревцовой

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 издателя:
163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, д. 17
Тел.: +7 (8182) 21-61-99
E-mail: public@narfu.ru

Адрес редакции:
163060, г. Архангельск,
ул. Урицкого, д. 56, каб. 26
Тел.: +7 (8182) 21-61-00 (18-20)
E-mail: vestnik@narfu.ru;
vestnik.med@narfu.ru

Выход в свет 12.12.2025.
Бумага писчая. Формат 84×108 1/16.
Усл. печ. л. 12,39. Уч.-изд. л. 10,12.
Тираж 3 экз. Заказ № 9020.

Адрес типографии:
Издательский дом
имени В.Н. Булатова САФУ
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 56
Свободная цена
© САФУ имени М.В. Ломоносова, 2025

ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Сочилин А.В., Садеков Д.Р., Котов В.С. Экологогигиеническая оценка состояния окружающей среды в районе размещения горящего террикона Донецкого каменноугольного бассейна..... 465

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

Кальдинова О.В., Долецкий А.Н. Ароматерапия как метод воздействия на когнитивные функции и эмоциональное состояние человека (обзор)..... 473

Кашина Ю.В., Арделян А.Н., Манилова О.Ю., Коловская В.О., Чередник И.Л., Андреева С.К., Бранчукова П.В. Актуальные аспекты физиологических особенностей пролактина (обзор)..... 488

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Беляева В.А. Анализ гемодинамических, антропометрических параметров и адаптационного потенциала системы кровообращения у старших школьников г. Владикавказа..... 501

Указатель статей, опубликованных в 2025 году..... 508
К сведению авторов..... 511

Founder and publisher: Federal State Autonomous Educational Institution
of Higher Education "Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov"

Scientific
peer-reviewed
journal

Published since 2013

JOURNAL of Medical and Biological Research

Issued quarterly

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

Registration certificate EL no. FS77-89077
issued on January 27, 2025 by the Federal
Service for Supervision of Communications,
Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor)

Subscriptional index of the journal – 82797

Editor in Chief A.O. Maryandyshev

Editorial Board:

Yu.V. Agafonov (Arkhangelsk, Russia),
N.M. Antonova (Sofia, Bulgaria),
Yu.V. Arkhipenko (Moscow, Russia),
M.V. Balykin (Ulyanovsk, Russia),
A.N. Baranov (Arkhangelsk, Russia),
N.A. Bebyakova (Arkhangelsk, Russia),
M.M. Bezrukikh (Moscow, Russia),
E.R. Boyko (Syktyvkar, Russia),
M.I. Bocharov (Syktyvkar, Russia),
R.V. Buzinov (Arkhangelsk, Russia),
Yu.A. Vladimirov (Moscow, Russia),
A.B. Gudkov (Arkhangelsk, Russia),
L.K. Dobrodeeva (Arkhangelsk, Russia),
V.V. Zinchuk (Grodno, Belarus),
L.I. Irzhak (Syktyvkar, Russia),
M.F. Casanova (Columbia, South Carolina, USA),
I.S. Kozhevnikova (Executive Editor) (Arkhangelsk, Russia),
V.I. Korchin (Khanty-Mansiysk, Russia),
S.G. Krivoshechekov (Novosibirsk, Russia),
I.V. Kuznetsova (Executive Secretary) (Arkhangelsk, Russia),
E.B. Lyskov (Gävle, Sweden),
A.L. Maksimov (Magadan, Russia),
A.Yu. Meygal (Petrozavodsk, Russia),
A.A. Melnikov (Yaroslavl, Russia),
I.A. Novikova (Arkhangelsk, Russia),
S.V. Notova (Orenburg, Russia),
M. Pääsuke (Tartu, Estonia),
M.N. Pankov (Deputy Editor in Chief) (Arkhangelsk, Russia),
L.V. Poskotinova (Deputy Editor in Chief) (Arkhangelsk, Russia),
A.S. Sarychev (Arkhangelsk, Russia),
L.V. Sokolova (Arkhangelsk, Russia),
A.G. Solovyov (Arkhangelsk, Russia),
S.I. Soroko (St. Petersburg, Russia),
S.G. Sukhanov (Arkhangelsk, Russia),
I.A. Tikhomirova (Yaroslavl, Russia),
V.A. Tkachuk (Moscow, Russia),
V.I. Torshin (Moscow, Russia),
T. Ulrichs (Berlin, Germany),
V.Kh. Khavinson (St. Petersburg, Russia),
V.I. Tsirkin (Kirov, Russia),
L.S. Chutko (St. Petersburg, Russia),
A.V. Shabrov (St. Petersburg, Russia),
A.S. Shanazarov (Bishkek, Kyrgyzstan),
S.N. Shilov (Krasnoyarsk, Russia)
L.S. Shchegoleva (Arkhangelsk, Russia)

**Vol. 13, no. 4
2025**

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

Balberova O.V., Bykov E.V. Autonomic Heart Rate Regulation in Athletes Specializing in Racing Different Distances.....	399
Ishunina T.A., Lutsenko Yu.D., Oleynikova A.V., Mironov S.Yu., Prusachenko A.V. Platelet Count as a Possible Predictor of Academic Success of University Students.....	409
Tishutin N.A., Rubchenya I.N. Relationship Between Football Players' Postural Balance Parameters When Dual-Tasking and Their Position on the Field.....	421
Mal'tsev V.P., Govorukhina A.A., Litovchenko O.G. Neurodynamic and Neuroautonomic Characteristics of Students with Different Levels of the Functional State of the Central Nervous System.....	432
Poskotinova L.V., Ukhanova A.V. Cardiac Interval Variation During Slow-Paced Breathing in Young Residents of the Arctic Zone of the Russian Federation (Arkhangelsk Region).....	442
Koryukalov Yu.I., Popova T.V., Kourova O.G. Effect of Relaxation Practice on Neuronal Synchronization in the Human Cerebral Cortex During the Development of Fatigue at Local Muscle Work.....	453

CONTENTS

Indexed in:**Included in:***Editor*

M.G. Averina

Managing Editor

A.V. Kryukova

Translator

S.V. Biryukova

Make-up by

E.B. Krasnova, O.V. Derevtsova

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.

Publisher's address:
nab. Severnoy Dviny 17, Arkhangelsk, 163060
Phone: +7 (8182) 21-61-99
E-mail: public@narfu.ru

Editorial office address:
ul. Urtskogo 56, office 26,
Arkhangelsk, 163060
Phone: +7 (8182) 21-61-00 (18-20)
E-mail: vestnik@narfu.ru;
vestnik.med@narfu.ru

Publication date 12.12.2025.
Writing paper. Format 84×108 1/16.
Conv. printer's sh. 12.39.
Acad. publ. sh. 10.12.
Circulation 3 copies. Order no. 9020.

Printer's address:
NArFU Publishing House named after V.N. Bulatov
ul. Urtskogo 56, Arkhangelsk, 163060
Free price
© NArFU named after M.V. Lomonosov, 2025

PREVENTIVE MEDICINE

- Sochilin A.V., Sadekov D.R., Kotov V.S. Ecological and Hygienic Assessment of the Environmental Conditions in the Area of a Burning Spoil Tip of the Donetsk Coal Basin..... 465

REVIEW ARTICLES

- Kaldinova O.V., Doletsky A.N. Aromatherapy as a Method for Influencing the Cognitive Functions and Emotional State in Humans (Review)..... 473

- Kashina Yu.V., Ardelyan A.N., Manilova O.Yu., Kolovskaya V.O., Cherednik I.L., Andreeva S.K., Branchukova P.V. Current Aspects of the Physiological Characteristics of Prolactin (Review)..... 488

BRIEF COMMUNICATIONS

- Belyayeva V.A. Analysis of Haemodynamic and Anthropometric Parameters and Adaptive Potential of the Circulatory System in High School Students (Vladikavkaz)..... 501

- Index of the Articles Published in 2025..... 508
Information for Authors..... 511



Журнал медико-биологических исследований. 2025. Т. 13, № 4. С. 399–408.
Journal of Medical and Biological Research, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 399–408.



Научная статья
УДК 612.178
DOI: 10.37482/2687-1491-Z259

Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма у спортсменов, специализирующихся в беге на разные дистанции

Ольга Владиславовна Балберова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5513-6384>
Евгений Витальевич Быков* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

*Уральский государственный университет физической культуры
(Челябинск, Россия)

Аннотация. Вегетативная нервная система, посредством взаимодействия симпатической и парасимпатической модуляции, детерминирует адаптацию к физической нагрузке различной метаболической направленности. Применение мониторинга спектральных характеристик вариабельности сердечного ритма на разных этапах тренировочного процесса позволяет оценить баланс между парасимпатическими и симпатическими влияниями вегетативной нервной системы и служит одним из эффективных инструментов для определения состояний адаптации/дезадаптации к тренировочным воздействиям. Цель работы – изучение особенностей вегетативной регуляции сердечного ритма у спортсменов, специализирующихся в беге на различные дистанции, на разных этапах тренировочного процесса. **Материалы и методы.** В исследовании участвовали кандидаты в мастера спорта, мастера спорта и мастера спорта международного класса мужского пола ($n = 123$; легкая атлетика, конькобежный спорт). Возраст испытуемых варьировал от 18 до 25 лет (средний возраст – $20,3 \pm 3,1$ года; стаж занятий – не менее 5 лет). В зависимости от соревновательной дистанции они были разделены на три группы: спринтеры ($n = 40$); средневики ($n = 38$); стайеры ($n = 45$). Мониторинг спектральных характеристик вариабельности сердечного ритма осуществлялся с помощью прибора «Поли-Спектр-8/EX» (ООО «Нейрософт», Россия) на разных этапах тренировочного процесса. **Результаты.** Полученные данные продемонстрировали, что функциональный оптимум в условиях тренировочной и соревновательной деятельности у легкоатлетов и конькобежцев достигается благодаря особенностям вегетативного обеспечения: в беге на короткие дистанции – за счет активации симпатического отдела вегетативной нервной системы; в беге на средние дистанции – за счет увеличения удельного веса очень низкочастотных волн в общей мощности спектра; в беге на длинные дистанции – за счет автономной регуляции сердечного ритма. Вероятно, отмеченные механизмы вегетативной регуляции сердечного ритма у спортсменов с разной метаболической направленностью нагрузок могут являться предикторами успешной адаптации к тренировочным воздействиям.

© Балберова О.В., Быков Е.В., 2025

Ответственный за переписку: Ольга Владиславовна Балберова, адрес: 454080, г. Челябинск, ул. Труда, д. 168; e-mail: olga-balberova@mail.ru

Ключевые слова: беговые спортивные дисциплины, метаболическая направленность тренировочного процесса, вегетативная регуляция, вариабельность сердечного ритма, спектральные показатели ритма сердца, симпатическая модуляция, парасимпатическая модуляция, предикторы адаптации к тренировочным нагрузкам

Для цитирования: Балберова, О. В. Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма у спортсменов, специализирующихся в беге на разные дистанции / О. В. Балберова, Е. В. Быков // Журнал медико-биологических исследований. – 2025. – Т. 13, № 4. – С. 399-408. – DOI 10.37482/2687-1491-Z259.

Original article

Autonomic Heart Rate Regulation in Athletes Specializing in Racing Different Distances

Olga V. Balberova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5513-6384>
Evgeniy V. Bykov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

*The Urals State University of Physical Culture
(Chelyabinsk, Russia)

Abstract. The autonomic nervous system, through the interaction between sympathetic and parasympathetic modulation, determines adaptation to various types of training. Monitoring the spectral characteristics of heart rate variability during different phases of the training cycle allows us to assess the balance between the parasympathetic and sympathetic influences of the autonomic nervous system and is a useful tool for determining the states of adaptation/maladaptation to training effects. The **purpose** of this paper was to study autonomic heart rate regulation in athletes specializing in racing different distances, during different phases of the training cycle. **Materials and methods.** The research involved male Candidates for Master of Sport, Masters of Sport, and International Masters of Sport ($n = 123$; athletics and speed skating) aged between 18 and 25 years (mean age 20.3 ± 3.1 years; length of training 5 years and more). The subjects were divided into 3 groups: sprinters ($n = 40$), middle-distance runners ($n = 38$) and long-distance runners ($n = 45$). Spectral characteristics of heart rate variability were monitored during different phases of the training cycle using the Poly-Spectrum-8/EX digital ECG system (Neurosoft, Ivanovo, Russia). **Results.** The data obtained indicate that during training and competitions, the functional optimum in track and field athletes and speed skaters is achieved through autonomic function: in sprinters, due to the activation of the sympathetic department; in middle-distance runners, due to an increase in the share of very low frequency waves; in long-distance runners, due to autonomic heart rate regulation. Presumably, the noted mechanisms of autonomic heart rate regulation in athletes specializing in different types of sports can be predictors of successful adaptation to training effects.

Keywords: running disciplines, types of training, autonomic regulation, heart rate variability, spectral HRV parameters, sympathetic modulation, parasympathetic modulation, predictors of adaptation to training loads

For citation: Balberova O.V., Bykov E.V. Autonomic Heart Rate Regulation in Athletes Specializing in Racing Different Distances. *Journal of Medical and Biological Research*, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 399–408. DOI: 10.37482/2687-1491-Z259

Corresponding author: Olga Balberova, address: ul. Truda 168, Chelyabinsk, 454080, Russia;
e-mail: olga-balberova@mail.ru

Беговые дисциплины в циклических видах спорта (в т. ч. в легкой атлетике и конькобежном спорте) предполагают прохождение разных дистанций, каждая из которых предъявляет специфические требования к биохимическому, энергетическому, вегетативному и другим аспектам подготовки спортсменов [1]. Исходя из этого, специфика соревновательной дистанции будет определять степень вовлечения тех или иных функциональных систем в достижение высокого спортивного результата и формировать направленность адаптационных реакций.

Одной из важнейших детерминант тренировочной адаптации является вегетативная регуляция, отражающая степень физиологического приспособления организма спортсмена к предъявляемым нагрузкам [2–4]. Учет вариабельности сердечного ритма (ВСР) у спортсменов с различной метаболической направленностью тренировочного процесса, а именно изучение спектральных параметров ВСР, позволит оценить взаимодействие контуров управления вегетативным обеспечением спортивной деятельности, а также баланс между симпатической и вагусной модуляцией [5]. В процессе адаптации к тренировочным режимам спектральные параметры ВСР изменяются в зависимости от объема и интенсивности физических нагрузок, что соотносится с достижением оптимальных функционального состояния организма и его компенсаторно-приспособительного ответа [4].

Несмотря на многочисленные исследования ВСР, в клинической практике ритмокардиография (РКГ) в большей мере применяется для прогнозирования сердечно-сосудистых осложнений при занятиях спортом, а также для оценки прогрессирования сердечно-сосудистых заболеваний [6]. Однако поиск физиологических маркеров, способных точно охарактеризовать статус спортивной подготовки и особенности вегетативной регуляции (взаимодействия контуров управления вегетативным обеспечением) на разных этапах тренировочного процесса у спортсменов с разной

метаболической направленностью тренировочных и соревновательных нагрузок, является важной и актуальной проблемой спортивной физиологии и представляет собой одно из необходимых условий научного подхода к управлению тренировочной и соревновательной деятельностью.

Цель исследования – определение особенностей вегетативной регуляции сердечного ритма у спортсменов, специализирующихся в беге на различные дистанции, на разных этапах тренировочного процесса.

Материалы и методы. Работа проводилась на базе лаборатории функциональной диагностики Научно-исследовательского института олимпийского спорта Уральского государственного университета физической культуры (УралГУФК). Дизайн эксперимента разработан с учетом основных этических принципов Хельсинкской декларации (редакция 2013 года) и утвержден этическим комитетом УралГУФК (приказ № 5/01 от 14.01.2022).

В исследовании участвовали спортсмены мужского пола с разной спортивной квалификацией: кандидаты в мастера спорта, мастера спорта и мастера спорта международного класса мужского пола ($n = 123$; легкая атлетика, конькобежный спорт). Возраст участников варьировал от 18 до 25 лет (средний возраст – $20,3 \pm 3,1$ года), стаж занятий спортом составлял не менее 5 лет. Всеми спортсменами было подписано информированное согласие на участие в исследовании.

В зависимости от соревновательной дистанции и, соответственно, метаболической направленности тренировочного процесса они были разделены на три группы: спринтеры ($n = 40$) – анаэробная алактатная и анаэробная гликолитическая нагрузка; средневики ($n = 38$) – смешанная анаэробная гликолитическая и аэробная нагрузка; стайеры ($n = 45$) – преимущественно аэробная нагрузка. В указанные группы были включены конькобежцы ($n = 42$), специализирующиеся в беге на короткие (500 м), средние (1500 м) и длинные (5000 м) дистанции, и легкоатлеты ($n = 81$), специализирующиеся в беге

на короткие (200–400 м), средние (800–1500 м) и длинные (5000–10000 м) дистанции.

Измерение антропометрических параметров, в т. ч. роста (см) и массы тела (кг), проводилось с помощью калиброванных приборов – ростомера и весов (Seca 220/221, ООО «Специал-Медика», Россия). Рассчитывался индекс массы тела по формуле Кетле (ИМТ, кг/м²). Мониторинг спектральных характеристик ВСР осуществлялся с помощью прибора «Поли-Спектр-8/EX» (ООО «Нейрософт», Россия) в общий подготовительный (начало сезона), соревновательный, а также в восстановительный (первая неделя после соревнований) периоды. Были исследованы следующие показатели РКГ: общая мощность спектра (TP, мс²); мощность высокочастотных (HF, мс²), низкочастотных (LF, мс²) и очень низкочастотных (VLF, мс²) волн; отношение LF/HF (у. е.); индекс напряжения регуляторных систем (ИН, у. е.).

Статистический анализ проводился при помощи программы SPSS Statistics v22.0 (StatSoft, США). Нормальность распределения исследуемых параметров определялась с использованием критерия Шапиро–Уилка. Поскольку статистическое распределение параметров РКГ имело асимметричный характер, результаты анализа данных представлены в виде медианы, 1-го и 3-го квартилей, соответствующих 25-му и 75-му перцентилям, – $Me [Q_1; Q_3]$. Статистическая значимость различий выявлялась с помощью U -критерия Манна–Уитни при сравне-

нии межгрупповых переменных и Z -критерия Уилкоксона при сравнении переменных внутри группы. Антропометрические данные спортсменов представлены в виде $M \pm SD$, где M – среднее арифметическое значение; SD – стандартное квадратичное отклонение. Межгрупповые различия признавались как статистически значимые при $p < 0,05$.

Результаты. Статистически значимых различий по основным антропометрическим показателям между спортсменами в зависимости от специализации не выявлено (табл. 1).

TP, отражающая широту гомеостатического диапазона организма человека, увеличивалась с ростом соревновательной дистанции (табл. 2): у спринтеров она составляла 3692,2 мс², у средневиков – 4705,4 мс², у стайеров – 6838,5 мс²; статистически значимые различия зарегистрированы между спринтерами и стайерами. Высокая ВСР, а значит, и высокое число «степеней свободы» у стайеров способствуют достижению функционального оптимума при физических нагрузках в зоне большой и умеренной мощности большой продолжительности.

В исследованиях российских и зарубежных авторов продемонстрировано, что спектральные характеристики ритмокардиограммы являются чувствительными маркерами, отражающими реакцию регуляторных систем организма на совокупный вклад действия эндогенных и экзогенных факторов [7–9]. Вне зависимости от специфики тренировок, у спорт-

Таблица 1

Антропометрическая характеристика спортсменов, специализирующихся в беге на разные дистанции ($n = 123$), $M \pm SD$

Anthropometric characteristics of athletes specializing in racing different distances ($n = 123$), $M \pm SD$

Показатель	Спринтеры ($n = 40$)	Средневики ($n = 38$)	Стайеры ($n = 45$)
Рост, см	183,00±6,43	180,22±5,66	182,76±5,16
Масса тела, кг	77,01±9,04	73,42±7,32	70,54±5,11
Индекс массы тела по Кетле, кг/м ²	22,92±1,94	22,12±1,94	21,09±1,28

Примечание. Статистически значимые различия по всем показателям не обнаружены ($p > 0,05$).

сменов на подготовительном этапе в общем спектре ритма сердца преобладали HF-волны (табл. 2), которые отражают парасимпатическую составляющую автономного контура регуляции. Преобладание HF-волн в общем спектре сердечного ритма имело статистически значимые межгрупповые различия, самые высокие значения данного показателя отмечены у стайеров – 39,3 % против 34,4 и 28,8 % у спринтеров и средневиков соответственно. Относительная мощность VLF-волн у бегунов на длинные дистанции составила 26,9 %, что было статистически значимо ниже, чем у бегунов на короткие и средние дистанции (31,3 и 34,9 % соответственно).

Существуют различные точки зрения, описывающие механизм воздействия низкочастотных колебаний – в частности, Р.М. Баевский, А.Г. Черникова и Б.А. Жгир, О.Н. Кудря указывают на взаимосвязь данных волн с процессами ресинтеза аденоzinтрифосфата [10, 11].

Относительная мощность LF-волн у бегунов на короткие, средние и длинные дистанции составила 34,3; 28,5 и 28,6 % соответственно, т. е. у спринтеров вклад LF-волн в ТР был статистически значимо выше, чем у средневиков и стайеров. Отношение LF/HF, отражающее баланс симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, статистически значимо снижалось по мере увеличения дистанции (у спринтеров – 1,03 у. е., у средневиков – 0,99 у. е., у стайеров – 0,77 у. е.) (табл. 2).

С увеличением интенсивности тренировочных воздействий в соревновательный период у спринтеров отмечена выраженная активация симпатического отдела ($VLF < LF > HF$): возраст относительный вклад LF-волн ($p = 0,0027$) за счет снижения вклада HF-волн ($p = 0,0051$) без существенного изменения относительной мощности VLF-волн, отношение LF/HF увеличилось с 0,93 до 2,05 у. е. (на 120,4 %)

Таблица 2

**Спектральный анализ ВСР у спортсменов, специализирующихся в беге на разные дистанции,
в подготовительный период тренировочного цикла, $Me [Q_1; Q_3]$**

**Spectral analysis of heart rate variability in athletes specializing in racing different distances
during the preparatory phase of the training cycle, $Me [Q_1; Q_3]$**

Показатель	Спринтеры ($n = 40$) (1)	Средневики ($n = 38$) (2)	Стайеры ($n = 45$) (3)	Z, p
TP, mc^2	3692,2 [2356; 5979]	4705,4 [2424; 6955]	6838,5 [4467; 10889]	$Z_{1-3} = 6,621; p = 0,0001$ $Z_{2-3} = 4,111; p = 0,0039$ $Z_{1-2} = 4,328; p = 0,0015$
HF, %	33,4 [21,3; 42,7]	28,8 [17,4; 41,5]	39,3 [26,5; 50,9]	$Z_{1-3} = 0,070; p = 0,943$ $Z_{2-3} = 3,372; p = 0,0007$ $Z_{1-2} = 2,489; p = 0,0128$
LF, %	34,3 [20,3; 45,5]	28,5 [21,7; 37,9]	28,6 [21,5; 37,0]	$Z_{1-3} = 2,329; p = 0,0083$ $Z_{2-3} = 0,550; p = 0,9071$ $Z_{1-2} = 2,674; p = 0,0074$
VLF, %	31,3 [22,1; 39,0]	34,9 [24,5; 50,8]	26,9 [18,4; 40,1]	$Z_{1-3} = 2,377; p = 0,0174$ $Z_{2-3} = 4,305; p = 0,0017$ $Z_{1-2} = 1,724; p = 0,1064$
LF/HF, у. е.	1,03 [0,6; 1,8]	0,99 [0,6; 1,8]	0,77 [0,4; 1,2]	$Z_{1-3} = 2,350; p = 0,0187$ $Z_{2-3} = 2,134; p = 0,0328$ $Z_{1-2} = 0,884; p = 0,3763$

Примечание. Здесь и далее полужирным начертанием выделены статистически значимые различия.

(табл. 3). У бегунов на средние дистанции в соревновательный период превалировало влияние VLF-диапазона, а анализ симпатико-парасимпатического равновесия выявил выраженную активацию симпатического отдела (VLF > LF >

> HF): возросли относительный вклад LF-волн с 28,5 до 33,9 % ($p = 0,0001$), удельный вес мощности VLF-волн с 34,9 до 42,7 % ($p = 0,0003$) за счет снижения относительной мощности HF-волн ($p = 0,0318$), отмечено по-

Таблица 3

Спектральный анализ ВСР у спортсменов, специализирующихся в беге на разные дистанции, в различные периоды годового цикла подготовки, $Me [Q_1; Q_3]$
Spectral analysis of heart rate variability in athletes specializing in racing different distances during different phases of the annual training cycle, $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель	Подготовительный период (1)	Соревновательный период (2)	Восстановительный период (3)	Z, p
<i>Спринтеры (n = 40)</i>				
HF, %	33,4 [21,3; 42,7]	28,3 [16,6; 38,6]	35,5 [22,2; 50,6]	$Z_{1-2} = 2,795; p = 0,0051$ $Z_{1-3} = 1,486; p = 0,1372$ $Z_{2-3} = 3,458; p = 0,0005$
LF, %	34,3 [20,3; 45,5]	38,9 [27,4; 43,0]	34,5 [19,7; 36,2]	$Z_{1-2} = 3,004; p = 0,0027$ $Z_{1-3} = 2,016; p = 0,0437$ $Z_{2-3} = 3,346; p = 0,0008$
VLF, %	31,3 [22,1; 39,0]	32,8 [22,7; 44,9]	29,7 [20,1; 35,3]	$Z_{1-2} = 1,599; p = 0,1094$ $Z_{1-3} = 0,572; p = 0,5672$ $Z_{2-3} = 1,196; p = 0,2315$
<i>Средневики (n = 38)</i>				
HF, %	28,8 [17,4; 41,5]	25,8 [16,6; 34,1]	30,1 [18,8; 45,1]	$Z_{1-2} = 2,146; p = 0,0318$ $Z_{1-3} = 1,123; p = 0,2610$ $Z_{2-3} = 3,368; p = 0,0007$
LF, %	28,5 [21,7; 37,9]	33,9 [25,8; 38,2]	29,3 [25,8; 40,3]	$Z_{1-2} = 3,828; p = 0,0001$ $Z_{1-3} = 3,161; p = 0,0015$ $Z_{2-3} = 1,059; p = 0,2891$
VLF, %	34,9 [24,5; 50,8]	42,7 [27,1; 54,8]	32,1 [19,1; 40,6]	$Z_{1-2} = 3,567; p = 0,0003$ $Z_{1-3} = 0,971; p = 0,3311$ $Z_{2-3} = 4,120; p = 0,0003$
<i>Стайеры (n = 45)</i>				
HF, %	39,3 [26,5; 50,9]	33,8 [23,8; 44,9]	40,9 [26,6; 57,8]	$Z_{1-2} = 2,601; p = 0,0092$ $Z_{1-3} = 0,812; p = 0,4163$ $Z_{2-3} = 2,519; p = 0,0117$
LF, %	28,6 [21,5; 37,0]	31,6 [21,7; 38,0]	26,3 [18,9; 37,6]	$Z_{1-2} = 1,382; p = 0,1667$ $Z_{1-3} = 0,225; p = 0,8213$ $Z_{2-3} = 1,119; p = 0,2631$
VLF, %	26,9 [18,4; 40,1]	30,2 [19,4; 44,6]	25,5 [18,4; 40,7]	$Z_{1-2} = 2,155; p = 0,0311$ $Z_{1-3} = 0,903; p = 0,3665$ $Z_{2-3} = 0,206; p = 0,8365$

вышение LF/HF с 0,99 до 1,38 у. е. (на 41,4 %). Соревновательные нагрузки у стайеров увеличивали относительный вклад LF-волн с 28,6 до 31,5 % (без достижения статистически значимого уровня), удельный вес VLF-волн с 26,9 до 30,2 % ($p = 0,0311$) за счет снижения вклада HF-волн с 39,3 до 33,8 % ($p = 0,0092$), однако активация симпатического отдела не изменила характер симпато-парасимпатических соотношений и вклад всех составляющих волн в общий спектр (VLF < LF < HF). При этом, несмотря на повышение LF/HF с 0,77 до 0,83 у. е., видно, что на этом этапе еще превалировало влияние HF-диапазона при умеренной симпатикотонии.

В восстановительный период у спортсменов всех групп отмечена стабилизация регуляции сердечного ритма: зафиксированы рост ТР, оптимальный баланс отделов вегетативной нервной системы (ВНС) (снижение LF/HF). У спринтеров в восстановительный период вклад HF-волн составил 35,4 %, что незначительно превышало исходное значение (33,4 %), вклад LF-волн – 34,5 %, т. е. вернулся к уровню подготовительного периода (34,3 %), вклад VLF-волн – 29,7 %, что, напротив, было ниже уровня, зарегистрированного в подготовительный период (31,3 %). У средневиков в восстановительный период вклад HF-волн составил 30,1 %, вклад LF-волн – 29,3 %, что превышало значение подготовительного периода, а VLF-волн – 32,1 %, что, напротив, было ниже уровня, зарегистрированного в подготовительный период (31,3 %). У стайеров в восстановительный период вклад HF-волн составил 40,93 %, что незначительно превышало исходное значение (39,3 %), вклад LF и VLF-волн – 26,3 и 25,5 % соответственно, что, напротив, было ниже уровня, зарегистрированного в подготовительный период (28,6 и 26,9 %).

Обсуждение. Динамика показателей ВСР на разных этапах подготовки у спринтеров указывала на высокий мобилизационный потенциал спортсменов данной группы. Выраженная активация симпатического отдела ВНС в со-

ревновательный период, воздействуя в основном на желудочковую мускулатуру, повышала ее сократительную способность, увеличивала частоту и скорость проведения возбуждения, возбудимость синоатриального узла, что позволяло миокарду как функциональной системе во время соревнований мгновенно включаться в работу на максимальной мощности (спринтерский бег).

Динамика показателей ВСР с ростом интенсивности физических нагрузок у средневиков указывала на переход регуляции сердечного ритма с рефлекторного на гуморально-метаболический. На сегодняшний день механизм влияния очень низкочастотных колебаний (увеличение удельного веса VLF-волн) на модуляцию сердечного ритма изучен недостаточно полно. По мнению ряда авторов, регуляция ВНС посредством роста активности VLF-волн и симпатического отдела в меньшей степени способна обеспечивать оптимальный гомеостаз [7, 8]. Однако существует и иная точка зрения, согласно которой преобладание VLF-волн в общем спектре может отражать влияние на миокард катехоламинов, в т. ч. нейромедиаторного происхождения [12, 13]. Физические нагрузки, сопряженные с выраженным метаболическим ацидозом, формируют адаптивную способность миокарда к синтезу ацетилхолина, который обладает мощной антиоксидантной защитой. Указанные адаптивные изменения в функционировании миокарда способны предотвратить повреждения кардиомиоцитов и улучшить его производительность в условиях снижения рН и большого количества циркулирующих метаболитов [12]. В нашем исследовании медиана относительной мощности VLF-волн увеличивалась с повышением тренировочных нагрузок у бегунов на средние дистанции.

Динамика ВСР у стайеров продемонстрировала, что активация симпатического отдела в соревновательный период не изменила характер симпато-парасимпатических соотношений и вклад всех составляющих волн в общий спектр. Очевидно, что соревновательная

нагрузка является мощным стресс-фактором, действующим на организм спортсмена двумя взаимосвязанными путями: «гипоталамус–гипофиз–кора надпочечников» и через симпатический отдел ВНС [14]. При этом парасимпатический отдел ВНС, напротив, подавляет активацию симпатоадреналовой системы. Таким образом, стресс возникает, когда физиологические потребности организма перестают удовлетворяться должным образом со стороны парасимпатической нервной системы [15]. Исходя из этого, можно заключить, что физические нагрузки в зоне большой и умеренной мощности большой продолжительности (бег на длинные дистанции) способствуют достижению функционального оптимума, который выражается в переходе к более стабильной регуляции сердечного ритма за счет снижения влияний на пейсмекерную активность синусового узла, даже в условиях стресса (соревновательной деятельности).

Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы:

1. У бегунов на короткие дистанции на подготовительном этапе тренировочного процесса отмечен равный вклад симпатических и парасимпатических влияний при незначительном доминировании низкочастотных волн в общем спектре и высоких значениях ТР (умеренная симпатикотония). При этом медиана LF/HF составляла 1,03 у. е., т. е. имела пограничное значение между симпатическим и парасимпатическим влиянием на ритм сердца. В соревновательный период отмечалась выраженная активация симпатического отдела: увеличился относительный вклад LF-волн в общий спектр ритма сердца ($p = 0,0027$) за счет снижения относительной мощности HF-волн ($p = 0,0051$) и без существенного изменения относительной мощности VLF-волн, при этом повысилось отношение LF/HF на 120,4 %, что указывает на высокий мобилизационный потенциал спортсменов данной группы.

2. У бегунов на средние дистанции на подготовительном этапе тренировочного процесса отмечена умеренная симпатикотония:

при высоких значениях ТР зафиксировано незначительное преобладание VLF-волн при равном вкладе LF- и HF-волн. Отношение LF/HF имело пограничное значение между симпатическим и парасимпатическим влиянием на ритм сердца (0,99 у. е.). Анализ симпатико-парасимпатического равновесия в соревновательный период выявил выраженную активацию симпатического отдела: увеличился относительный вклад LF-волн ($p = 0,0001$), возрос удельный вес VLF-волн ($p = 0,0003$) за счет снижения вклада HF-волн ($p = 0,0318$), LF/HF повысилось на 41,4 %. Динамика показателей ВСР указывает на переход регуляции сердечного ритма на гуморально-метаболический, что может расцениваться как защитная реакция миокарда в условиях метаболического ацидоза.

3. У бегунов на длинные дистанции на подготовительном этапе тренировочного процесса волновая структура характеризовалась парасимпатикотонией: отмечены самые высокие значения ТР ($p = 0,0001$), более низкие значения относительной мощности LF- и VLF-волн, LF/HF составляло 0,77 у. е., т. е. у спортсменов данной группы доля влияний на пейсмекерную активность синусового узла была наименьшей. В соревновательный период возрос относительный вклад LF-волн без достижения статистически значимых различий, увеличился удельный вес VLF-волн ($p = 0,0311$) за счет снижения относительной мощности HF-волн ($p = 0,0092$), однако активация симпатического отдела не изменила характер симпато-парасимпатических соотношений и вклад всех составляющих волн в общий спектр. При этом, несмотря на повышение LF/HF с 0,77 до 0,83 у. е., отмечено доминирование HF-диапазона. Динамика показателей ВСР позволяет заключить, что физические нагрузки в зоне большой и умеренной мощности большой продолжительности (бег на длинные дистанции) способствуют формированию стабильной регуляции сердечного ритма за счет снижения влияний на пейсмекерную активность синусового узла, даже в условиях стресса (соревновательной деятельности).

Выявленные особенности вегетативной регуляции сердечного ритма у спортсменов, специализирующихся в беге на разные дистанции, мо-

гут рассматриваться как физиологические маркеры адаптации к нагрузкам разной интенсивности и продолжительности.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Быков Е.В., Балберова О.В., Чипышев А.В., Сидоркина Е.Г. Особенности функциональной подготовленности спортсменов циклических видов спорта с разной спецификой тренировочного процесса // Вестн. МГПУ. Сер.: Естеств. науки. 2020. № 2(38). С. 78–89.
2. Bellenger C.R., Fuller J.T., Thomson R.L., Davison K., Robertson E.Y., Buckley J.D. Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis // Sports Med. 2016. Vol. 46, № 10. P. 1461–1486. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0484-2>
3. Proietti R., di Fronso S., Pereira L.A., Bortoli L., Robazza C., Nakamura F.Y., Bertollo M. Heart Rate Variability Discriminates Competitive Levels in Professional Soccer Players // J. Strength Cond. Res. 2017. Vol. 31, № 6. P. 1719–1725. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001795>
4. Быков Е.В., Балберова О.В. Вариабельность сердечного ритма как индикатор высокой спортивной результативности в ходьбе на длинных дистанциях // Актуальные проблемы и современные тенденции развития спортивной подготовки в циклических видах спорта: материалы III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти проф. Г.В. Цыганова, прошедшей в рамках Десятилетия науки и технологий. Казань: Поволж. гос. ун-т физ. культуры, спорта и туризма, 2023. С. 37–42.
5. Manresa-Rocamora A., Sarabia J.M., Javaloyes A., Flatt A.A., Moya-Ramón M. Heart Rate Variability-Guided Training for Enhancing Cardiac-Vagal Modulation, Aerobic Fitness, and Endurance Performance: A Methodological Systematic Review with Meta-Analysis // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2021. Vol. 18, № 19. Art. № 10299. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910299>
6. Гаврилова Е.А. Патология сердца, индуцированная физическими нагрузками. Обзор зарубежной литературы // Безопасный спорт-2023: материалы X Междунар. конгр. СПб.: Сев.-Зап. гос. мед. ун-т им. И.И. Мечникова, 2023. С. 90–94.
7. Шлык Н.И., Гаврилова Е.А. Брадикардия и вариабельность сердечного ритма у спортсменов // Человек. Спорт. Медицина. 2023. Т. 23, № S1. С. 59–69.
8. Rudics E., Buzás A., Pálfi A., Szabó Z., Nagy Á., Hompoth E.A., Dombi J., Bilicki V., Szendi I., Dér A. Quantifying Stress and Relaxation: A New Measure of Heart Rate Variability as a Reliable Biomarker // Biomedicines. 2025. Vol. 13, № 1. Art. № 81. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13010081>
9. Ходырев Г.Н., Хлыбова С.В., Циркин В.И., Дмитриева С.Л. Методические аспекты анализа временных и спектральных показателей вариабельности сердечного ритма (обзор литературы) // Вят. мед. вестн. 2011. № 3–4. С. 60–70.
10. Baevsky R.M., Chernikova A.G. Heart Rate Variability Analysis: Physiological Foundations and Main Methods // Cardiometry. 2017. № 10. P. 66–76.
11. Жгир Б.А., Кудря О.Н. Метаболическая стоимость бега на горизонтальной и наклонной поверхности у высококвалифицированных бегунов на длинные дистанции в условиях среднегорья // Уч. зап. ун-та им. П.Ф. Лесгавта. 2021. № 12(202). С. 157–160.
12. Катаев Д.А., Циркин В.И., Кишкина В.В., Трухина С.И., Трухин А.Н. Природа общей мощности спектра и очень низкочастотных волн кардиоинтервалограммы с позиций адаптации организма человека к двигательной активности (обзор) // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 1. С. 95–107. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z134>
13. Kakinuma Y. Characteristic Effects of the Cardiac Non-Neuronal Acetylcholine System Augmentation on Brain Functions // Int. J. Mol. Sci. 2021. Vol. 22, № 2. Art. № 545. <https://doi.org/10.3390/ijms22020545>

14. Dong J.-G. The Role of Heart Rate Variability in Sports Physiology (Review) // *Exp. Ther. Med.* 2016. Vol. 11, № 5. P. 1531–1536. <https://doi.org/10.3892/etm.2016.3104>

15. Kim H.-G., Cheon E.-J., Bai D.-S., Lee Y.H., Koo B.-H. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature // *Psychiatry Investig.* 2018. Vol. 15, № 3. P. 235–245. <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>

References

1. Bykov E.V., Balberova O.V., Chipyshev A.V., Sidorkina E.G. Osobennosti funktsional'noy podgotovlennosti sportsmenov tsiklicheskikh vidov sporta s raznoy spetsifikoy trenirovochnogo protsessa [Features of the Functional Preparedness of Athletes in Cyclic Sports with Different Specifics of the Training Process]. *Vestnik MGPU. Ser.: Estestvennye nauki*, 2020, no. 2, pp. 78–89.
2. Bellenger C.R., Fuller J.T., Thomson R.L., Davison K., Robertson E.Y., Buckley J.D. Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.*, 2016, vol. 46, no. 10, pp. 1461–1486. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0484-2>
3. Proietti R., di Fronso S., Pereira L.A., Bortoli L., Robazza C., Nakamura F.Y., Bertollo M. Heart Rate Variability Discriminates Competitive Levels in Professional Soccer Players. *J. Strength Cond. Res.*, 2017, vol. 31, no. 6, pp. 1719–1725. <https://doi.org/10.1519/jsc.00000000000001795>
4. Bykov E.V., Balberova O.V. Variabel'nost' serdechnogo ritma kak indikator vysokoy sportivnoy rezul'tativnosti v khod'be na dlinnykh distantsiyakh [Heart Rate Variability as an Indicator of High Sports Performance in Long-Distance Race Walking]. *Aktual'nye problemy i sovremennye tendentsii razvitiya sportivnoy podgotovki v tsiklicheskikh vidakh sporta* [Current Problems and Trends in the Development of Training in Speed-Strength Sports]. Kazan, 2023, pp. 37–42.
5. Manresa-Rocamora A., Sarabia J.M., Javaloyes A., Flatt A.A., Moya-Ramón M. Heart Rate Variability-Guided Training for Enhancing Cardiac-Vagal Modulation, Aerobic Fitness, and Endurance Performance: A Methodological Systematic Review with Meta-Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, no. 19. Art. no. 10299. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910299>
6. Gavrilova E.A. Patologiya serdtsa, indutsirovannaya fizicheskimi nagruzkami. Obzor zarubezhnoy literatury [Exercise-Induced Cardiac Pathology. A Review of Foreign Literature]. *Bezopasnyy sport-2023* [Safe Sports – 2023]. St. Petersburg, 2023, pp. 90–94.
7. Shlyk N.I., Gavrilova E.A. Bradycardia and Heart Rate Variability in Athletes. *Hum. Sport Med.*, 2023, vol. 23, no. S1, pp. 59–69 (in Russ.).
8. Rudics E., Buzás A., Pálfi A., Szabó Z., Nagy Á., Hompeth E.A., Dombi J., Bilicki V., Szendi I., Dér A. Quantifying Stress and Relaxation: A New Measure of Heart Rate Variability as a Reliable Biomarker. *Biomedicines*, 2025, vol. 13, no. 1. Art. no. 81. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13010081>
9. Khodyrev G.N., Khlybova S.V., Tsirkin V.I., Dmitrieva S.L. Metodicheskie aspekty analiza vremennykh i spektral'nykh pokazateley variabel'nosti serdechnogo ritma (obzor literature) [Methodological Aspects of Analysis of Temporal and Spectral Parameters of Heart Rate Variability (Review)]. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik*, 2011, no. 3–4, pp. 60–70.
10. Baevsky R.M., Chernikova A.G. Heart Rate Variability Analysis: Physiological Foundations and Main Methods. *Cardiometry*, 2017, no. 10, pp. 66–76.
11. Zhgir B.A., Kudrya O.N. Metabolicheskaya stoimost' bega na gorizontaльnoy i naklonnoy poverkhnostyakh u vysokokvalifitsirovannykh beguniy na dlinnye distantsii v usloviyakh srednegor'ya [The Metabolic Cost of Horizontal and Incline Running in Highly Skilled Long Distance Runners in Mid-Altitude Conditions]. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*, 2021, no. 12, pp. 157–160.
12. Kataev D.A., Tsirkin V.I., Kishkina V.V., Trukhina S.I., Trukhin A.N. The Nature of Total Power and Very Low Frequency Waves on the Interval Electrocardiogram from the Standpoint of the Human Body's Adaptation to Motor Activity (Review). *J. Med. Biol. Res.*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 95–107. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z134>
13. Kakinuma Y. Characteristic Effects of the Cardiac Non-Neuronal Acetylcholine System Augmentation on Brain Functions. *Int. J. Mol. Sci.*, 2021, vol. 22, no. 2. Art. no. 545. <https://doi.org/10.3390/ijms22020545>
14. Dong J.-G. The Role of Heart Rate Variability in Sports Physiology (Review). *Exp. Ther. Med.*, 2016, vol. 11, no. 5, pp. 1531–1536. <https://doi.org/10.3892/etm.2016.3104>
15. Kim H.-G., Cheon E.-J., Bai D.-S., Lee Y.H., Koo B.-H. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investig.*, 2018, vol. 15, no. 3, pp. 235–245. <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>

Поступила в редакцию 28.02.2025 / Одобрена после рецензирования 18.04.2025 / Принята к публикации 22.04.2025.
Submitted 28 February 2025 / Approved after reviewing 18 April 2025 / Accepted for publication 22 April 2025.

Журнал медико-биологических исследований. 2025. Т. 13, № 4. С. 409–420.
Journal of Medical and Biological Research, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 409–420.



Научная статья
УДК [612.11+611.018.5]:576
DOI: 10.37482/2687-1491-Z263

Уровень тромбоцитов как возможный предиктор успешности обучения студентов в высших учебных заведениях

Татьяна Александровна Ишунина* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2743-7515>
Юлия Дмитриевна Луценко* ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2881-6839>
Алина Владиславовна Олейникова* ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2861-1272>
Сергей Юрьевич Миронов* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9889-9277>
Андрей Викторович Прусаченко* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0426-691X>

*Курский государственный медицинский университет
(Курск, Россия)

Аннотация. Прогнозирование успешности обучения является одной из фундаментальных задач учебной аналитики. К общепринятым прогностическим критериям относят показатели академической успеваемости. В то же время в доступной литературе недостаточно сведений о влиянии морфофункциональных факторов, свидетельствующих о состоянии здоровья обучающихся, на их успеваемость. В связи с этим **целью** настоящего исследования стало выявление возможных предикторов успешности обучения из числа форменных элементов крови. **Материалы и методы.** В эксперименте приняли участие 79 практически здоровых студентов II курса Курского государственного медицинского университета (средний возраст – $18,97 \pm 0,14$ года), из них 67 % – девушки, 33 % – юноши. Было проведено анонимное анкетирование обследуемых с помощью Google-форм. Указывались баллы рейтинга за первый семестр изучения дисциплины «Гистология, эмбриология, цитология»; время, необходимое для подготовки к занятиям; некоторые данные общего анализа крови по результатам медицинского осмотра (концентрации эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов, гемоглобина; гематокрит; процентное содержание нейтрофилов и лимфоцитов). В зависимости от набранных баллов студенты были разделены на три группы: удовлетворительный уровень успеваемости (64–79 баллов; $n = 25$); хороший уровень успеваемости (80–90 баллов; $n = 41$); отличный уровень успеваемости (91–100 баллов; $n = 13$). **Результаты.** Выявлена значимая положительная корреляция между уровнем тромбоцитов и набранными баллами рейтинга ($r = 0,411$, $p = 0,00017$). При этом концентрация тромбоцитов значимо отличалась между тремя группами студентов ($p = 0,002$) и была выше у отличников по сравнению с обучающимися, продемонстрировавшими хороший ($p = 0,007$) или удовлетворительный ($p = 0,00045$) уровни успеваемости. Одной из причин повышения уровня тромбоци-

© Ишунина Т.А., Луценко Ю.Д., Олейникова А.В., Миронов С.Ю., Прусаченко А.В., 2025

Ответственный за переписку: Татьяна Александровна Ишунина, адрес: 305041, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 3; e-mail: ishuninat@yandex.ru

тов у испытуемых с высокой текущей успеваемостью может быть испытываемое ими нервно-психическое напряжение, связанное с более тщательной и длительной подготовкой к занятиям. Таким образом, концентрация тромбоцитов может использоваться в качестве предиктора успешности обучения студентов.

Ключевые слова: *форменные элементы крови, тромбоциты, нейтрофилы, предикторы успешности обучения, академическая успеваемость, морфофункциональные параметры здоровья, студенты вуза*

Для цитирования: Уровень тромбоцитов как возможный предиктор успешности обучения студентов в высших учебных заведениях / Т. А. Ишунина, Ю. Д. Луценко, А. В. Олейникова, С. Ю. Миронов, А. В. Прусаченко // Журнал медико-биологических исследований. – 2025. – Т. 13, № 4. – С. 409-420. – DOI 10.37482/2687-1491-Z263.

Original article

Platelet Count as a Possible Predictor of Academic Success of University Students

Tatjana A. Ishunina* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2743-7515>

Yuliya D. Lutsenko* ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2881-6839>

Alina V. Oleynikova* ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2861-1272>

Sergey Yu. Mironov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9889-9277>

Andrey V. Prusachenko* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0426-691X>

*Kursk State Medical University
(Kursk, Russia)

Abstract. Predicting academic success is one of the fundamental tasks of learning analytics. Generally accepted predictive criteria include academic performance. However, there is limited information about the influence of morphofunctional factors indicating the state of health in students on their academic performance. Therefore, the **purpose** of this study was to investigate potential predictors of learning success based on blood cell data. **Materials and methods.** The experiment involved 79 apparently healthy second-year students of Kursk State Medical University (mean age 18.97 ± 0.14 years), 67 % female and 33 % male. An anonymous survey was conducted using Google Forms. The following information was obtained: rating points for the first semester of studying the discipline “Histology, Embryology, Cytology”, time spent preparing for classes, and some complete blood count data (concentrations of red blood cells, white blood cells, platelets and haemoglobin; haematocrit; neutrophil and lymphocyte fractions). Depending on the points scored, the students were divided into three groups: satisfactory performance (64–79 points, $n = 25$), good performance (80–90 points, $n = 41$) and excellent performance (91–100 points, $n = 13$). **Results.** A significant positive correlation between platelet count and rating points scored was found ($r = 0.411, p = 0.00017$). At the same time, platelet concentration differed significantly between the three

Corresponding author: Tatjana Ishunina, address: ul. Karla Marksа 3, Kursk, 305041, Russia; e-mail: ishuninat@yandex.ru

groups of students ($p = 0.002$) and was higher in the group with excellent performance compared to students who demonstrated good ($p = 0.007$) or satisfactory ($p = 0.00045$) performance. One of the reasons behind the increase in platelet concentration in students with currently high academic performance may be the neuropsychic stress they experience due to a longer and more thorough preparation for classes. Thus, platelet count can be used as a predictor of students' academic success.

Keywords: *blood cells, platelets, neutrophils, predictors of academic success, academic performance, morphofunctional parameters of health, university students*

For citation: Ishunina T.A., Lutsenko Yu.D., Oleynikova A.V., Mironov S.Yu., Prusachenko A.V. Platelet Count as a Possible Predictor of Academic Success of University Students. *Journal of Medical and Biological Research*, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 409–420. DOI: 10.37482/2687-1491-Z263

Улучшение подготовки новых кадров – важнейшая задача высших учебных заведений. Его основным критерием является успешность обучения – комплексный параметр, учитывающий главным образом качество знаний и компетенций студентов [1]. Данный показатель во многом определяется общим уровнем интеллекта и мотивации и зависит от индивидуальных психологических особенностей обучающегося (например, уровня личностной тревожности).

Прогнозирование успешности обучения на протяжении многих лет остается актуальной задачей учебной аналитики и педагогики. В качестве критериев рассматриваются оценки (баллы) по основным дисциплинам, факт получения диплома по окончании вуза, приобретение профессиональных компетенций, удовлетворенность результатами обучения и конкурентоспособность на рынке труда. В качестве предикторов чаще всего используются показатели текущей успеваемости из электронно-информационных образовательных систем (например, электронных журналов). Реже исследователи учитывают результаты единого государственного экзамена (ЕГЭ) и вступительных испытаний, мотивируя это тем, что абитуриенты с более высоким уровнем базовой подготовки имеют лучшие результаты текущей успеваемости [2]. Иногда этот перечень дополняется балльной характеристикой общего уровня способностей и трудолюбия [3, 4], активностью в системе электронного

обучения, наличием академических достижений, психологическими и демографическими характеристиками обучающихся и влиянием окружающей среды [5, 6]. Таким образом, прогнозирование успешности обучения в научных работах педагогов высшей школы строится главным образом на предыдущих (ЕГЭ и вступительные испытания) и текущих (успеваемость и др.) достижениях студентов. Однако успешность обучения может зависеть и от морфофункциональных факторов и здоровья обучающихся [7], которые на данный момент игнорируются в исследованиях соответствующего профиля.

В научной литературе имеются сведения о влиянии некоторых параметров клеток крови на интеллектуальные и психофизиологические особенности взрослых людей. В основном это касается ферментных систем, участвующих в опосредовании механизмов окислительного стресса и связанного с ним воспаления в головном мозге человека. В частности, было показано, что снижение активности каталазы и глутатионпероксидазы эритроцитов приводит к накоплению перекиси водорода, инициирующей реакции окислительного стресса, которые, в свою очередь, запускают эксайтотоксичный механизм гибели нейронов и разрушение синаптических контактов [8]. Подобные изменения максимально представлены в патогенезе психических заболеваний (например, шизофрении, депрессии, биполярных расстройств), причем это касается не только эритроцитов, но и других

форменных элементов. Так, в тромбоцитах при шизофрении падает активность глутатионредуктазы и глутатион-S-трансферазы, что ассоциируется со снижением количества основного эндогенного антиоксиданта – глутатиона – в головном мозге [9]. Уровень активности глутатионредуктазы в лейкоцитах используется в качестве периферического маркера сосудистой деменции [10].

Описанные выше механизмы окислительного стресса и воспаления приводят к сокращению длины теломер лейкоцитов и ускорению их клеточного старения [9]. Более того, при когнитивных дисфункциях отмечаются изменения микроструктуры клеток крови. Например, при синдроме умеренного (мягкого) когнитивного снижения нарушается микровязкость липидов в мембране эритроцитов и повышается уровень их перекисного окисления, что приводит к структурным изменениям красных кровяных телец [11]. Таким образом, связь между форменными элементами крови и когнитивными функциями следует считать неоспоримой. Однако данных об этих взаимодействиях у здоровых людей недостаточно.

Цель настоящей работы – выявление возможных предикторов успешности обучения из числа форменных элементов крови у студентов высших учебных заведений.

Материалы и методы. Исследование выполнено на базе Курского государственного медицинского университета (КГМУ) в 2023 году в соответствии с принципами Хельсинкской декларации (редакция 2013 года). В нем приняли участие 79 практически здоровых студентов II курса лечебного, педиатрического и стоматологического факультетов КГМУ (средний возраст – $18,97 \pm 0,14$ года), из них 67 % – девушки, 33 % – юноши. Все респонденты дали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Проведено анонимное дистанционное анкетирование с использованием Google-форм. Студентам предлагалось указать:

- баллы рейтинга за первый семестр изучения дисциплины «Гистология, эмбриология, цитология»;

- время, необходимое для подготовки к занятиям;

– данные общего анализа крови, полученные при обязательном медицинском осмотре, проведенном при участии КГМУ за 1 мес. до окончания семестра: концентрации эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов, гемоглобина; гематокрит; процентное содержание нейтрофилов и лимфоцитов (результаты анализа крови были выданы студентам после медосмотра).

Дисциплина «Гистология, эмбриология, цитология» изучается в КГМУ на протяжении двух семестров: второй семестр I курса (весна) и первый семестр II курса (осень). Успешность обучения характеризовалась баллами рейтинга за весенний семестр I курса (максимум – 100 баллов), которые складывались из баллов за практические занятия (средний балл, умноженный на 3; максимум – 15 баллов), баллов за три итоговые работы (средний балл, умноженный на 4; максимум – 20 баллов), оценки за практические навыки (умение распознавать ткани и клеточные элементы на гистологических препаратах; максимум – 5 баллов) и результатов зачета (средний балл, умноженный на 12; максимум – 60 баллов). Баллы рассчитывались автоматически в системе электронного журнала на основании данных, вводимых преподавателями после каждого занятия. В зависимости от набранных баллов студенты были разделены на три группы: удовлетворительный уровень успеваемости (64–79 баллов; $n = 25$); хороший уровень успеваемости (80–90 баллов; $n = 41$); отличный уровень успеваемости (91–100 баллов; $n = 13$).

Статистическая обработка проводилась с использованием программ MS Excel 2007 (Microsoft, США) и Statistica 13.3 (StatSoft, США). Характер распределения значений изучался с помощью теста Шапиро–Уилка. Поскольку для некоторых признаков оно отличалось от нормального, статистическая обработка осуществлялась с использованием непараметрического теста Краскела–Уоллиса и теста Данна для множественных сравнений с поправкой Бонферрони. Корреляционные связи анализировались с помощью теста Пирсона. Данные представлены в виде медианы и интерквартильного размаха – $Me [Q_1; Q_3]$. Критический уровень значимости (p) принят равным 0,05.

Результаты. Вначале определялось наличие корреляционных связей между набранными баллами и показателями общего анализа крови. Установлено, что концентрация лейкоцитов не влияла на успеваемость студентов (см. таблицу и рис. 1, с. 414). Отмечено наличие значимой положительной корреляции между уровнем тромбоцитов и набранными баллами ($r = 0,411$, $p = 0,00017$), т. е. чем больше данный показатель (в пределах физиологической нормы), тем выше успешность обучения. Согласно тесту Краскела–Уоллиса, концентрация тромбоцитов значимо отличалась между тремя группами студентов ($p = 0,002$) и была выше у отличников по сравнению с обучающимися, продемонстрировавшими хороший ($p = 0,007$) или удовлетворительный ($p = 0,00045$) уровни успеваемости.

Значительного влияния показателей красной крови (эритроциты, гемоглобин, гематокрит) на успешность обучения в изученной выборке не установлено. Однако обращает на себя внимание отрицательный характер корреляционной связи между концентрацией эритроцитов и успешностью обучения студентов ($r = -0,158$; $p = 0,165$). Более того, отрицательной оказалась и зависимость между гематокритом и успешностью обучения ($r = -0,214$; $p = 0,058$) (рис. 2, см. с. 415). Близкие к достоверным различия получены для концентраций эритроцитов при межгрупповых сравнениях. Так, у студентов с удовлетворительным уровнем успеваемости концентрация эритроцитов была выше, чем у хорошистов ($p = 0,06$) и отличников ($p = 0,07$) (см. таблицу).

Гендерных различий в настоящем исследовании не установлено. Однако следует от-

**Показатели общего анализа крови студентов КГМУ ($n = 79$)
в зависимости от текущей успеваемости, $Me [Q_1; Q_3]$**

**Complete blood count in students of Kursk State Medical University ($n = 79$)
depending on their current academic performance, $Me [Q_1; Q_3]$**

Показатель	Уровень успеваемости			Тест Краскела–Уоллиса	<i>p</i>
	удовлетворительный (1)	хороший (2)	отличный (3)		
Концентрация эритроцитов, $\cdot 10^{12}/\text{л}$	4,63 [4,27; 4,90]	4,45 [4,10; 4,90]	4,30 [4,10; 4,80]	0,100	–
Концентрация гемоглобина, г/л	140 [124,5; 153,5]	130 [117,0; 147,0]	137 [129,5; 146,5]	0,218	–
Гематокрит, %	42,0 [38,4; 44,0]	40,0 [36,8; 44,6]	40,1 [38,8; 42,2]	0,122	–
Концентрация лейкоцитов, $\cdot 10^9/\text{л}$	6,3 [4,7; 8,3]	6,0 [4,8; 7,4]	6,0 [5,0; 7,9]	0,920	–
Концентрация тромбоцитов, $\cdot 10^9/\text{л}$	230 [197; 301]	250 [205; 314]	340 [280; 387]	0,002	<0,001 (1-3) 0,007 (2-3)
Содержание нейтрофилов, %	54,0 [47,5; 61,0]	54,7 [44,3; 62,9]	57,8 [52,8; 63,0]	0,674	–
Содержание лимфоцитов, %	32,0 [24,0; 40,0]	31,7 [23,4; 43,3]	33,1 [26,4; 41,6]	0,290	–
Время, затрачиваемое на подготовку к занятиям, ч	2,0 [1,5; 4,5]	3,0 [2,0; 4,5]	3,5 [2,8; 4,3]	0,006	0,012 (1-2) 0,004 (1-3)

Примечание. Полужирным начертанием отмечены статистически значимые различия.

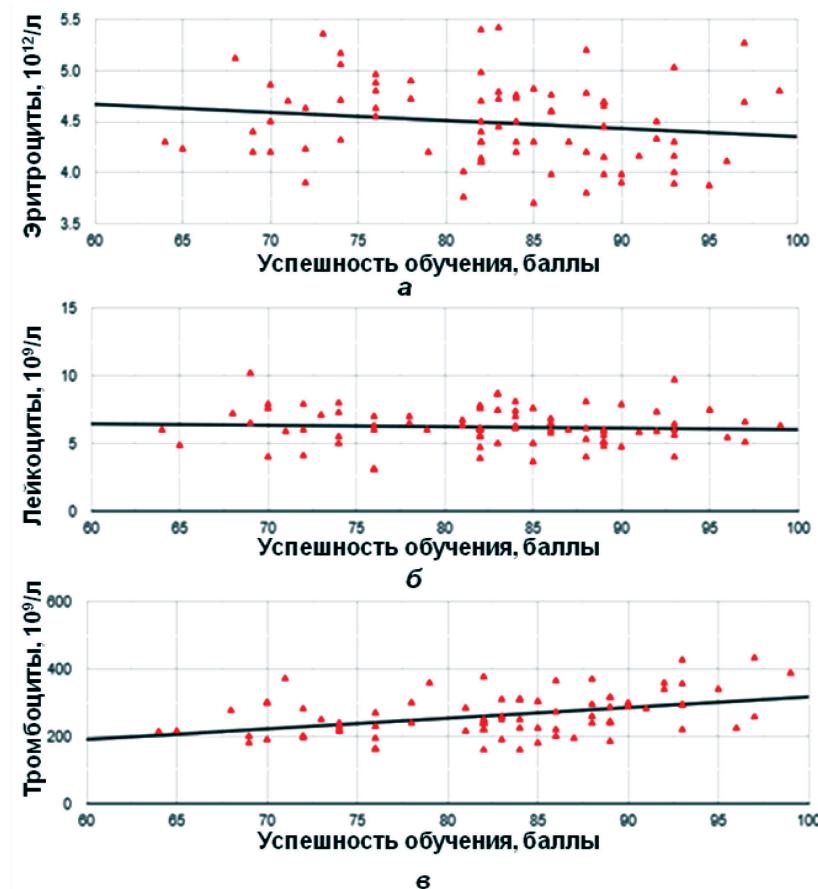


Рис. 1. Корреляционные связи между успешностью обучения студентов КГМУ и концентрациями клеток в их периферической крови: *а* – эритроцитов ($r = -0,158, p = 0,165$); *б* – лейкоцитов ($r = -0,063, p = 0,582$); *в* – тромбоцитов ($r = 0,411, p = 0,00017$)

Fig. 1. Correlations between academic success in students of Kursk State Medical University and peripheral blood cell counts: *a* – red blood cells ($r = -0.158, p = 0.165$); *b* – white blood cells ($r = -0.063, p = 0.582$); *c* – platelets ($r = 0.411, p = 0.00017$)

метить наличие статистического тренда при анализе корреляционной связи между успешностью обучения и процентным содержанием лимфоцитов у девушек ($r = 0,237; p = 0,088$).

Вполне ожидаемыми, но впервые демонстрируемыми оказались различия в количестве часов, которое обучающиеся затрачивали на подготовку к занятиям ($p = 0,006$) (см. табли-

цу). Студенты с удовлетворительным уровнем успеваемости уделяли подготовке к занятиям меньше часов, чем хорошисты ($p = 0,012$) и отличники ($p = 0,004$). При этом последние две группы тратили на подготовку приблизительно одинаковое количество времени. Новым интересным результатом является положительная корреляционная зависимость между процент-

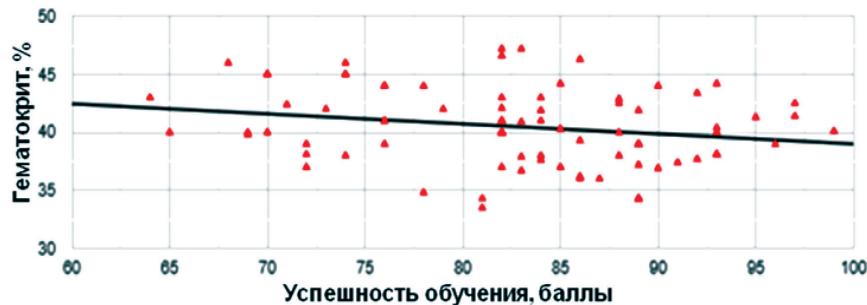


Рис. 2. Корреляционная связь между успешностью обучения и гематокритом у студентов КГМУ ($r = -0,214$; $p = 0,058$)

Fig. 2. Correlation between academic success and haematocrit in students of Kursk State Medical University ($r = -0.214$; $p = 0.058$)

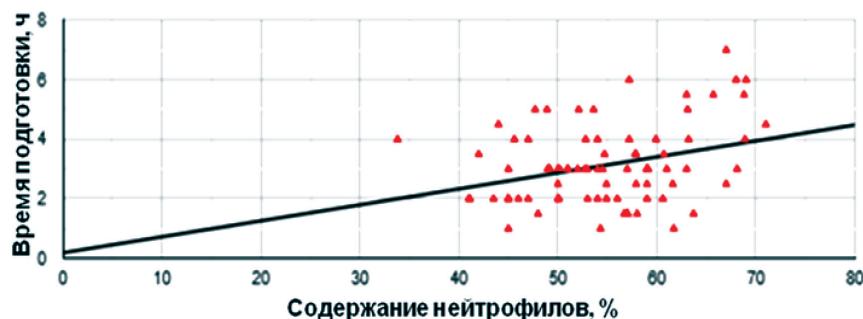


Рис. 3. Корреляционная связь между процентным содержанием нейтрофилов и временем, затрачиваемым на подготовку, у студентов КГМУ ($r = 0,311$; $p = 0,005$)

Fig. 3. Correlation between neutrophil fraction and time spent preparing for classes in students of Kursk State Medical University ($r = 0.311$; $p = 0.005$)

ным содержанием нейтрофилов и количеством часов, уделяемых подготовке к занятиям ($r = 0,311$; $p = 0,005$), т. е. чем выше было процентное содержание нейтрофилов, тем больше времени студент тратил на подготовку (рис. 3).

Обсуждение. Концентрация лейкоцитов в общем анализе крови служит индикатором воспаления. В изученной выборке она находилась в пределах физиологической нормы и не влияла на успешность обучения. Однако количество нейтрофилов, отвечающих в основном за фагоцитоз и неспецифические аспекты иммунного ответа, было связано со временем,

затрачиваемым на усвоение материала. Так, при наличии слабо выраженного неспецифического воспаления в организме студентам требовалось больше времени на подготовку к занятиям. Вполне возможно, что учащиеся с более высоким процентным содержанием нейтрофилов испытывали чувство усталости, увеличивающее временной интервал для усвоения материала. Подтверждением этой гипотезы служат данные об увеличении экспрессии в лейкоцитах пациентов с непрекращающим чувством усталости транскриптов, обладающих чувствительными участками для связи и после-

дующего ответа на провоспалительный фактор NF- κ B [12].

Эритроциты традиционно ассоциируются с переносом кислорода. Компенсаторное повышение их концентрации может указывать на наличие тканевой гипоксии. Не исключено, что более низкие баллы у студентов с удовлетворительным уровнем успеваемости были связаны с незначительным дефицитом оксигенации периферических тканей в целом и головного мозга в частности.

Однако наибольший и статистически значимый вклад в прогнозирование успешности обучения студентов вносят кровяные пластинки, или тромбоциты. Классическая функция этих форменных элементов – участие в процессах свертывания крови и тромбообразовании. Исследования последних 5–10 лет все чаще связывают их с нейрогенезом и функциональными особенностями нейронов и синапсов. Тромбоциты содержат целую группу нейротрансмиттеров (серотонин, гистамин, адреналин, дофамин, глутамат, γ -аминомасляная кислота), участвующих в межнейронных взаимодействиях, а также рецепторы и транспортеры этих молекул. Более того, тромбоциты способны выделять указанные нейротрансмиттеры в синаптоподобные структуры, которые они могут образовывать с нейронами. Основным тромбоцитарным нейротрансмиттером является серотонин, который поглощается из плазмы крови с участием серотонинового транспортера и накапливается в плотных гранулах кровяных пластинок. Его выделение из данных гранул стимулирует образование новых синапсов между нейронами. Помимо этого, тромбоциты могут повышать уровень экспрессии некоторых генов, ответственных за синаптическую пластичность нейронов и образование дендритических шипиков, необходимых для формирования новых синапсов [13]. Также тромбоциты способны связываться со специфичными для центральной нервной системы гликолипидными структурами нейрональных отростков [14] и через них влиять на появление новых дендритических шипиков [15]. В то же время широ-

ко известно, что количество дендритических шипиков положительно коррелирует со способностями к обучению. Именно им принадлежит ключевая роль в процессах обучения и памяти [16].

К предполагаемым механизмам, обеспечивающим взаимодействие тромбоцитов с нейронами, относится упаковка и транспортировка молекул с помощью небольших внеклеточных везикул, которые считаются индикаторами межклеточных коммуникаций, причем источником 60–90 % таких внеклеточных везикул, обнаруживаемых в периферической крови, являются именно тромбоциты. Активизированные кровяные пластинки высвобождают главным образом два типа внеклеточных везикул: экзосомы и РМР (platelet microparticles, или микровезикулы тромбоцитов). В экзосомах определяется в основном содержимое α -гранул, включая несколько молекул, стимулирующих нейрогенез. По этой причине высвобождение тромбоцитами экзосом представляет собой потенциальный канал связи между ними и нейрональными клетками-предшественницами. РМР содержат цитоплазму, рибонуклеиновую кислоту и белки, которые могут быть перенесены в другие клетки. Помимо факторов, участвующих в коагуляции, адгезии и активации клеток, в РМР обнаружены цитокины и хемокины, такие как тромбоцитарный фактор 4 (PF4), обеспечивающий дифференцировку нейронов из нейрональных клеток-предшественниц [17]. Более того, в экспериментах на мышах показано, что PF4 проникает в головной мозг и улучшает когнитивные функции [18, 19].

Подтверждением потенциальной связи между тромбоцитами и когнитивными функциями у людей служат результаты недавнего исследования H. Yu et al. [20]. Авторами был проведен подробный протеомный анализ тромбоцитов у взрослых пациентов с мягкими когнитивными расстройствами, болезню Альцгеймера и людей, не имеющих заболеваний с нарушением когнитивных функций, в зависимости от когнитивного статуса по шкале MMSE (Mini-Mental State Examination), предусматривающей

оценку ориентации во времени и пространстве, концентрации внимания, способности считать, запоминать, читать, говорить, воспроизводить и выполнять 3-этапные команды. Оказалось, что по меньшей мере 173 разновидности белков тромбоцитов человека коррелируют с когнитивными способностями, причем у 129 из них эта корреляция является положительной. Меньшая группа из 44 белков с отрицательной корреляцией принадлежит к белкам воспалительных реакций, которые активируются в мозге пожилых людей и пациентов с когнитивными расстройствами, в частности с болезнью Альцгеймера.

Таким образом, в научной литературе представлено немало доказательств влияния тромбоцитов и выделяемых ими факторов на нейроны и когнитивные функции. В то же время данных о взаимосвязи концентрации

тромбоцитов с показателями успешности обучения у молодых людей нет. В настоящей работе впервые показано, что концентрация тромбоцитов у студентов высших учебных заведений связана с их успеваемостью, что может быть использовано в медико-биологических исследованиях при оценке когнитивных функций. Одной из причин повышения концентрации тромбоцитов у студентов с высоким уровнем успеваемости может быть испытываемое ими нервно-психическое напряжение [21], связанное с более тщательной и длительной подготовкой к занятиям. Активация тромбоцитов последовательно приводит к интенсификации высвобождения тромбоцитарных факторов, влияющих на морфофункциональные аспекты нервной системы и когнитивные способности обучающихся.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Озерова Г.П., Павленко Г.Ф. Прогнозирование успешности студентов при смешанном обучении с использованием данных учебной аналитики // Sci. Educ. Today. 2019. Т. 9, № 6. С. 73–87. <https://doi.org/10.15293/2658-6762.1906.05>
2. Степанова И.П., Ганзина И.В., Атавина О.В., Постнова Т.В., Мугак В.В. Прогнозирование успешности обучения по химическим дисциплинам по результатам ЕГЭ в медицинском вузе // Междунар. журн. эксперим. образования. 2018. № 11. С. 17–22.
3. Носков М.В., Вайнштейн Ю.В., Сомова М.В., Федотова И.М. Прогностическая модель оценки успешности предметного обучения в условиях цифровизации образования // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов. Сер.: Информатизация образования. 2023. Т. 20, № 1. С. 7–19. <https://doi.org/10.22363/2312-8631-2023-20-1-7-19>
4. Харитонов И.М., Крушель Е.Г., Привалов О.О., Степанченко И.В., Степанченко О.В. Прогнозирование качества обучения в вузе с помощью методов регрессионного анализа // Изв. С.-Петерб. гос. технол. ин-та (техн. ун-та). 2021. № 56(82). С. 72–80. <https://doi.org/10.36807/1998-9849-2020-56-82-72-80>
5. Гафаров Ф.М., Руднева Я.Б., Шарифов У.Ю. Прогностическое моделирование в высшем образовании: определение факторов академической успеваемости // Высш. образование в России. 2023. Т. 32, № 1. С. 51–70. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2023-32-1-51-70>
6. Якунин Ю.Ю., Шестаков В.Н., Ликсонова Д.И., Даничев А.А. Прогнозирование результатов обучения студентов с использованием инструментов машинного обучения // Информатика и образование. 2023. Т. 38, № 4. С. 28–43. <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2023-38-4-28-43>
7. Мухина Н.В. Влияние физиологических и психологических показателей организма студенток среднего профессионального образования на уровень их успеваемости // Журн. мед.-биол. исследований. 2024. Т. 12, № 3. С. 338–346. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z206>

8. Djordjević V.V., Kostić J., Krivokapić Ž., Krtinić D., Ranković M., Petković M., Ćosić V. Decreased Activity of Erythrocyte Catalase and Glutathione Peroxidase in Patients with Schizophrenia // Medicina (Kaunas). 2022. Vol. 58, № 10. Art. № 1491. <https://doi.org/10.3390/medicina58101491>
9. Савушкина О.К., Бокша И.С., Прохорова Т.А., Терешкина Е.Б., Бурминский Д.С., Морозова М.А., Воробьева Е.А., Бурбаева Г.Ш. Активность эритроцитарных и тромбоцитарных глутатионредуктазы и глутатион-С-трансферазы при параноидной шизофрении // Журн. неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2018. Т. 118, № 11. С. 77–81. <https://doi.org/10.17116/jnevro20181181177>
10. Cristalli D.O., Arnal N., Marra F.A., de Alaniz M.J.T., Marra C.A. Peripheral Markers in Neurodegenerative Patients and Their First-Degree Relatives // J. Neurol. Sci. 2012. Vol. 314, № 1–2. P. 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2011.11.001>
11. Фаткуллина Л.Д., Молочкина Е.М., Зорина О.М., Подчуфарова Д.Е., Гаврилова С.И., Федорова Я.Б., Клюшиник Т.П., Бурлакова Е.Б. Показатели структуры мембранны и активность ацетилхолинэстеразы эритроцитов у пациентов с синдромом мягкого когнитивного снижения // Журн. неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2013. Т. 113, № 6. С. 62–67.
12. Bower J.E., Ganz P.A., Irwin M.R., Arevalo J.M.G., Cole S.W. Fatigue and Gene Expression in Human Leukocytes: Increased NF-κB and Decreased Glucocorticoid Signaling in Breast Cancer Survivors with Persistent Fatigue // Brain Behav. Immun. 2011. Vol. 25, № 1. P. 147–150. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2010.09.010>
13. Burnouf T., Walker T.L. The Multifaceted Role of Platelets in Mediating Brain Function // Blood. 2022. Vol. 140, № 8. P. 815–827. <https://doi.org/10.1182/blood.2022015970>
14. Sotnikov I., Veremeyko T., Starosom S.C., Barteneva N., Weiner H.L., Ponomarev E.D. Platelets Recognize Brain-Specific Glycolipid Structures, Respond to Neurovascular Damage and Promote Neuroinflammation // PLoS One. 2013. Vol. 8, № 3. Art. № e58979. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058979>
15. Dukhinova M., Kuznetsova I., Kopeikina E., Veniaminova E., Yung A.W.Y., Veremeyko T., Levchuk K., Barteneva N.S., Wing-Ho K.K., Yung W.-H., Liu J.Y.H., Rudd J., Yau S.S.Y., Anthony D.C., Strekalova T., Ponomarev E.D. Platelets Mediate Protective Neuroinflammation and Promote Neuronal Plasticity at the Site of Neuronal Injury // Brain Behav. Immun. 2018. Vol. 74. P. 7–27. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2018.09.009>
16. Heck N., Santos M.D. Dendritic Spines in Learning and Memory: From First Discoveries to Current Insights // Adv. Neurobiol. 2023. Vol. 34. P. 311–348. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36159-3_7
17. Leiter O., Walker T.L. Platelets: The Missing Link Between the Blood and Brain? // Prog. Neurobiol. 2019. Vol. 183. Art. № 101695. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2019.101695>
18. Park C., Hahn O., Gupta S., Moreno A.J., Marino F., Kedir B., Wang D., Villeda S.A., Wyss-Coray T., Dubal D.B. Platelet Factors Are Induced by Longevity Factor Klotho and Enhance Cognition in Young and Aging Mice // Nat. Aging. 2023. Vol. 3, № 9. P. 1067–1078. <https://doi.org/10.1038/s43587-023-00468-0>
19. Schroer A.B., Ventura P.B., Sucharov J., Misra R., Chui M.K.K., Bieri G., Horowitz A.M., Smith L.K., Encabo K., Tenggara I., Couthouis J., Gross J.D., Chan J.M., Luke A., Villeda S.A. Platelet Factors Attenuate Inflammation and Rescue Cognition in Ageing // Nature. 2023. Vol. 620, № 7976. P. 1071–1079. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06436-3>
20. Yu H., Liu Y., He B., He T., Chen C., He J., Yang X., Wang J.-Z. Platelet Biomarkers for a Descending Cognitive Function: A Proteomic Approach // Aging Cell. 2021. Vol. 20, № 5. Art. № e13358. <https://doi.org/10.1111/ace.13358>
21. Koudouovoh-Tripp P., Sperner-Unterweger B. Influence of Mental Stress on Platelet Bioactivity // World J. Psychiatry. 2012. Vol. 2, № 6. P. 134–147. <https://doi.org/10.5498/wjp.v2.i6.134>

References

1. Ozerova G.P., Pavlenko G.F. Prediction of Student Performance in Blended Learning Utilizing Learning Analytics Data. *Sci. Educ. Today*. 2019, vol. 9, no. 6, pp. 73–87 (in Russ.). <https://doi.org/10.15293/2658-6762.1906.05>
2. Stepanova I.P., Ganzina I.V., Atavina O.V., Postnova T.V., Mugak V.V. Prognozirovanie uspeshnosti obucheniya po khimicheskim distsiplinam po rezul'tatam EGE v meditsinskom vuze [Prognosis of Training Success in Chemical Disciplines According to Results of the Unified State Exam (USE) in Medical University]. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya*, 2018, no. 11, pp. 17–22.

3. Noskov M.V., Vaynshteyn Yu.V., Somova M.V., Fedotova I.M. Prognostic Model for Assessing the Success of Subject Learning in Conditions of Digitalization of Education. *RUDN J. Informatization Educ.*, 2023, vol. 20, no. 1, pp. 7–19 (in Russ.). <https://doi.org/10.22363/2312-8631-2023-20-1-7-19>
4. Kharitonov I.M., Krushel' E.G., Privalov O.O., Stepanchenko I.V., Stepanchenko O.V. Prognozirovaniye kachestva obucheniya v vuze s pomoshch'yu metodov regressionnogo analiza [Higher School Education Quality Forecasting by Regression Analysis Methods]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)*, 2021, no. 56, pp. 72–80. <https://doi.org/10.36807/1998-9849-2020-56-82-72-80>
5. Gafarov F.M., Rudneva Ya.B., Sharifov U.Yu. Predictive Modeling in Higher Education: Determining Factors of Academic Performance. *Vyshee obrazovanie v Rossii*, 2023, vol. 32, no. 1, pp. 51–70 (in Russ.). <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2023-32-1-51-70>
6. Yakunin Yu.Yu., Shestakov V.N., Liksonova D.I., Danichev A.A. Predicting Student Performance Using Machine Learning Tools. *Inform. Educ.*, 2023, vol. 38, no. 4, pp. 28–43 (in Russ.). <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2023-38-4-28-43>
7. Mukhina N.V. Effects of Physiological and Psychological Parameters of Female Students on Their Academic Performance. *J. Med. Biol. Res.*, 2024, vol. 12, no. 3, pp. 338–346. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z206>
8. Djordjević V.V., Kostić J., Krivokapić Ž., Krtinić D., Ranković M., Petković M., Ćosić V. Decreased Activity of Erythrocyte Catalase and Glutathione Peroxidase in Patients with Schizophrenia. *Medicina (Kaunas)*, 2022, vol. 58, no. 10. Art. no. 1491. <https://doi.org/10.3390/medicina58101491>
9. Savushkina O.K., Boksha I.S., Prokhorova T.A., Tereshkina E.B., Burminskiy D.S., Morozova M.A., Vorob'eva E.A., Burbaea G.Sh. Aktivnost' eritrotsitarnykh i trombotsitarnykh glutationreduktazy i glutation-S-transferazy pri paranoidnoy shizofrenii [The Activity of Erythrocyte and Platelet Glutathione Reductase and Glutathione-S-Transferase in Paranoid Schizophrenia]. *Zhurnal nevrologii i psichiatrii im. S.S. Korsakova*, 2018, vol. 118, no. 11, pp. 77–81. <https://doi.org/10.17116/jnevro201811811177>
10. Cristalli D.O., Arnal N., Marra F.A., de Alaniz M.J.T., Marra C.A. Peripheral Markers in Neurodegenerative Patients and Their First-Degree Relatives. *J. Neurol. Sci.*, 2012, vol. 314, no. 1–2, pp. 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2011.11.001>
11. Fatkullina L.D., Molochkina E.M., Zorina O.M., Podchufarova D.E., Gavrilova S.I., Fedorova Ya.B., Klyushnik T.P., Burlakova E.B. Pokazateli struktury membrany i aktivnost' atsetilkholinesterazy eritrotsitov u patsientov s sindromom myagkogo kognitivnogo snizheniya [Membrane Structure Markers and the Acetylcholinesterase Activity of Erythrocytes in Patients with Mild Cognitive Impairment]. *Zhurnal nevrologii i psichiatrii im. S.S. Korsakova*, 2013, vol. 113, no. 6, pp. 62–67.
12. Bower J.E., Ganz P.A., Irwin M.R., Arevalo J.M.G., Cole S.W. Fatigue and Gene Expression in Human Leukocytes: Increased NF-κB and Decreased Glucocorticoid Signaling in Breast Cancer Survivors with Persistent Fatigue. *Brain Behav. Immun.*, 2011, vol. 25, no. 1, pp. 147–150. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2010.09.010>
13. Burnouf T., Walker T.L. The Multifaceted Role of Platelets in Mediating Brain Function. *Blood*, 2022, vol. 140, no. 8, pp. 815–827. <https://doi.org/10.1182/blood.2022015970>
14. Sotnikov I., Veremeyko T., Starosom S.C., Barteneva N., Weiner H.L., Ponomarev E.D. Platelets Recognize Brain-Specific Glycolipid Structures, Respond to Neurovascular Damage and Promote Neuroinflammation. *PLoS One*, 2013, vol. 8, no. 3. Art. no. e58979. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058979>
15. Dukhinova M., Kuznetsova I., Kopeikina E., Veniaminova E., Yung A.W.Y., Veremeyko T., Levchuk K., Barteneva N.S., Wing-Ho K.K., Yung W.-H., Liu J.Y.H., Rudd J., Yau S.S.Y., Anthony D.C., Strekalova T., Ponomarev E.D. Platelets Mediate Protective Neuroinflammation and Promote Neuronal Plasticity at the Site of Neuronal Injury. *Brain Behav. Immun.*, 2018, vol. 74, pp. 7–27. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2018.09.009>
16. Heck N., Santos M.D. Dendritic Spines in Learning and Memory: From First Discoveries to Current Insights. *Adv. Neurobiol.*, 2023, vol. 34, pp. 311–348. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36159-3_7
17. Leiter O., Walker T.L. Platelets: The Missing Link Between the Blood and Brain? *Prog. Neurobiol.*, 2019, vol. 183. Art. no. 101695. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2019.101695>

18. Park C., Hahn O., Gupta S., Moreno A.J., Marino F., Kedir B., Wang D., Villeda S.A., Wyss-Coray T., Dubal D.B. Platelet Factors Are Induced by Longevity Factor Klotho and Enhance Cognition in Young and Aging Mice. *Nat. Aging*, 2023, vol. 3, no. 9, pp. 1067–1078. <https://doi.org/10.1038/s43587-023-00468-0>
19. Schroer A.B., Ventura P.B., Sucharov J., Misra R., Chui M.K.K., Bieri G., Horowitz A.M., Smith L.K., Encabo K., Tenggara I., Couthouis J., Gross J.D., Chan J.M., Luke A., Villeda S.A. Platelet Factors Attenuate Inflammation and Rescue Cognition in Ageing. *Nature*, 2023, vol. 620, no. 7976, pp. 1071–1079. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06436-3>
20. Yu H., Liu Y., He B., He T., Chen C., He J., Yang X., Wang J.-Z. Platelet Biomarkers for a Descending Cognitive Function: A Proteomic Approach. *Aging Cell*, 2021, vol. 20, no. 5. Art. no. e13358. <https://doi.org/10.1111/acel.13358>
21. Koudouovoh-Tripp P., Sperner-Unterweger B. Influence of Mental Stress on Platelet Bioactivity. *World J. Psychiatry*, 2012, vol. 2, no. 6, pp. 134–147. <https://doi.org/10.5498/wjp.v2.i6.134>

Поступила в редакцию 28.02.2025 / Одобрена после рецензирования 13.05.2025 / Принята к публикации 19.05.2025.
Submitted 28 February 2025 / Approved after reviewing 13 May 2025 / Accepted for publication 19 May 2025.



Связь показателей постурального баланса при выполнении двойных задач с игровым амплуа футболистов

Николай Алексеевич Тишутин* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5429-8306>
Ирина Николаевна Рубченя** ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7546-0031>

*Витебский государственный университет имени П.М. Машерова
(Витебск, Республика Беларусь)

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

Аннотация. Игровая деятельность футболистов связана с постоянным выполнением двойных задач, которые заключаются в реализации двигательных действий и поддержании различных поз при наличии когнитивной нагрузки. Необходимость учета игрового амплуа при изучении функциональных возможностей спортсменов игровых видов спорта общепризнана, однако исследования особенностей постурального баланса при параллельном решении когнитивных задач у футболистов в зависимости от занимаемой игровой позиции отсутствуют. Цель работы – изучение особенностей поддержания постурального баланса футболистами в условиях выполнения двойных задач в зависимости от игрового амплуа. **Материалы и методы.** Обследованы 90 мужчин-футболистов в возрасте от 17 до 20 лет (средний возраст – 18,7 года) различного игрового амплуа: вратари ($n = 8$), центральные защитники ($n = 12$), крайние защитники ($n = 14$), полузащитники ($n = 37$) и нападающие ($n = 19$). Исследовались антропометрические данные и показатели постурального баланса футболистов при одиночной двухпорной стойке (60 с) и двухпорной стойке с параллельным решением когнитивных задач (60 с), в качестве которых использовался подсчет игровых элементов из видеозаписи футбольного матча. **Результаты.** Выявлено, что вратари, крайние защитники и полузащитники в сравнении с центральными защитниками и нападающими характеризуются меньшими скоростью девиаций центра давления и уровнем энергозатрат на поддержание позы, что указывает на менее напряженное и более экономное функционирование постуральной системы в условиях решения специфических когнитивных задач. Данные особенности могут быть обусловлены различиями в функциях, которые выполняют на поле игроки в зависимости от амплуа. Полученные результаты дополняют имеющиеся сведения о функционировании постуральной системы футболистов различного игрового амплуа и будут полезны для тренеров, которые должны организовывать учебно-тренировочный процесс с учетом занимаемой игровой позиции.

Ключевые слова: постуральный баланс, двойные задачи, двухпорная стойка, игровое амплуа, футболисты, стабилометрическая платформа

© Тишутин Н.А., Рубченя И.Н., 2025

Ответственный за переписку: Николай Алексеевич Тишутин, адрес: 210021, Республика Беларусь, г. Витебск, ул. 6-я Загородная, д. 2а; e-mail: nickoknik@mail.ru

Для цитирования: Тишутин, Н. А. Связь показателей постурального баланса при выполнении двойных задач с игровым амплуа футболистов / Н. А. Тишутин, И. Н. Рубченя // Журнал медико-биологических исследований. – 2025. – Т. 13, № 4. – С. 421-431. – DOI 10.37482/2687-1491-Z262.

Original article

Relationship Between Football Players' Postural Balance Parameters When Dual-Tasking and Their Position on the Field

Nikolay A. Tishutin* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5429-8306>
Irina N. Rubchenya** ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7546-0031>

*Vitebsk State University named after P.M. Masherov
(Vitebsk, Republic of Belarus)

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

Abstract. In the course of the game, football players are constantly dual-tasking, i.e. performing motor actions and maintaining various postures as well as solving cognitive tasks. It is generally recognized that when studying functional capabilities of athletes in team sports, we need to take into account their assigned roles. However, there are no studies into postural balance during parallel solving of cognitive tasks in football players depending on their position on the field. The **purpose** of this article is to study the maintenance of postural balance in football players when dual-tasking depending on their role. **Materials and methods.** The research involved 90 male football players aged between 17 and 20 years (mean age 18.7 years) assigned to different positions: goalkeepers ($n = 8$), central defenders ($n = 12$), full-backs ($n = 14$), midfielders ($n = 37$) and forwards ($n = 19$). Their anthropometric data and postural balance parameters were studied in an upright stance on two feet (60 s) and in an upright stance on two feet with parallel solving of cognitive tasks (60 s), which included counting passes and goals on a video recording of a football match. **Results.** It was found that goalkeepers, full-backs and midfielders, compared with central defenders and forwards, are characterized by a lower centre of pressure velocity and a lower level of energy expenditure on maintaining posture, which indicates a less intense and more economical functioning of the postural system when solving specific cognitive tasks. These features may be due to differences in the functions performed on the field by players occupying different roles. The results obtained complement the existing data on the postural system of football players assigned different roles and will be of use for coaches who must organize the training process taking into account the positions on the field.

Keywords: postural balance, dual tasks, stance on two feet, football position, football players, force platform

For citation: Tishutin N.A., Rubchenya I.N. Relationship Between Football Players' Postural Balance Parameters When Dual-Tasking and Their Position on the Field. *Journal of Medical and Biological Research*, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 421–431. DOI: 10.37482/2687-1491-Z262

Corresponding author: Nikolay Tishutin, address: ul. 6-ya Zagorodnaya 2a, Vitebsk, 210021, Republic of Belarus;
e-mail: nickoknik@mail.ru

Игровая деятельность футболистов связана с выполнением различных двигательных задач, включая бег, прыжки, смены направления движения, противоборства с соперником, а также манипуляции с мячом. В основе успешной реализации данных действий лежит эффективное поддержание постурального баланса (ПБ), который обеспечивает создание механизма для осуществления пространственных перемещений [1]. Кроме этого, игрокам необходимо анализировать маневры напарников и соперников, следить за мячом и прогнозировать его перемещения для принятия наиболее оптимального в данный момент технико-тактического решения. Следовательно, специфика спортивной деятельности футболистов проявляется в реализации различных двигательных действий на основе эффективного постурального контроля в условиях, усложненных постоянным анализом игровой ситуации.

Один из подходов к изучению особенностей поддержания ПБ футболистами в специфических условиях – анализ выполнения двойных задач (ДЗ). В качестве двигательной (постуральной) задачи зачастую используется произвольное поддержание позы, а когнитивные задачи связаны либо с проведением вычислительных операций, либо с визуальным поиском [2]. В этом случае поддержание ПБ позволяет исследовать базовую координационную способность, необходимую для осуществления двигательной деятельности, а вторая задача повышает когнитивную нагрузку и способствует созданию характерных для спортивной деятельности футболистов условий [3].

Необходимость учета игрового амплуа при изучении функциональных показателей спортсменов игровых видов спорта является общепризнанной [4]. Это связано с различиями в антропометрических характеристиках и функциональных возможностях организма, обусловленных игровым амплуа спортсменов и выполняемыми ими на поле функциями, а также многолетним спортивным отбором на конкретную позицию [5]. В научной литературе имеются данные об особенностях постурального контроля у футболистов в условиях решения когнитивных задач [6]. Однако отсутствуют сведения об учете игрового амплуа, которое опре-

деляет функции игрока на поле и может влиять на результаты выполнения ДЗ, что обуславливает актуальность настоящего исследования.

Цель работы – изучение особенностей поддержания ПБ футболистами в условиях выполнения ДЗ в зависимости от игрового амплуа.

Материалы и методы. Исследование проведено на базе лаборатории кафедры физиологии и биохимии Белорусского государственного университета физической культуры. Контингент испытуемых представлен 90 спортсменами мужского пола в возрасте 17–20 лет (средний возраст – 18,7 года). Все они на момент обследования являлись действующими футболистами (I или II разряд; стаж – более 10 лет) и находились в соревновательном периоде подготовки годичного макроцикла. На основании занимаемой игровой позиции спортсмены были разделены на 5 групп: вратари ($n = 8$); центральные защитники ($n = 12$); крайние защитники ($n = 14$); полузащитники ($n = 37$); нападающие ($n = 19$). В соответствии с принципами Хельсинкской декларации все испытуемые были проинформированы о ходе исследования и дали письменное согласие на участие в нем.

Тестирование осуществлялось после дня отдохна от тренировок в утреннее время (с 9:00 до 11:00), в схожих условиях окружающей среды (температура воздуха, освещенность, уровень фонового шума), а также после 15-минутной адаптации к условиям комнаты. Перед тестированием проводился стандартный инструктаж по особенностям поддержания позы и решению когнитивных задач.

Перед основными тестами выполнялось измерение длины (см) и массы (кг) тела, длины стопы (см). Рассчитывался индекс массы тела по Кетле: ИМТ = m/l^2 , где m – масса тела, кг; l – длина тела, м. Для установления массы тела применялись электронные весы ВЭМ-150 (ОАО «Зенит-БелОМО», Республика Беларусь). Длина тела определялась на медицинском ростометре MP-01/С (ООО «МИДЛиК», Россия), длина стопы – с использованием измерительной линейки для ног. Далее при помощи стабилометрической платформы ST-150 (ООО «Мера-ТСП», Россия) регистрировались перемещения центра давления (ЦД) при поддержании позы в двуххопорной стойке. Сперва обследуемые поддерживали ПБ

без когнитивных задач (одиночное поддержание позы; 60 с), а после – с решением когнитивных задач (ДЗ; 60 с). Используемые когнитивные задачи были связаны с просмотром и анализом видеонарезки футбольных моментов от первого лица. Они представляли собой серию игровых ситуаций, записанных с участием профессиональных футболистов из Республики Корея и имеющихся в открытом доступе в сети Интернет. В качестве первой задачи нужно было подсчитать количество передач первого лица (подсчет передач; 60 с), а вторая задача заключалась в подсчете общего количества голов и отдельного количества голов с участием первого лица (подсчет голов; 60 с). Обе когнитивные задачи были одинаковы для всех обследуемых. Для анализа колебаний ЦД использовались следующие показатели: ОФР – оценка функции равновесия, баллы; V – скорость перемещений ЦД, мм/с; Am – удельный индекс, отражающий уровень энергозатрат на 1 кг массы тела, мДж/кг.

Статистический анализ полученных результатов проводился в программе Statistica 10. Данные представлены в виде медианы и интерквартильного размаха – $Me [Q_1; Q_3]$. Для оценки достоверности межгрупповых различий у игроков, занимающих различные позиции, использовался U -критерий Манна–Уитни. Поскольку в работе осуществлялось множественное по-

парное сравнение, то достоверность различий определялась с учетом поправки Бонферрони. Внутригрупповые различия между одиночным поддержанием позы и поддержанием позы в условиях выполнения ДЗ устанавливались по W -критерию Уилкоксона. Различия считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты. При анализе антропометрических данных установлено, что вратари имели на 4 % ($p = 0,02$) и 7 % ($p = 0,02$) большие длину тела и длину стопы соответственно по сравнению с крайними защитниками, а также на 4 % ($p = 0,02$), 7 % ($p = 0,01$), 10 % ($p = 0,01$) большие длину и массу тела, длину стопы соответственно, чем полузащитники. Кроме этого, вратари были на 4 % выше в сравнении с нападающими ($p = 0,04$). Используемые центральные защитники характеризовались на 3 % ($p = 0,01$), 4 % ($p = 0,02$) и 9 % ($p = 0,03$) большими длиной тела, длиной стопы и массой тела соответственно в сравнении с полузащитниками, а также на 4 % большими длиной тела и длиной стопы, чем у крайних защитников ($p = 0,03$). Также центральные защитники оказались на 3 % выше по сравнению с нападающими ($p = 0,02$). Значения ИМТ не имели достоверных различий между футболистами (табл. 1).

Наиболее низкие значения ОФР при одиночном поддержании ПБ в двухпорной стойке были зарегистрированы у центральных защитников и напа-

Таблица 1

Антropометрические показатели футболистов различных игровых амплуа, $Me [Q_1; Q_3]$

Anthropometric parameters of football players assigned to different positions, $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель	Вратари ($n = 8$)	Центральные защитники ($n = 12$)	Крайние защитники ($n = 14$)	Полузашитники ($n = 37$)	Нападающие ($n = 19$)
Длина тела, см	187*# [^] [180; 190]	186*# [^] [181; 190]	179 [176; 180]	180 [177; 182]	180 [176; 183]
Длина стопы, см	28,8*# [27,8; 29,0]	28,0*# [27,3; 28,5]	27,0 [27,0; 27,5]	27,0 [27,0; 28,0]	27,5 [27,0; 28,0]
Масса тела, кг	76,4# [70,3; 80,2]	75,6# [66,8; 78,9]	72,7 [64,5; 76,8]	69,6 [65,2; 72,7]	72,1 [68,0; 77,1]
ИМТ, кг/м ²	22,1 [21,5; 22,5]	21,5 [20,7; 23,1]	22,2 [21,2; 23,8]	21,5 [20,3; 22,3]	22,2 [20,5; 23,6]

Примечание. Установлены статистически значимые различия ($p \leq 0,05$ по U -критерию Манна–Уитни): * – от крайних защитников; # – от полузащитников; ^ – от нападающих.

дающих, однако критический уровень значимости не достигнут (табл. 2). Значения V у центральных защитников оказались выше на 33 % по сравнению с полузащитниками ($p = 0,04$) и на 35 % по сравнению с крайними защитниками ($p = 0,03$). Значения Am у центральных защитников были выше на 54 % ($p = 0,04$) и 48 % ($p = 0,08$), чем у крайних защитников и полузащитников соответственно.

Значения ОФР при подсчете передач у центральных защитников, крайних защитников, полузащитников и нападающих снижались на 11 % ($p = 0,11$), 5 % ($p = 0,04$), 14 % ($p < 0,01$) и 18 % ($p = 0,02$), а при подсчете голов – на 12 % ($p = 0,04$), 6 % ($p = 0,03$), 10 % ($p < 0,01$) и 13 % ($p = 0,03$) соответственно по сравнению с одиночной стойкой. Значения V, Am у центральных

Таблица 2

Стабилометрические показатели при одиночном поддержании двухопорной стойки и при выполнении двойных задач у футболистов различных игровых амплуа, $Me [Q_1; Q_3]$

Stabilometric parameters in an upright stance on two feet and when dual-tasking in football players assigned to different positions, $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель	Вратари ($n = 8$)	Центральные защитники ($n = 12$)	Крайние защитники ($n = 14$)	Полузашитники ($n = 37$)	Нападающие ($n = 19$)
<i>Поддержание позы без когнитивных задач</i>					
ОФР, баллы	128 [102; 140]	106 [98; 126]	126 [102; 150]	124 [106; 146]	116 [95; 135]
V , мм/с	7,0 [5,7; 8,8]	8,4** [7,0; 8,9]	6,2 [4,7; 7,6]	6,3 [5,5; 8,1]	6,7 [5,8; 9,0]
Am , мДж/кг	26 [21; 50]	40* [27; 58]	26 [15; 36]	27 [19; 43]	33 [21; 58]
<i>Поддержание позы с подсчетом передач</i>					
ОФР, баллы	117 [98; 132]	94 [81; 105]	120 [■] [86; 137]	107 [■] [88; 121]	95 [■] [71; 110]
V , мм/с	7,7 [•] [6,0; 8,1]	10,0** [■] [8,4; 10,8]	7,4 [■] [6,2; 9,7]	7,8 [■] [6,6; 9,4]	9,1** [■] [8,0; 10,4]
Am , мДж/кг	30 [•] [23; 33]	53** [■] [43; 59]	30 [■] [21; 47]	35 [■] [26; 49]	50** [■] [35; 80]
<i>Поддержание позы с подсчетом голов</i>					
ОФР, баллы	112 [93; 134]	93** [■] [78; 105]	119 [■] [101; 135]	111 [■] [95; 122]	101 [■] [95; 135]
V , мм/с	7,5 [•] [6,0; 8,4]	9,5** [8,5; 10,2]	7,1 [■] [6,2; 9,1]	7,6 [■] [6,7; 9,2]	8,9 [■] [7,4; 10,3]
Am , мДж/кг	25 [•] [22; 36]	51** [41; 63]	30 [■] [21; 39]	36 [■] [26; 42]	50** [■] [31; 66]

Примечание. Установлены статистически значимые отличия ($p \leq 0,05$): [•] – от центральных защитников (U -критерий Манна–Уитни); ^{*} – от крайних защитников (U -критерий Манна–Уитни); [#] – от полузащитников (U -критерий Манна–Уитни); [■] – от поддержания позы без когнитивных задач (W -критерий Уилкоксона).

защитников, крайних защитников, полузащитников и нападающих, напротив, при добавлении когнитивных задач характеризовались достоверным возрастанием. У вратарей медианные значения ОФР в условиях выполнения ДЗ снижались, а показателей V и Am – увеличивались ($p > 0,05$).

В условиях двухопорной стойки с подсчетом передач значения ОФР оказались наименьшими у центральных защитников и нападающих ($p > 0,05$). Значения V и Am у центральных защитников были выше соответственно на 30 % ($p = 0,03$) и 77 % ($p = 0,04$), чем у вратарей, на 35 % ($p = 0,04$) и 77 % ($p = 0,04$) по сравнению с крайними защитниками, а также на 29 % ($p = 0,03$) и 51 % ($p = 0,04$) в сравнении с полузащитниками. Скорость колебаний ЦД у нападающих была на 23 % больше, чем у крайних защитников ($p = 0,04$). Кроме этого, значения Am у нападающих были на 67 % ($p = 0,03$) и 43 % ($p = 0,04$) выше по сравнению с крайними защитниками и полузащитниками.

Решение второй когнитивной задачи в двухопорной стойке сопровождалось схожими межгрупповыми различиями. Так, значения ОФР у центральных защитников были на 22 % ($p = 0,04$) и 16 % ($p = 0,07$) ниже по сравнению с крайними защитниками и полузащитниками соответственно, а у нападающих – на 15 % ($p = 0,09$) ниже, чем у крайних защитников. Значения V и Am у центральных защитников оказались достоверно выше, чем у вратарей, крайних защитников и полузащитников ($p \leq 0,05$). У нападающих значения Am были выше на 16 % в сравнении с крайними защитниками ($p = 0,07$).

Обсуждение. Изучение антропометрических показателей выявило, что футболисты, играющие на позициях вратаря и центральных защитников, отличаются большей длиной тела по сравнению с крайними защитниками, полузащитниками и нападающими, а также большей длиной стопы в сравнении с крайними защитниками и полузащитниками. Масса тела вратарей и центральных защитников оказалась выше, чем у полузащитников. Полученные результаты совпадают с имеющимися сведениями

о больших антропометрических показателях вратарей и центральных защитников, что обусловлено необходимостью частых противоборств с соперником, в т. ч. верховой борьбой за высоко летящие мячи [7]. Напротив, меньшие длина и масса тела крайних защитников и полузащитников могут объясняться спецификой решаемых ими задач, которые связаны с частыми ускорениями, резкими остановками и сменами направления движения, а также длительными по времени и расстоянию перемещениями [8].

Анализ стабилометрических показателей позволил установить, что при одиночной двухопорной стойке футболисты, играющие на позициях крайних защитников и полузащитников, демонстрировали меньшие скорость девиаций ЦД и уровень энергозатрат на поддержание позы по сравнению с центральными защитниками. При подсчете передач лучшие результаты по поддержанию ПБ зафиксированы у вратарей, крайних защитников и полузащитников, что выражается в меньших скорости перемещений ЦД и индексе уровня энергозатрат по сравнению с центральными защитниками и нападающими. При подсчете голов отмечались схожие изменения в стабилометрических показателях. Меньшие частота позных корректировок и уровень энергозатрат при поддержании позы у вратарей, крайних защитников и полузащитников свидетельствуют о более экономном и эффективном поддержании ПБ, а также о менее напряженном функционировании системы постурального контроля в сравнении с центральными защитниками и нападающими.

Полученные данные частично подтверждают имеющиеся сведения о более развитой способности к поддержанию статичных поз у полузащитников и крайних защитников в сравнении с центральными защитниками [8]. Результаты первых могут объясняться большим пробегаемым расстоянием, которое обуславливает большую устойчивость организма к нарастающему утомлению, ассоциируемому в работе M. Pau et al. с эффективностью статического баланса [9]. Помимо этого, полузащитни-

ки и крайние защитники чаще владеют мячом во время игры и решают различные технико-тактические задачи, основой успешной реализации которых является эффективное поддержание позы в статических и динамических условиях [10].

Кроме того, меньшая скорость перемещений ЦД исследуемых крайних защитников и полузащитников, вероятно, связана с их антропометрическими показателями, поскольку меньшая длина тела может положительно влиять на его устойчивость [11]. Однако результаты настоящей работы не совпадают со сведениями F. Mahmoudi et al., которые получили лучший ПБ в статических и динамических условиях у вратарей в сравнении с игроками других амплуа [12].

Данные об особенностях поддержания ПБ в условиях решения специфических когнитивных задач у вратарей, крайних защитников и полузащитников нам не удалось сравнить со сведениями других авторов, поскольку в проанализированной литературе таковые отсутствовали. Результаты, полученные в ходе тестов на поддержание позы при выполнении ДЗ, у крайних защитников и полузащитников могут объясняться тем же большим объемом выполняемой ими беговой и технической работы без мяча и с мячом в сравнении с другими игроками, что обуславливает лучший ПБ в усложненных когнитивными задачами условиях [10]. Также функции крайних защитников и полузащитников связаны с постоянным анализом игровой ситуации и поиском оптимально расположенных и открывающихся в свободные зоны партнеров, что требует активной когнитивной деятельности. Имеются данные о связи результатов выполнения ДЗ с психофизиологическими характеристиками футболистов, в частности с показателями зрительно-моторных реакций и свойствами внимания [13], что также может в некоторой степени обуславливать более эффективное поддержание позы у крайних защитников и полузащитников.

С другой стороны, лучшие стабилометрические результаты при выполнении ДЗ заре-

гистрированы у вратарей, которые обладают большими антропометрическими характеристиками, пробегают значительно меньшее расстояние и осуществляют меньше технических действий с мячом в сравнении с крайними защитниками и полузащитниками. Это может объясняться спецификой игровых функций вратарей – необходимостью принятия технико-тактических решений в быстро изменяющейся ситуации на поле, выполнения нестандартных прыжков для ловли и отбивания мяча, а также применения различных положений для встречи соперника в моменты выходов один на один [14]. Эффективная реализация данных функций у вратарей основывается на оптимальном постуральном контроле в статодинамических условиях, а также высоких уровне развития внимания (объем, переключаемость, распределение) и скорости реагирования в изменяющихся условиях, что требует активного привлечения когнитивных ресурсов. Следовательно, высокий уровень ПБ в условиях параллельной когнитивной деятельности у вратарей может быть обусловлен требованиями, предъявляемыми к данной игровой позиции, и соответствующей направленностью тренировочного процесса.

Добавление к двухпорной стойке параллельной когнитивной задачи у центральных защитников, крайних защитников, полузащитников и нападающих сопровождалось снижением значений ОФР, а также возрастанием скорости перемещений ЦД и уровня энергозатрат. Следовательно, для данных групп футболистов при добавлении к поддержанию позы когнитивных задач характерны снижение эффективности ПБ (\downarrow ОФР) и напряжение функционирования постуральной системы (\uparrow И). У вратарей отсутствовали достоверные изменения стабилометрических показателей при выполнении ДЗ относительно одиночной двухпорной стойки. Однако медианные значения данных показателей у вратарей все же характеризовались схожей с другими игроками направленностью изменений, а отсутствие достоверных различий, возможно, связано с малой численностью группы ($n = 8$).

Полученные данные подтверждают имеющиеся литературные сведения о снижении эффективности поддержания позы ($\downarrow OFP$), а также возрастании частоты позных коррекций ($\uparrow V$) и уровня энергозатрат ($\uparrow Am$) при добавлении к обычной стойке параллельных когнитивных задач [6, 15]. Это может объясняться в рамках теории пропускной способности, предполагающей возможность привлечения общих когнитивных ресурсов, необходимых для решения постурально-когнитивных задач [16]. Решение ДЗ требует воздействования общих областей префронтальной коры больших полушарий, височно-теменной области и базальных ядер и обуславливает наличие зон перекрывающейся активности [17]. Однако при слишком высокой умственной нагрузке могут наблюдаться нехватка когнитивных ресурсов и снижение результата в одной либо двух задачах, что и было отмечено в настоящей работе.

Результаты по поддержанию ПБ в условиях выполнения ДЗ у вратарей, крайних защитников и полузащитников важны для тренеров и специалистов по физической подготовке, поскольку эти сведения должны учитываться при планировании учебно-тренировочного процесса. Футболисты, играющие на данных позициях, должны использовать в подготовке физические упражнения, направленные на совершенствование постурального контроля, в т. ч. в условиях параллельной когнитивной деятельности. Например, с этой целью могут применяться двигательно-когнитивные упражнения, имитирующие постуральные условия игровой деятельности [18]. Кроме этого, не-

обходимо обращать внимание на центральных защитников и нападающих, которые характеризуются более низкими результатами по поддержанию ПБ. Развитие данной координационной способности будет положительно влиять на эффективность выполнения двигательных действий и снижать риск травм нижних конечностей, а также способствовать достижению более высокого результата всей команды.

Таким образом, установлено, что вратари, крайние защитники и полузащитники демонстрируют лучшие результаты по сохранению ПБ в двухпорной стойке в условиях решения специфических когнитивных задач по сравнению с центральными защитниками и нападающими, что выражается в меньшей скорости перемещений ЦД, а также меньшем уровне энергозатрат на поддержание позы и указывает на менее напряженное и более экономное функционирование постуральной системы. Выявленные особенности у футболистов, занимающих различные игровые позиции, могут быть обусловлены выполняемыми функциями, которые связаны с объемом беговой и технико-тактической работы с мячом и без мяча, а также с активным включением когнитивных процессов.

Результаты работы дополняют имеющиеся сведения о функционировании постуральной системы футболистов, играющих на разных позициях. Они будут актуальны для тренеров по футболу, которым необходимо организовывать тренировочный процесс с учетом функциональных возможностей игроков различных амплуа.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Тишутиин Н.А. Постуральный баланс при выполнении теста Ромберга у футболистов с различными типами вегетативной регуляции // Журн. мед.-биол. исследований. 2024. Т. 12, № 1. С. 60–69. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z179>

2. Salihu A.T., Hill K.D., Jaberzadeh S. Effect of Cognitive Task Complexity on Dual Task Postural Stability: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Exp. Brain Res.* 2022. Vol. 240, № 3. P. 703–731. <https://doi.org/10.1007/s00221-021-06299-y>
3. Rubega M., Formaggio E., Di Marco R., Bertuccelli M., Tortora S., Menegatti E., Cattelan M., Bonato P., Masiero S., Del Felice A. Cortical Correlates in Upright Dynamic and Static Balance in the Elderly // *Sci. Rep.* 2021. Vol. 11, № 1. Art. № 14132. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93556-3>
4. Кожевников И.М., Сыромятников О.В., Мельничук П.В., Быстроева О.Л. Структура факторов, определяющих необходимость применения дифференцированных средств подготовки квалифицированных волейболистов с учетом их игрового амплуа // Уч. зап. ун-та им. П.Ф. Лесгафта. 2022. № 7(209). С. 201–205.
5. Иорданская Ф.А. Функциональная подготовленность спортсменов игровых видов спорта с учетом их игрового амплуа // Вестн. спортив. науки. 2018. № 1. С. 34–43.
6. Тищутин Н.А. Постуральный баланс в двухопорной и одноопорной стойках у футболистов при выполнении двойных задач // Мир спорта. 2023. № 4(93). С. 75–82.
7. Joksimović M., Skrypchenko I., Yarymbash K., Fulurija D., Nasrolahi S., Pantović M. Anthropometric Characteristics of Professional Football Players in Relation to the Playing Position and Their Significance for Success in the Game // *Pedagog. Psychol. Med.-Biol. Probl. Phys. Train. Sports.* 2019. № 5. P. 224–230. <https://doi.org/10.15561/18189172.2019.0503>
8. Jadcak L., Grygorowicz M., Wieczorek A., Sliwowski R. Analysis of Static Balance Performance and Dynamic Postural Priority According to Playing Position in Elite Soccer Players // *Gait Posture.* 2019. Vol. 74. P. 148–153. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.09.008>
9. Pau M., Ibba G., Leban B., Scorcu M. Characterization of Static Balance Abilities in Elite Soccer Players by Playing Position and Age // *Res. Sports Med.* 2014. Vol. 22, № 4. P. 355–367. <https://doi.org/10.1080/15438627.2014.944302>
10. Praça G., Diniz L.B.F., Clemente F.M., Da Glória Teles Bredt S., Couto B., de Andrade A.G.P., Owen A.L. The Influence of Playing Position on the Physical, Technical, and Network Variables of Sub-Elite Professional Soccer Athletes // *Hum. Mov.* 2021. Vol. 22, № 2. P. 22–31. <https://doi.org/10.5114/hm.2020.100010>
11. Andreeva A., Melnikov A., Skvortsov D., Akhmerova K., Vavaev A., Golov A., Draugelis V., Nikolaev R., Chechelnickaia S., Zhuk D., Bayerbakh A., Nikulin V., Zemková E. Postural Stability in Athletes: The Role of Age, Sex, Performance Level, and Athlete Shoe Features // *Sports (Basel).* 2020. Vol. 8, № 6. Art. № 89. <https://doi.org/10.3390/sports8060089>
12. Mahmoudi F., Rahnama N., Daneshjoo A., Behm D.G. Comparison of Dynamic and Static Balance Among Professional Male Soccer Players by Position // *J. Bodyw. Mov. Ther.* 2023. Vol. 36. P. 307–312. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2023.03.001>
13. Тищутин Н.А. Связь особенностей постурального баланса с психофизиологическими характеристиками футболистов // Вестн. спортив. науки. 2024. № 6. С. 45–50.
14. Perez-Arroniz M., Calleja-González J., Zabala-Lili J., Zubillaga A. The Soccer Goalkeeper Profile: Bibliographic Review // *Phys. Sportsmed.* 2023. Vol. 51, № 3. P. 193–202. <https://doi.org/10.1080/00913847.2022.2040889>
15. Жаворонкова Л.А., Шевцова Т.П., Морареску С.И., Позднеев А.В., Купцова С.В. Интракортикальные связи при выполнении двойных задач – моторных и счетно-логических или пространственно-образных // Физиология человека. 2019. Т. 45, № 2. С. 16–28. <https://doi.org/10.1134/S0362119719020130>
16. Van Biesen D., Jacobs L., McCulloch K., Janssens L., Vanlandewijck Y.C. Cognitive-Motor Dual-Task Ability of Athletes with and Without Intellectual Impairment // *J. Sports Sci.* 2018. Vol. 36, № 5. P. 513–521. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1322215>
17. Мачинская Р.И. Управляющие системы мозга // Журн. высш. нерв. деятельности им. И.П. Павлова. 2015. Т. 65, № 1. С. 33–60. <https://doi.org/10.7868/S0044467715010086>
18. Friebe D., Banzer W., Giesche F., Haser C., Hülsdünker T., Pfab F., Rußmann F., Sieland J., Spataro F., Vogt L. Effects of 6-Week Motor-Cognitive Agility Training on Football Test Performance in Adult Amateur Players – a Three-Armed Randomized Controlled Trial // *J. Sports Sci. Med.* 2024. Vol. 23, № 2. P. 276–288. <https://doi.org/10.52082/jssm.2024.276>

References

1. Tishutin N.A. Postural Balance in Football Players with Different Types of Autonomic Regulation When Performing the Romberg Test. *J. Med. Biol. Res.*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 60–69. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z179>
2. Salihu A.T., Hill K.D., Jaberzadeh S. Effect of Cognitive Task Complexity on Dual Task Postural Stability: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Exp. Brain Res.*, 2022, vol. 240, no. 3, pp. 703–731. <https://doi.org/10.1007/s00221-021-06299-y>
3. Rubega M., Formaggio E., Di Marco R., Bertuccelli M., Tortora S., Menegatti E., Cattelan M., Bonato P., Masiero S., Del Felice A. Cortical Correlates in Upright Dynamic and Static Balance in the Elderly. *Sci. Rep.*, 2021, vol. 11, no. 1. Art. no. 14132. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93556-3>
4. Kozhevnikov I.M., Syromyatnikov O.V., Mel'nicuk P.V., Bystrova O.L. Struktura faktorov, opredelyayushchikh neobkhodimost' primeneniya differentsirovannykh sredstv podgotovki kvalifitsirovannykh voleybolistov s uchetom ikh igrovogo amplua [Structure of Factors Determining Necessity of Application of Differentiated Means of Training of Qualified Volleyball Players Taking into Account Their Playing Role]. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*, 2022, no. 7, pp. 201–205.
5. Iordanskaya F.A. Funktsional'naya podgotovlennost' sportsmenov igrovых vidov sporta s uchetom ikh igrovogo amplua [Functional Fitness of Athletes in Game Sports in Respect of Their Game Role]. *Vestnik sportivnoy nauki*, 2018, no. 1, pp. 34–43.
6. Tishutin N.A. Postural'nyy balans v dvukhopornoy i odnooporno stoykakh u futbolistov pri vypolnenii dvoynykh zadach [Postural Balance in Double and Single Support Stands in Football Players During Dual Tasks Performance]. *Mir sporta*, 2023, no. 4, pp. 75–82.
7. Joksimović M., Skrypchenko I., Yarymbash K., Fulurija D., Nasrolahi S., Pantović M. Anthropometric Characteristics of Professional Football Players in Relation to the Playing Position and Their Significance for Success in the Game. *Pedagog. Psychol. Med.-Biol. Probl. Phys. Train. Sports*, 2019, no. 5, pp. 224–230. <https://doi.org/10.15561/18189172.2019.0503>
8. Jadczak Ł., Grygorowicz M., Wieczorek A., Śliwowski R. Analysis of Static Balance Performance and Dynamic Postural Priority According to Playing Position in Elite Soccer Players. *Gait Posture*, 2019, vol. 74, pp. 148–153. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.09.008>
9. Pau M., Ibba G., Leban B., Scorcu M. Characterization of Static Balance Abilities in Elite Soccer Players by Playing Position and Age. *Res. Sports Med.*, 2014, vol. 22, no. 4, pp. 355–367. <https://doi.org/10.1080/15438627.2014944302>
10. Praça G., Diniz L.B.F., Clemente F.M., Da Glória Teles Bredt S., Couto B., de Andrade A.G.P., Owen A.L. The Influence of Playing Position on the Physical, Technical, and Network Variables of Sub-Elite Professional Soccer Athletes. *Hum. Mov.*, 2021, vol. 22, no. 2, pp. 22–31. <https://doi.org/10.5114/hm.2020.100010>
11. Andreeva A., Melnikov A., Skvortsov D., Akhmerova K., Vavaev A., Golov A., Draugelite V., Nikolaev R., Chechelnickaia S., Zhuk D., Bayerbakh A., Nikulin V., Zemková E. Postural Stability in Athletes: The Role of Age, Sex, Performance Level, and Athlete Shoe Features. *Sports (Basel)*, 2020, vol. 8, no. 6. Art. no. 89. <https://doi.org/10.3390/sports8060089>
12. Mahmoudi F., Rahnama N., Daneshjoo A., Behm D.G. Comparison of Dynamic and Static Balance Among Professional Male Soccer Players by Position. *J. Bodyw. Mov. Ther.*, 2023, vol. 36, pp. 307–312. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2023.03.001>
13. Tishutin N.A. Svyaz' osobennostey postural'nogo balansa s psikhofiziologicheskimi kharakteristikami futbolistov [Relationship of Postural Balance Features with Psychophysiological Characteristics of Soccer Players]. *Vestnik sportivnoy nauki*, 2024, no. 6, pp. 45–50.
14. Perez-Arroniz M., Calleja-González J., Zabala-Lili J., Zubillaga A. The Soccer Goalkeeper Profile: Bibliographic Review. *Phys. Sportsmed.*, 2023, vol. 51, no. 3, pp. 193–202. <https://doi.org/10.1080/00913847.2022.2040889>

15. Zhavoronkova L.A., Shevtsova T.P., Moraresku S.I., Pozdneev A.V., Kuptsova S.V. Intracortical Connections in Dual Tasks Including Motor and Computing-Logical or Spatial-Visual Components. *Hum. Physiol.*, 2019, vol. 45, no. 2, pp. 126–136. <https://doi.org/10.1134/S0362119719020130>
16. Van Biesen D., Jacobs L., McCulloch K., Janssens L., Vanlandewijck Y.C. Cognitive-Motor Dual-Task Ability of Athletes with and Without Intellectual Impairment. *J. Sports Sci.*, 2018, vol. 36, no. 5, pp. 513–521. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1322215>
17. Machinskaya R.I. Upravlyayushchie sistemy mozga [The Brain Executive Systems]. *Zhurnal vysshykh nervnykh deyatel'nostей im. I.P. Pavlova*, 2015, vol. 65, no. 1, pp. 33–60. <https://doi.org/10.7868/S0044467715010086>
18. Friebe D., Banzer W., Giesche F., Haser C., Hülsdünker T., Pfab F., Rußmann F., Sieland J., Spataro F., Vogt L. Effects of 6-Week Motor-Cognitive Agility Training on Football Test Performance in Adult Amateur Players – a Three-Armed Randomized Controlled Trial. *J. Sports Sci. Med.*, 2024, vol. 23, no. 2, pp. 276–288. <https://doi.org/10.52082/jssm.2024.276>

Поступила в редакцию 20.03.2025 / Одобрена после рецензирования 21.06.2025 / Принята к публикации 24.06.2025.
Submitted 20 March 2025 / Approved after reviewing 21 June 2025 / Accepted for publication 24 June 2025



Нейродинамические и нейровегетативные особенности студентов с разным уровнем функционального состояния центральной нервной системы

Виктор Петрович Мальцев* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2453-6585>

Алена Анатольевна Говорухина* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7466-2918>

Ольга Геннадьевна Литовченко* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8368-2590>

*Сургутский государственный университет
(Сургут, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Россия)

Аннотация. Изучение функционального состояния студентов важно для оценки адаптационного потенциала их организма в образовательном процессе. Цель работы – исследование особенностей нейродинамических характеристик и нейровегетативной регуляции у студентов северного региона с разным уровнем функционального состояния центральной нервной системы (ФС ЦНС). **Материалы и методы.** Обследованы 416 студентов гуманитарного профиля (341 девушка и 75 юношей), обучающихся в Сургутском государственном педагогическом университете. Средний возраст испытуемых составил $19,4 \pm 1,4$ года. Общая выборка была дифференцирована на четыре группы по уровню ФС ЦНС: высокий ($n = 118$), средний ($n = 170$), незначительно сниженный ($n = 65$) и сниженный ($n = 63$). В каждой группе оценивались нейродинамические параметры в тестах «Простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР)», «Реакция выбора (РВ)» и «Помехоустойчивость (ПУ)» с помощью аппаратно-программного комплекса «НС-Психотест» (ООО «НейроСофт», Россия), а также временные и спектральные показатели вариабельности сердечного ритма (ВСР) в состоянии покоя с помощью электрокардиографа «ВНС-микро» (ООО «НейроСофт», Россия). **Результаты.** Преобладание лиц со средним и высоким уровнями ФС ЦНС (69,3 %) в выборке свидетельствует об относительно благоприятном функционировании ЦНС обследованных студентов. Установлено статистически значимое ($p < 0,001$) увеличение времени реакции в тестах ПЗМР (на 26,5 %), РВ (на 13,7 %) и ПУ (на 11,0 %) в группе со сниженным уровнем ФС ЦНС. Анализ ВСР показал в данной группе уменьшение общей мощности спектра в 5 раз ($p < 0,001$), увеличение индекса напряжения в 4,4 раза и амплитуды моды на 2/3 ($p < 0,001$), что свидетельствует об усилении центральных механизмов регуляции и смещении вегетативного баланса в сторону симпатической активности при снижении ФС ЦНС.

Ключевые слова: функциональное состояние ЦНС, сенсомоторные реакции, нейродинамика, вариабельность сердечного ритма, нейровегетативное регулирование, студенты вуза, адаптационный потенциал

© Мальцев В.П., Говорухина А.А., Литовченко О.Г., 2025

Ответственный за переписку: Виктор Петрович Мальцев, адрес: 628400, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Сургут, просп. Ленина, д. 1; e-mail: mal585@mail.ru

Для цитирования: Мальцев, В. П. Нейродинамические и нейровегетативные особенности студентов с разным уровнем функционального состояния центральной нервной системы / В. П. Мальцев, А. А. Говорухина, О. Г. Литовченко // Журнал медико-биологических исследований. – 2025. – Т. 13, № 4. – С. 432-441. – DOI 10.37482/2687-1491-Z264.

Original article

Neurodynamic and Neuroautonomic Characteristics of Students with Different Levels of the Functional State of the Central Nervous System

Viktor P. Mal'tsev* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2453-6585>
Alena A. Govorukhina* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7466-2918>
O'lga G. Litovchenko* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8368-2590>

*Surgut State University
(Surgut, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russia)

Abstract. Studying the functional state of students is important to assess their adaptive potential in the educational process. The **purpose** of this article was to examine the neurodynamic characteristics and neuroautonomic regulation in northern students with different levels of the functional state of the central nervous system (CNS). **Materials and methods.** The research involved 416 humanities students (341 female and 75 male), mean age 19.4 ± 1.4 years, attending Surgut State Pedagogical University. The total sample was divided into four groups according to the level of the functional state of the CNS: high ($n = 118$), medium ($n = 170$), slightly reduced ($n = 65$) and reduced ($n = 63$) level. In each group, we evaluated the neurodynamic characteristics of simple visual-motor reaction (SVMR), choice reaction and interference immunity using NS-Psychotest system (Neurosoft, Russia) as well as temporal and spectral parameters of heart rate variability (HRV) at rest using VNS-Micro electrocardiograph (Neurosoft, Russia). **Results.** The prevalence of individuals with medium and high level of the functional state of the CNS (69.3 %) in the sample indicates a relatively favourable functioning of the CNS in the examined students. We identified a statistically significant ($p < 0.001$) increase in reaction time in the SVMR (by 25.6 %), choice reaction (by 13.7 %) and interference immunity (by 11 %) tests in the group with reduced level of the functional state of the CNS. HRV analysis showed a five-fold drop ($p < 0.001$) in the total power as well as an increase in the stress index by the factor of 4.4 and in the mode amplitude by 2/3 ($p < 0.001$), which indicates a strengthening of the central mechanisms of regulation and a shift in the autonomic balance towards sympathetic activity with a decrease in the functional state of the CNS.

Keywords: functional state of the CNS, sensorimotor reactions, neurodynamics, heart rate variability, neuroautonomic regulation, university students, adaptive potential

For citation: Mal'tsev V.P., Govorukhina A.A., Litovchenko O.G. Neurodynamic and Neuroautonomic Characteristics of Students with Different Levels of the Functional State of the Central Nervous System. *Journal of Medical and Biological Research*, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 432–441. DOI: 10.37482/2687-1491-Z264

Corresponding author: Viktor Mal'tsev, address: prosp. Lenina 1, Surgut, 628400, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russia; e-mail: mal585@mail.ru

Сохранение и укрепление здоровья молодежи является одной из приоритетных задач современного общества, поскольку именно эта возрастная группа определяет трудовой и интеллектуальный потенциал государства [1]. Исследования констатируют, что интенсификация образовательного процесса, цифровизация обучения, увеличение информационных нагрузок создают повышенные требования к функциональному состоянию центральной нервной системы (ФС ЦНС) и механизмам вегетативной регуляции студентов [2, 3]. Показатели ФС ЦНС являются объективными маркерами умственной работоспособности и отражают способность к эффективному усвоению учебного материала [3–5]. Важную роль в оценке функционального состояния организма студентов играет анализ параметров вариабельности сердечного ритма (ВСР), который позволяет объективно охарактеризовать работу механизмов регуляции физиологических функций. Параметры ВСР являются чувствительными индикаторами адаптационных процессов и могут служить прогностическими критериями успешности обучения [6]. Оптимальное функционирование когнитивной сферы наблюдается при сбалансированной активности симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, в то время как нарушение вегетативного баланса может приводить к снижению умственной работоспособности и развитию дезадаптационных состояний [7–9].

Особую актуальность приобретает оценка ФС ЦНС и вегетативного тонуса у студентов, обучающихся в гипокомфортных условиях северных регионов, где организм подвергается дополнительному воздействию климатических факторов, которые создают нагрузку на механизмы нейрофизиологической и нейровегетативной регуляции, что может приводить к снижению адаптационных возможностей и, как

следствие, ухудшению академической успеваемости [10–11].

Цель исследования – изучить особенности нейродинамических характеристик и нейровегетативной регуляции у студентов северного региона с разным уровнем ФС ЦНС.

Материалы и методы. В период с февраля по апрель 2023 года было проведено обследование 416 студентов I–IV курсов (341 девушка и 75 юношей) гуманитарного профиля обучения Сургутского государственного педагогического университета (СурГПУ). Средний возраст испытуемых составил $19,4 \pm 1,4$ года. Все участники эксперимента имели 1–2-ю группу здоровья и являлись представителями некоренных национальностей, проживающих в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре (территория, приравненная к условиям Крайнего Севера) более 10 лет. У девушек исследования проводились в постменструальную фазу овариально-менструального цикла, чтобы минимизировать влияние гормональных колебаний на результаты.

Общая выборка была разделена на группы по уровню функциональных возможностей (УФВ) – показателю вариационной хронорефлексометрии, который является интегральным вероятностно-статистическим параметром распределения латентных периодов простой зрительно-моторной реакции. Данный статистический критерий отражает общий адаптационный потенциал ЦНС и позволяет оценить способность индивида формировать адекватную заданию функциональную систему и длительно поддерживать ее устойчивость¹. На основе УФВ у обследованных студентов выделены четыре уровня ФС ЦНС со следующим распределением: высокий ($n = 118$), средний ($n = 170$), незначительно сниженный ($n = 65$) и сниженный ($n = 63$) (в последнюю группу включены 7 лиц с существенно сниженным уровнем ФС ЦНС, без признаков патологии).

¹Хазова И.В., Шошмин А.В., Девятова О.Ф. Полифункциональное психофизиологическое тестирование в оценке функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья: метод. указания. СПб.: СПб НЦЭПР им. Г.А. Альбрехта ФМБА России, 2011. 63 с.

Нейродинамические параметры оценивались с помощью аппаратно-программного комплекса «НС-Психотест» (ООО «НейроСофт», Россия). Оценка латентных периодов сенсомоторных реакций выполнялась по следующим методикам: «Простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР)»; «Реакция выбора (РВ)»; «Помехоустойчивость (ПУ)». Дополнительно регистрировались среднеквадратичные отклонения (СКО) показателей, отражающие стабильность сенсомоторного реагирования.

Оценка вариабельности сердечного ритма (ВСР) проведена с помощью электрокардиографа «ВНС-микро» (ООО «НейроСофт», Россия). Запись реализована в стандартизованных условиях в положении лежа (5 мин), при спокойном дыхании. Анализировались временные (RRNN – средняя продолжительность RR-интервалов, мс; SDNN – среднеквадратичное отклонение последовательных RR-интервалов, мс; RMSSD – стандартное отклонение разности последовательных RR-интервалов, мс; A_{Mo} – амплитуда моды, %; SI – индекс напряжения, у. е.) и спектральные (TP – общая мощность спектра, мс^2 ; HF_{отн}, LF_{отн}, VLF_{отн} – относительные мощности в высокочастотном (0,16–0,4 Гц), низкочастотном (0,05–0,15 Гц) и очень низкочастотном (<0,05 Гц) диапазонах соответственно, %; LF/HF – индекс симпато-парасимпатического баланса, у. е.) показатели ВСР.

Статистический анализ данных осуществлялся с использованием программы Statistica v. 7.0 (StatSoft, США) и включал описательную статистику (медиана и интерквартильный размах – $Me [Q_1; Q_3]$), проверку нормальности распределения (тест Колмогорова–Смирнова), попарное сравнение групп с использованием непараметрического *U*-критерия Манна–Уитни. Критический уровень значимости – $p < 0,05$, с учетом множественных сравнений применялась поправка Бонферрони ($p < 0,008$).

Все проводимые процедуры соответствовали принципам Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (редакция 2013 года). Все испытуемые дали письменное

информированное согласие на участие в исследовании. Дизайн эксперимента одобрен этическим комитетом медико-биологических исследований при Сургутском государственном университете (протокол № 26 от 29.09.2021).

Результаты. Медианные показатели сенсомоторных реакций студентов с разным уровнем ФС ЦНС, полученные в ходе исследования, представлены в *табл. 1* (см. с. 436).

Время ПЗМР у обследуемых продемонстрировало прогрессивное увеличение на 26,5 % (при $p < 0,001$) по мере снижения ФС ЦНС. Медианные значения времени ПЗМР для высокого и среднего уровнями ФС ЦНС (214,2 и 228,8 мс соответственно) находились в пределах возрастно-половой нормы, в то время как групповые показатели лиц с незначительно сниженным и сниженным уровнями ФС ЦНС говорили об умеренно замедленном реагировании (250,7 и 270,9 мс соответственно).

Показатели РВ, отражающие подвижность нервных процессов и эффективность дифференцировочного торможения, демонстрировали особую динамику. Медианные значения времени РВ в группах с высоким и средним уровнями ФС ЦНС были практически идентичны (341,7 и 342,5 мс соответственно), что может свидетельствовать о схожей эффективности процессов обработки информации при выборе альтернативных сенсорных стимулов. Однако в группе со сниженным уровнем ФС ЦНС наблюдалось статистически значимое увеличение времени реакции на 13,7 % (до 389,5 мс) по сравнению со студентами с высоким уровнем ФС ЦНС.

Медианное время реакции в teste ПУ как интегральный показатель эффективности функционирования мозга в условиях помех характеризовалось последовательным увеличением в среднем на 11 % – от 350,8 мс в группе с высоким уровнем до 389,2 мс в группе со сниженным уровнем ФС ЦНС.

Параллельно наблюдалось увеличение СКО времени реакции всех диагностируемых типов сенсомоторных реакций от группы с высоким к группе с низким уровнем ФС ЦНС, что указывает на нарастающую нестабильность

Таблица 1

Нейродинамические показатели у студентов СурГПУ с разным уровнем ФС ЦНС, $Me [Q_1; Q_3]$ Neurodynamic parameters in students of Surgut State Pedagogical University
with different levels of the functional state of the CNS, $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель	Высокий уровень (n = 118) (1)	Средний уровень (n = 170) (2)	Незначительно сниженный уровень (n = 65) (3)	Сниженный уровень (n = 63) (4)	Значимость различий
<i>Методика «Простая зрительно-моторная реакция»</i>					
Время реакции, мс	214,2 [202,2; 233,3]	228,8 [214,6; 245,3]	250,7 [236,1; 266,3]	270,9 [248,9; 295,8]	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,001$ $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{3-4} < 0,001$
СКО времени реакции, мс	49,7 [38,5; 62,2]	55,8 [45,6; 67,7]	66,2 [55,8; 85,5]	76,5 [64,3; 100,4]	$p_{1-2} = 0,013$ $p_{2-3} < 0,001$ $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{3-4} = 0,017$
<i>Методика «Реакция выбора»</i>					
Время реакции, мс	341,8 [318,2; 368,9]	342,5 [321,7; 377,0]	348,4 [331,0; 375,1]	389,5 [352,1; 417,4]	$p_{1-2} = 0,561$ $p_{2-3} = 0,073$ $p_{1-3} = 0,037$ $p_{2-4} < 0,001$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{3-4} < 0,001$
СКО времени реакции, мс	81,6 [69,8; 99,9]	85,4 [71,7; 103,5]	83,3 [72,3; 96,2]	90,4 [80,8; 116,9]	$p_{1-2} = 0,554$ $p_{2-3} = 0,538$ $p_{1-3} = 0,947$ $p_{2-4} = 0,011$ $p_{1-4} = 0,006$ $p_{3-4} < 0,001$
<i>Методика «Помехоустойчивость»</i>					
Время реакции, мс	350,9 [324,7; 373,0]	359,1 [338,4; 382,2]	378,1 [350,7; 402,6]	389,2 [371,0; 420,2]	$p_{1-2} = 0,012$ $p_{2-3} = 0,002$ $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{3-4} = 0,032$
СКО времени реакции, мс	73,7 [58,8; 90,5]	72,9 [60,3; 91,6]	77,9 [61,5; 93,2]	88,2 [67,7; 119,1]	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-3} = 0,007$ $p_{1-3} = 0,017$ $p_{2-4} = 0,032$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{3-4} = 0,050$

Примечание. Здесь и далее полужирным начертанием выделены статистически значимые различия.

процессов сенсомоторной интеграции при снижении ФС мозга. Наибольшее изменение в группах от высокого до сниженного уровней ФС ЦНС отмечено в СКО времени реакции в тесте ПЗМР (53,9 %), а наименьшее – в СКО времени реакции в тесте РВ (10,8 %). При этом вариативность медианных значений време-

ни реакции и СКО времени реакции в тестах ПЗМР, РВ и ПУ у всех групп соответствовали возрастно-половым нормам.

Оценка параметров ВСР обследованных студентов в состоянии покоя позволила охарактеризовать особенности нейровегетативной регуляции у лиц с разным уровнем ФС ЦНС (табл. 2).

Таблица 2

Временные и спектральные показатели ВСР студентов СурГПУ с разным уровнем ФС ЦНС, $Me [Q_1; Q_3]$

Temporal and spectral parameters of heart rate variability in students of Surgut State Pedagogical University with different levels of the functional state of the CNS, $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель	Высокий уровень (n = 118) (1)	Средний уровень (n = 170) (2)	Незначительно сниженный уровень (n = 65) (3)	Сниженный уровень (n = 63) (4)	Значимость различий
<i>Временной анализ</i>					
RRNN, мс	838,5 [754,0; 899,0]	813,0 [731,0; 886,0]	809,0 [740,0; 932,0]	801,0 [744,0; 883,0]	$p_{1-2} = 0,125$ $p_{2-3} = 0,503$ $p_{1-3} = 0,653$ $p_{2-4} = 0,860$ $p_{1-4} = 0,219$ $p_{3-4} = 0,564$
SDNN, мс	54,0 [43,0; 75,0]	54,0 [38,0; 73,0]	58,0 [41,0; 77,0]	60,0 [41,0; 77,0]	$p_{1-2} = 0,646$ $p_{2-3} = 0,380$ $p_{1-3} = 0,669$ $p_{2-4} = 0,428$ $p_{1-4} = 0,626$ $p_{3-4} = 0,985$
RMSSD, мс	50,0 [33,0; 75,0]	50,5 [33,0; 79,0]	52,0 [32,0; 88,0]	57,0 [35,0; 87,0]	$p_{1-2} = 0,671$ $p_{2-3} = 0,721$ $p_{1-3} = 0,495$ $p_{2-4} = 0,577$ $p_{1-4} = 0,378$ $p_{3-4} = 0,840$
A_{Mo} , %	27,3 [21,5; 33,5]	34,8 [30,5; 40,4]	48,2 [44,2; 54,8]	48,3 [43,1; 55,1]	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,001$ $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{3-4} = 0,971$
SI, y. e.	32,7 [21,8; 63,3]	62,6 [44,8; 88,5]	154,8 [127,1; 202,4]	143,6 [124,9; 191,9]	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,001$ $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{3-4} = 0,625$

Окончание табл. 2

Показатель	Высокий уровень (n = 118) (1)	Средний уровень (n = 170) (2)	Незначительно сниженный уровень (n = 65) (3)	Сниженный уровень (n = 63) (4)	Значимость различий
<i>Спектральный анализ</i>					
TP, мс ²	5806,0 [3567,0; 9417,0]	3355,0 [2291,0; 4510,0]	1285,0 [1091,0; 1713,0]	1365,0 [1057,0; 1851,0]	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,001$ $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{3-4} = 0,890$
HF _{отн} , %	44,8 [33,8; 54,4]	39,4 [26,5; 52,6]	28,3 [19,6; 33,9]	30,6 [16,6; 40,8]	$p_{1-2} = 0,010$ $p_{2-3} < 0,001$ $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{3-4} = 0,475$
LF _{отн} , %	24,1 [18,6; 30,2]	27,9 [21,6; 37,2]	29,7 [23,3; 35,9]	28,2 [21,1; 38,5]	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-3} = 0,425$ $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-4} = 0,976$ $p_{1-4} = 0,010$ $p_{3-4} = 0,517$
VLF _{отн} , %	26,3 [18,9; 38,8]	29,8 [19,7; 39,9]	39,5 [32,2; 48,9]	36,9 [30,3; 53,2]	$p_{1-2} = 0,228$ $p_{2-3} < 0,001$ $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{3-4} = 0,644$
LF/HF, у. е.	0,6 [0,4; 0,8]	0,7 [0,4; 1,3]	1,1 [0,8; 1,8]	1,0 [0,6; 1,9]	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,001$ $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-4} = 0,012$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{3-4} = 0,292$

RRNN демонстрировала тенденцию к уменьшению от группы с высоким уровнем ФС ЦНС (838,5 мс) к группе со сниженным (801,0 мс). SDNN и RMSSD отражали парадоксальную тенденцию к незначительному увеличению медианных значений при снижении ФС ЦНС: SDNN – на 11 % (от 54,0 до 60,0 мс), RMSSD – на 14 % (от 50,0 до 57,0 мс), оставаясь при этом в пределах физиологической нормы. Наиболее

выраженные различия обнаружены в показателях, характеризующих симпатическую активность и напряжение регуляторных систем: A_{M_0} значительно возрастила (в среднем на 2/3) – от 27,3 % в группе с высоким уровнем ФС ЦНС до 48,3 % в группе со сниженным уровнем. SI демонстрировал выраженное увеличение (в 4,4 раза – от 32,7 до 143,6 у. е.) при снижении уровня ФС ЦНС.

Спектральный анализ ВСР выявил существенные различия в структуре спектральной мощности. ТР статистически значимо уменьшилась (примерно в 5 раз) от 5806,0 мс² в группе с высоким уровнем ФС ЦНС до 1365,0 мс² в группе со сниженным уровнем. В структуре спектра ВСР наблюдалось перераспределение компонентов: HF_{отн} уменьшилась от 44,8 % (высокий уровень ФС ЦНС) до 30,6 % (сниженный уровень); LF_{отн} демонстрировала умеренное увеличение от 24,1 до 28,2 % соответственно; наиболее выраженные изменения произошли в VLF_{отн} – она возросла примерно на 40 % при сниженному уровне ФС ЦНС по сравнению с высоким. LF/HF демонстрировал прогрессивное увеличение от 0,56 у. е. в группе с высоким уровнем до 1,0 у. е. в группе со сниженным уровнем ФС ЦНС, отражая смещение вегетативного баланса в пределах нормативного коридора в сторону симпатических влияний.

Обсуждение. ФС ЦНС играет существенную роль в формировании адаптивных психических и физиологических реакций, а также в определении готовности студентов к учебной деятельности [3, 5, 12, 13]. Преобладание в выборке лиц со средним и высоким уровнями ФС ЦНС (в сумме 69,3 %) свидетельствует об адекватном функционировании ЦНС у большинства обследованных студентов, что может рассматриваться как благоприятный прогностический признак успешной реализации когнитивной деятельности. Полученные нами результаты подтверждаются работами других авторов [5, 12], которые показали, что среди студентов преобладают лица с высоким и средним уровнями ФС ЦНС. Снижение ФС ЦНС отражает уменьшение общей активности нервной системы, что проявляется в увеличении времени прохождения нервных импульсов по элементам рефлекторной дуги. Это может быть связано с истощением энергетических ресурсов нейронов, дисбалансом нейромедиаторных систем и нарушением регуляторных процессов [14]. Выявленное нами у студентов северного вуза прогрессивное увеличение времени ПЗМР на 26,5 % при снижении ФС ЦНС свидетельствует о замедлении процессов возбуждения в сенсорных и моторных зонах коры головного мозга. При этом

эффективность РВ сокращается только при существенном ухудшении ФС (увеличение времени на 13,7 %), что указывает на относительную устойчивость когнитивных процессов к умеренным изменениям в ЦНС.

Отмеченное дифференцированное влияние ФС ЦНС обследованных студентов на сложные сенсомоторные реакции с сохранением эффективности при умеренном снижении ФС ЦНС может быть связано с вовлечением дополнительных нейронных сетей и компенсаторных механизмов. Реализация данных механизмов деятельности нервных центров головного мозга обеспечивает перераспределение ресурсов и активацию альтернативных путей обработки информации для поддержания производительности при выполнении сложных задач [14]. Аналогичные результаты представлены в работе [5], где описаны различные механизмы формирования функциональной системы ЦНС у лиц с разным уровнем подвижности и точности реакций. В частности, у студентов с выраженной инертностью нервных процессов наблюдалось развертывание реакций мобилизации, тогда как у лиц с высокой подвижностью нервных процессов и высокой точностью реакций активация была обусловлена реакцией готовности к сенсомоторной деятельности. Зафиксированное нами увеличение вариативности сенсомоторных реакций, особенно ПЗМР (на 53,9 %), при снижении ФС ЦНС подтверждает положение о нестабильности нейродинамических процессов как маркера снижения функциональных резервов ЦНС [8].

В проведенном исследовании установлено влияние уровня ФС ЦНС на параметры ВСР. Прогрессивное статистически значимое уменьшение ТР в 5 раз от высокого к сниженному уровню ФС ЦНС согласуется с данными [10, 12, 13], свидетельствующими о снижении ВСР с уменьшением адаптационного потенциала ЦНС. Значительное увеличение SI (в 4,4 раза) и A_{Mo} (на 2/3) говорит об усилении централизации управления сердечным ритмом.

Перераспределение спектральных компонентов ВСР с незначительным снижением высокочастотного компонента и увеличением доли

VLF-колебаний на 40 % при ухудшении ФС ЦНС у обследованных студентов также указывает на активацию надсегментарных эрготропных и метаболических механизмов регуляции сердечного ритма. Смещение LF/HF в сторону симпатических влияний, в пределах нормативного диапазона, может рассматриваться как адаптивная реакция, направленная на мобилизацию функциональных резервов организма, что подтверждается работами [6–7].

Комплексное исследование нейродинамических характеристик и показателей ВСР позволяет получить целостное представление о функциональном состоянии организмов студентов и их адаптационных возможностях. Такой интегративный подход особенно важен для понимания механизмов взаимосвязи центральной и вегетативной нервной систем в обеспечении оптимальной работоспособности в условиях интенсивных учебных нагрузок.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Аминова О.С., Тятенкова Н.Н., Соколова С.Б. Проблема сохранения и укрепления здоровья студенческой молодежи (научный обзор) // Вопр. школ. и унив. медицины и здоровья. 2023. № 1. С. 9–15.
2. Тарасов А.В., Рахманов Р.С., Богомолова Е.С., Скоблина Н.А., Иевлева О.В. Современные факторы, определяющие состояние здоровья студенческой молодежи // Рос. вестн. гигиены. 2022. № 1. С. 4–9. <https://doi.org/10.24075/rbh.2022.034>
3. Литвинова Н.А., Иванов В.И., Березина М.Г., Глебов В.В. Оценка психофизиологического потенциала в процессе адаптации к учебной деятельности // Психология. Психофизиология. 2021. Т. 14, № 2. С. 108–122.
4. Марчук С.А. Исследование психофизиологических показателей студентов в разные периоды учебной деятельности // Науч.-метод. электрон. журн. «Концепт». 2025. № 2. С. 307–313. <https://doi.org/10.24412/2304-120X-2025-12004>
5. Байгужин П.А., Шибкова Д.З. Функциональное состояние центральной нервной системы при воздействии слабоструктурированной информации // Человек. Спорт. Медицина. 2017. Т. 17, № 5. С. 32–42. <https://doi.org/10.14529/hsm17s04>
6. Безбородова А.П., Рыжков А.В., Чаткин В.В., Шутов М.В., Дмитриева О.А., Власова Т.И. Особенности вегетативной регуляции вариабельности ритма сердца у молодых лиц при профилактике сердечно-сосудистой патологии // Профилакт. медицина. 2024. Т. 27, № 8. С. 76–81. <https://doi.org/10.17116/profmed20242708176>
7. Трифонов В.В., Каракевич А.И. Особенности проявления умственной работоспособности у лиц с ваготоническим и симпатикотоническим вариантом исходного вегетативного тонуса в условиях стресса // Соврем. вопр. биомедицины. 2025. Т. 9, № 1(31). Ст. № 17. https://doi.org/10.24412/2588-0500-2025_09_01_17
8. Сетко Н.П., Жданова О.М., Сетко А.Г. Индивидуально-типологический подход в анализе функционального состояния организма студентов-медиков // Кардиоваскуляр. терапия и профилактика. 2024. Т. 23, № 2. С. 6–18. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-3800>
9. Forte G., Favieri F., Casagrande M. Heart Rate Variability and Cognitive Function: A Systematic Review // Front. Neurosci. 2019. № 13. Art. № 710. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00710>
10. Еремеев С.И., Еремеева О.В., Кормилец В.С., Кормилец А.Ю. Вариабельность ритма сердца у здоровых женщин и мужчин 18–27 лет, проживающих в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре // Экология человека. 2021. № 8. С. 12–20. <https://doi.org/10.3396/1728-0869-2021-8-12-20>
11. Никилина А.В., Козлов В.А., Шуканов А.А. Изменчивость вариабельности сердечного ритма как отражение реализации физиологических механизмов адаптации организма // Человек. Спорт. Медицина. 2017. Т. 17, № 4. С. 14–20. <https://doi.org/10.14529/hsm170402>
12. Николаева Е.Н., Колосова О.Н. Физиологическая оценка состояния центральной нервной системы студентов в период учебной деятельности // Наука и образование. 2017. № 3(87). С. 96–100.
13. Спицин А.П. Особенности структуры сердечного ритма у лиц молодого возраста в зависимости от доминирующего типа вегетативной нервной системы // Человек и его здоровье. 2017. № 3. С. 113–117. <https://doi.org/10.21626/vestnik/2017-3/19>

14. Игнатова Ю.П., Макарова И.И., Яковлева К.Н., Аксенова А.В. Зрительно-моторные реакции как индикатор функционального состояния центральной нервной системы // Ульянов. мед.-биол. журн. 2019. № 3. С. 38–51. <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2019-3-38-51>

References

1. Aminova O.S., Tyatenkova N.N., Sokolova S.B. Problema sokhraneniya i ukrepleniya zdorov'ya studencheskoy molodezhi (nauchnyy obzor) [The Problem of Preserving and Strengthening the Health of Students (Scientific Review)]. *Voprosy shkol'noy i universitetskoy meditsiny i zdorov'ya*, 2023, no. 1, pp. 9–15.
2. Tarasov A.V., Rakhmanov R.S., Bogomolova E.S., Skobrina N.A., Ievleva O.V. Modern Factors Determining the Status of Students' Health. *Russ. Bull. Hyg.*, 2022, no. 1, pp. 4–9. <https://doi.org/10.24075/rbh.2022.034>
3. Litvinova N.A., Ivanov V.I., Berezina M.G., Glebov V.V. Assessment of Psychophysiological Potential Under Adaptation to Educational Activity. *Psychol. Psychophysiol.*, 2021, vol. 14, no. 2, pp. 108–122 (in Russ.).
4. Marchuk S.A. Issledovanie psikhofiziologicheskikh pokazateley studentov v raznye periody uchebnoy deyatel'nosti [Study of Psychophysiological Indicators of Students in Different Periods of Learning Activity]. *Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal "Kontsept"*, 2025, no. 2, pp. 307–313. <https://doi.org/10.24412/2304-120X-2025-12004>
5. Baiguzhin P.A., Shikova D.Z. Functional Condition of the Central Nervous System Under the Influence of Weakly Structured Information. *Hum. Sport Med.*, 2017, vol. 17, no. S, pp. 32–42 (in Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm17s04>
6. Bezborodova A.P., Ryzhov A.V., Chatkin V.V., Shutov M.V., Dmitrieva O.A., Vlasova T.I. Features of Autonomic Regulation of Heart Rate Variability in Young People at the Cardiovascular Pathology Prevention. *Russ. J. Prev. Med.*, 2024, vol. 27, no. 8, pp. 76–81 (in Russ.). <https://doi.org/10.17116/profmed20242708176>
7. Trifonov V.V., Karankevich A.I. Features of Mental Performance in Individuals with Vagotonic and Sympathetic Tonic Variant of the Initial Vegetative Tone Under Stress. *Mod. Iss. Biomed.*, 2025, vol. 9, no. 1. Art. no. 17 (in Russ.). https://doi.org/10.24412/2588-0500-2025_09_01_17
8. Setko N.P., Zhdanova O.M., Setko A.G. Individual Typological Approach to the Analysis of the Body Function of Medical Students. *Cardiovasc. Ther. Prev.*, 2024, vol. 23, no. 2, pp. 6–18 (in Russ.). <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-3800>
9. Forte G., Favieri F., Casagrande M. Heart Rate Variability and Cognitive Function: A Systematic Review. *Front. Neurosci.*, 2019, no. 13. Art. no. 710. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00710>
10. Eremeev S.I., Eremeeva O.V., Kormilets V.S., Kormilets A.Yu. Heart Rate Variability in Healthy 18–27 Years-Old Women and Men in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Ugra. *Hum. Ecol.*, 2021, no. 8, pp. 12–20 (in Russ.). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2021-8-12-20>
11. Nikulina A.V., Kozlov V.A., Shukanov A.A. Changes in Heart Rate Variability as a Reflection of Implemented Physiological Mechanisms of Adaptation. *Hum. Sport Med.*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 14–20 (in Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm170402>
12. Nikolaeva E.N., Kolosova O.N. Fiziologicheskaya otsenka sostoyaniya tsentral'noy nervnoy sistemy studentov v period uchebnoy deyatel'nosti [Physiological Estimation of the State of the Central Nervous System of Students in the Period of Educational Activity]. *Nauka i obrazovanie*, 2017, no. 3, pp. 96–100.
13. Spitsin A.P. Osobennosti strukturny serdechnogo ritma u lits molodogo vozrasta v zavisimosti ot dominiruyushchego tipa vegetativnoy nervnoy sistemy [Peculiarities of Heart Rate Structure in Young Persons Depending on the Dominant Type of the Vegetative Nervous System]. *Chelovek i ego zdorov'e*, 2017, no. 3, pp. 113–117. <https://doi.org/10.21626/vestnik/2017-3/19>
14. Ignatova Yu.P., Makarova I.I., Yakovleva K.N., Aksanova A.V. Zritel'no-motornye reaktsii kak indikator funktsional'nogo sostoyaniya tsentral'noy nervnoy sistemy [Visual-Motor Reactions as an Indicator of CNS Functional State]. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskiy zhurnal*, 2019, no. 3, pp. 38–51. <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2019-3-38-51>

Поступила в редакцию 17.04.2025 / Одобрена после рецензирования 23.06.2025 / Принята к публикации 25.06.2025.
Submitted 17 April 2025 / Approved after reviewing 23 June 2025 / Accepted for publication 25 June 2025.



Вариационный размах кардиоинтервалов при фиксированном темпе дыхания у юношей и девушек Арктической зоны Российской Федерации (на примере Архангельской области)

Лилия Владимировна Поскотинова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7537-0837>

Анна Вячеславовна Уханова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9083-9931>

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

Аннотация. Проба с фиксированным темпом дыхания с частотой 6 дыхательных циклов в минуту (ФТД) представляет собой тест для выявления снижения резервов вагусной регуляции кардиореспираторной системы, однако вопрос нормирования вариационного размаха кардиоинтервалов при данном тесте у молодых жителей Арктической зоны Российской Федерации остается открытым. Цель исследования – определить перцентильные диапазоны вариационного размаха кардиоинтервалов (MxRMn), временных и спектральных показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР) у 16–18-летних жителей севера Архангельской области при пробе с ФТД. **Материалы и методы.** Обследованы 253 здоровых юношей и девушек в возрасте 16–18 лет, проживающих на арктических (и приравненных к ним) территориях Архангельской области, с регистрацией параметров ВСР в фоне (5 мин) и при ФТД (5 мин) с помощью прибора «Варикард» (ООО ИВНМТ «Рамена», Россия). Определялись перцентили (p10, p25, p75, p90) MxRMn, показатели артериального давления и ВСР с учетом пола. **Результаты.** При пробе с ФТД у юношей медиана и диапазон p10–p90 показателя MxRMn были значимо выше (1,75 [1,49; 2,06] мс), чем у девушек (1,69 [1,45; 1,98] мс, $p < 0,05$). Эти данные зарегистрированы на фоне более высоких приростов показателей ВСР, отражающих вагусную регуляцию, и более низкого прироста показателя низкочастотной ВСР у юношей в сравнении с девушками ($p < 0,05$). Падение MxRMn при тесте с ФТД ниже 1,49 мс у юношей и ниже 1,45 мс у девушек 16–18 лет отражает риск нарушений вегетативной регуляции кардиореспираторной системы. Предложены нормативные интервалы значений MxRMn для лиц 16–18 лет.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, фиксированный темп дыхания, молодые жители Архангельской области, Арктическая зона Российской Федерации, норма вариационного размаха кардиоинтервалов

© Поскотинова Л.В., Уханова А.В., 2025

Ответственный за переписку: Лилия Владимировна Поскотинова, адрес: 163029, г. Архангельск, просп. Никольский, д. 20; e-mail: liliya200572@mail.ru

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук № 125022002730-2.

Для цитирования: Поскотинова, Л. В. Вариационный размах кардиоинтервалов при фиксированном темпе дыхания у юношей и девушек Арктической зоны Российской Федерации (на примере Архангельской области) / Л. В. Поскотинова, А. В. Уханова // Журнал медико-биологических исследований. – 2025. – Т. 13, № 4. – С. 442-452. – DOI 10.37482/2687-1491-Z265.

Original article

Cardiac Interval Variation During Slow-Paced Breathing in Young Residents of the Arctic Zone of the Russian Federation (Arkhangelsk Region)

Liliya V. Poskotinova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7537-0837>
Anna V. Ukhanova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9083-9931>

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

Abstract. Slow-paced breathing (SPB) test at 6 respiratory cycles per minute is used to identify reduced vagal regulation of the cardiorespiratory system. However, no standard variation range of cardiac intervals during this test in young residents of the Arctic aged 16–18 years has been established. The **purpose** of this study was to determine the percentile ranges of the variation of cardiac intervals (MxRMn) as well as of time-domain and spectral heart rate variability (HRV) parameters during SPB in 16- to 18-year-olds living in the northern part of the Arkhangelsk Region. **Materials and methods.** The study involved 253 healthy male and female subjects aged 16–18 years living in the Arctic areas (and those equated thereto) of the Arkhangelsk Region. Their HRV parameters were recorded at baseline (5 minutes) and during SPB (5 minutes) using Varikard equipment (Ramena, Russia). MxRMn percentiles (p10, p25, p75, p90), blood pressure and HRV parameters were determined and controlled for sex. **Results.** During SPB in male subjects, MxRMn median and p10–p90 range were significantly higher (1.75 [1.49; 2.06] ms) compared to those in female subjects (1.69 [1.45; 1.98] ms, $p < 0.05$). These values were accompanied by a greater increase in HRV parameters reflecting vagal regulation and by a smaller increase in the low-frequency HRV component in males compared to females ($p < 0.05$). A decrease in the MxRMn parameter during SPB below 1.49 ms in young men and below 1.45 ms in young women aged 16–18 years reflects a risk of dysfunction in the autonomic regulation of the cardiorespiratory system. Normative intervals of MxRMn values for individuals aged 16–18 years were proposed.

Corresponding author: Liliya Poskotinova, address: prosp. Nikol'skiy 20, Arkhangelsk, 163029, Russia; e-mail: liliya200572@mail.ru

Keywords: *heart rate variability, slow-paced breathing, young population of the Arkhangelsk Region, Arctic zone of the Russian Federation, normal variation range of cardiac intervals*

Funding. The research was carried out within the framework of the state assignment of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences No. 125022002730-2.

For citation: Poskotinova L.V., Ukhanova A.V. Cardiac Interval Variation During Slow-Paced Breathing in Young Residents of the Arctic Zone of the Russian Federation (Arkhangelsk Region). *Journal of Medical and Biological Research*, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 442–452. DOI: 10.37482/2687-1491-Z265

Проживание в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) сопровождается напряжением регуляторных систем организма человека, прежде всего вегетативной регуляции кардиореспираторной системы [1]. Адаптивные типы реагирования данной системы на дискомфортную среду обитания у северян формируются как онтогенетически, так и путем накопления адаптивного резерва через предыдущие поколения жителей этой же местности [2].

По общемировым критериям возраст до 19 лет расценивается как подростковый, хотя процесс формирования регуляторных систем молодого человека может продолжаться до 20 лет [3]. В связи с омоложением сердечно-сосудистой патологии среди населения большинства стран мира [4], важно именно в возрасте активного взросления оценивать функциональный резерв вегетативной регуляции сердечного ритма, прежде всего реактивность вагусной регуляции сердечного ритма, которая оценивается при функциональных нагрузках.

Проба с фиксированным темпом дыхания с частотой 6 дыхательных циклов в минуту (ФТД) представляет собой информативный тест, при котором увеличение соотношения максимального и минимального кардиоинтервалов отражает достаточность включения барорефлекторных механизмов и активацию вагусных влияний на сердечный ритм [5, 6]. Данный темп определяет переход на более глубокое дыхание и максимальное вовлечение вагусной рецепции, особенно из области диафрагмы, что используется при немедикаментозной коррекции стресс-обусловленных нарушений.

Норматив показателя соотношения максимального и минимального кардиоинтервалов ($MxRMn$), который рассчитывается по короткой записи кардиоинтервалограммы (до 5 мин), известен значением выше 1,3 мс [7], однако традиционно оно используется для взрослых, причем независимо от пола. Вопрос о нормировании $MxRMn$ у здоровых молодых людей с незавершенными процессами возрастного формирования кардиореспираторной системы и вегетативного тонуса, особенно родившихся и постоянно проживающих в дискомфортных условиях Арктики, остается открытым.

Цель настоящей работы – определение статистических диапазонов колебаний $MxRMn$, а также других показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР) и артериального давления при выполнении теста с ФТД у здоровых 16–18-летних людей обоего пола, проживающих на арктических территориях Архангельской области.

Материалы и методы. В эксперименте участвовали 253 человека (104 юноши и 149 девушек) в возрасте от 16 до 18 лет. Все они являлись учащимися 10–11-х классов общеобразовательных школ и студентами I–II курсов учреждений среднего специального и высшего образования. Критерии включения в выборку: возраст от 16 до 18 лет; рождение участника и его родителей на территории Архангельской области и проживание в АЗРФ (г. Архангельск, г. Северодвинск, г. Мезень); принадлежность к 1–2-й группам диспансерного наблюдения в медицинском учреждении (здоровые на момент исследования); добровольное информированное согласие. Крите-

рии исключения: наличие на момент исследования острых инфекционных заболеваний или хронической патологии, требующей постоянного диспансерного наблюдения у специалистов; индекс массы тела (ИМТ, кг/м²) меньше или больше значений, входящих в диапазоны $+/- 2SD$ референтных значений ИМТ возрастных норм, разработанных Всемирной организацией здравоохранения¹, тахикардия покоя выше 110 уд./мин², артериальное давление выше 140/90 мм рт. ст. Соответствие критериям включения оценивалось путем сбора анамнеза и с использованием данных медицинских карт студентов и учащихся школ, а также антропометрических данных. Все исследования выполнены в период с 2023 по 2025 год.

Обследование проводилось в условиях кабинета при комнатной температуре, в положении сидя и состоянии комфорта, в первой половине дня. У участников эксперимента с помощью прибора «Варикард» (ООО ИВНМТ «Рамена», Россия) и электродных датчиков электрокардиографии I стандартного отведения регистрировались параметры ВСР в фоне (5 мин) и при ФТД (5 мин) под визуальным контролем монитора участником исследования с оповещением о начале вдоха и визуальным контролем исследователя экскурсии грудной клетки участника исследования.

Оценивались следующие параметры ВСР: частота сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин); индекс напряжения (ИН, у. е.); доля соседних кардиоинтервалов NN в записи, отличающихся более чем на 50 мс (pNN50, %); среднеквадратичная разностная характеристика всего объема кардиоинтервалов (RMSSD, мс); отношение максимального кардиоинтервала к минимальному (MxRMn); общая спектральная мощность ВСР в диапазонах 0,4–0,15 Гц

(HF, %), 0,15–0,04 Гц (LF, %) и 0,04–0,015 Гц (VLF, %); приросты показателей ВСР (%), рассчитанные по формуле $X_{\text{ФТД}}/100/X_{\text{фон}}$, где $X_{\text{ФТД}}$, $X_{\text{фон}}$ – значение показателя при ФТД и фоновое значение соответственно. До и после регистрации ВСР измерялись систолическое и диастолическое артериальное давление (САД и ДАД, мм рт. ст.) с помощью автоматического тонометра Omron M2 Basic (Omron, Китай).

Статистическая обработка данных проводилась в программе Statistica 12.0 (StatSoft, США), с определением средних арифметических величин (*Mean*), стандартного отклонения (*SD*), медианы (*Me*), перцентилей, отражающих значения 10, 25, 75 и 90 % выборки (p10, p25, p75 и p90 соответственно). Поскольку распределение данных не подчинялось закону нормального распределения (по критерию Шапиро–Уилка), использованы непараметрические методы оценки уровней значимости различий независимых (критерий Манна–Уитни) и зависимых (критерий Уилкоксона) выборок ($p < 0,05$), а также критерий значимости Спирмена ($p < 0,05$). Применялся критерий χ^2 для оценки статистической значимости различий процентных долей и приростов значений при ФТД по отношению к фоновым значениям ($p < 0,05$).

Данное исследование было одобрено локальным этическим комитетом Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук (протокол № 10 от 21.11.2022). Все проводимые процедуры соответствовали требованиям Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (редакция 2013 года).

Результаты. Значения роста и массы тела были закономерно выше у юношей по сравнению с девушками, что отражает очередной по-

¹BMI-for-Age (5–19 Years) // World Health Organization: [офиц. сайт]. URL: <https://www.who.int/tools/growth-reference-data-for-5to19-years/indicators/bmi-for-age> (дата обращения: 15.07.2025).

²Макаров Л.М., Комолятова В.Н., Киселева И.И., Федина И.И., Беспорточный Д.А., Дмитриева А.В., Зокиров Н.З. Нормативные параметры ЭКГ у детей: метод. рекомендации М.: Медпрактика-М, 2018. 20 с.

стовой скачок в развитии скелетно-мышечной системы у лиц мужского пола в возрасте 16–18 лет (*табл. 1*).

Согласно данным *табл. 2*, фоновые значения САД были выше, а ДАД – ниже у юношей, чем у девушек, что отражает более выраженное

чимое смещение доминирующей частоты волн кардиоритмограммы с высокочастотного в низкочастотный спектр ВСР ($p < 0,01$). При ФТД у девушек артериальное давление уменьшалось, но в большей степени систолическое, в отличие от юношей, у которых на-

Таблица 1

Показатели антропометрии юношей и девушек Архангельской области в возрасте 16–18 лет, Me [p25; p75]
Anthropometric parameters of young men and women of the Arkhangelsk Region aged 16–18 years, Me [p25; p75]

Показатель	Юноши ($n = 104$)	Девушки ($n = 149$)	p (критерий Манна–Уитни)
Возраст, годы	17,0 [16,0; 18,0]	17,0 [16,0; 18,0]	0,061
Рост, см	180,0 [175,0; 184,0]	165,0 [160,0; 170,0]	<0,001
Масса тела, кг	70,0 [62,0; 76,0]	55,0 [50,0; 60,0]	<0,001
ИМТ, кг/м ²	21,6 [19,7; 23,3]	20,3 [18,7; 21,9]	<0,001

пульсовое давление у лиц мужского пола. Несмотря на то, что более высокая фоновая ЧСС наблюдалась у девушек, параметры ВСР не отразили у них значимого преобладания симпатических влияний на ритм сердца по сравнению с юношами. Доли лиц с фоновой ЧСС = 81–109 уд./мин, отражающей умеренную тахикардию покоя [8], у девушек (7,4 %) и юношей (3,8 %) были статистически одинаковыми ($p > 0,05$). Межквартильный размах ИН отражал преобладание в выборке юношей и девушек лиц с нормотонией (p75 не выше 150 у. е.). Показатель HF был ниже у юношей, однако это, возможно, связано с большой долей лиц с низкой частотой дыхания (менее 9 дыхательных циклов в минуту), что отражает не снижение вагусных влияний на ритм сердца, а математическое смещение доминирующего пика дыхательных волн в низкочастотный диапазон при медленном дыхании [7].

При ФТД происходило закономерное увеличение MxRMn у лиц обоего пола, но статистически более выраженное у юношей ($p < 0,05$). При этом у них более значимо повышались показатели вагусной активности, такие как MxRMn и RMSSD ($p < 0,05$). В тоже время у девушек происходило более зна-

чимое снижение САД и подъем ДАД в пределах физиологических значений.

Приросты вагусных показателей (MxRMn, RMSSD) при пробе с ФТД (*рис. 1*, см. с. 448) были значимо выше у юношей за счет больших значений p90. Приросты MxRMn в диапазоне p10–p90 у юношей были от 100 до 132 %, а у девушек – от 95,0 до 129,7 % относительно фонового значения. Приросты RMSSD у юношей – от 90 до 249 %, а у девушек – от 78 до 212 % относительно фонового значения. Таким образом, среди девушек была большая доля лиц, у которых не увеличивались, а снижались вагусные показатели при ФТД (прирост менее 100 %). При этом именно у девушек значимо больше был прирост показателя LF, который отражает барорефлекторную реактивность (p90 = 302 %, т. е. наблюдалось повышение более чем в 2 раза по сравнению с фоновым значением, тогда как у юношей p90 = 249 %). В среднем (по медиане) приросты LF у юношей при ФТД были на 64 %, а у девушек – на 80 % выше фонового значения.

Результаты корреляционного анализа отражают значимость исходных, фоновых параметров и параметров при ФТД, определяющих прирост MxRMn при ФТД (*рис. 2*, см. с. 448). Показано, что у юношей прирост дан-

Таблица 2

**Показатели сердечно-сосудистой системы при ФТД юношей и девушек Архангельской области
в возрасте 16–18 лет, *Ме* [p25; p75]**

**Cardiovascular parameters during slow-paced breathing in young men and women of the Arkhangelsk Region
aged 16–18 years, *Ме* [p25; p75]**

Показатель	Фон	ФТД	<i>p</i> (критерий Уилкоксона)
<i>Юноши (n = 104)</i>			
САД, мм рт. ст.	123,0 [115,0; 129,0]***	116,0 [110,0; 123,5]***	<0,001
ДАД, мм рт. ст.	71,0 [66,0; 76,0]*	73,0 [67,5; 77,0]	0,011
ЧСС, уд./мин	76,8 [70,3; 84,1]**	81,3 [74,6; 87,8]	<0,001
MxRMn, мс	1,50 [1,39; 1,62]	1,75 [1,58; 1,94]*	<0,001
RMSSD, мс	38,5 [26,8; 54,6]	59,4 [43,7; 80,6]*	<0,001
pNN50, %	18,9 [6,1; 32,1]	28,1 [16,7; 41,0]	<0,001
ИН, у. е.	69,9 [43,8; 131,7]	43,1 [29,1; 75,3]	<0,001
HF, %	24,3 [17,6; 35,2]*	12,3 [8,6; 16,4]**	<0,001
LF, %	49,1 [39,3; 61,9]	84,0 [78,3; 87,0]**	<0,001
VLF, %	20,7 [13,4; 29,6]	3,6 [2,1; 6,3]	<0,001
<i>Девушки (n = 149)</i>			
САД, мм рт. ст.	113,0 [107,0; 121,5]	103,0 [97,0; 110,0]	<0,001
ДАД, мм рт. ст.	73,0 [68,0; 78,0]	70,5 [67,0; 75,0]	0,109
ЧСС, уд./мин	80,9 [73,8; 88,6]	83,6 [76,9; 88,5]	<0,001
MxRMn	1,50 [1,42; 1,61]	1,69 [1,57; 1,82]	<0,001
RMSSD, мс	38,5 [29,6; 57,3]	51,6 [38,2; 71,2]	<0,001
pNN50, %	18,1 [8,3; 38,0]	25,8 [14,0; 37,4]	<0,001
ИН, у. е.	79,5 [40,1; 131,0]	51,2 [32,7; 84,6]	<0,001
HF, %	29,1 [20,0; 38,3]	9,4 [6,4; 14,3]	<0,001
LF, %	46,8 [40,6; 54,6]	85,8 [79,9; 90,2]	<0,001
VLF, %	20,1 [14,0; 26,8]	3,8 [2,0; 6,2]	<0,001

Примечание. Установлены статистически значимые отличия от девушек (по критерию Манна–Уитни): * – при *p* < 0,05; ** – при *p* < 0,01; *** – при *p* < 0,001.

ного показателя положительно коррелировал с ростом, показателями вагусной регуляции при ФТД (RMSSD; pNN50; HF, %) и их приростами, а также отрицательно – с ИМТ, ИН и показателем сверхнизкочастотной части ВСР (VLF, %). У девушек большинство корреляционных взаимосвязей прироста MxRMn при ФТД повторяли таковые закономерности, но в отличие от юношей наблюдались

отрицательные связи только с массой тела и ИМТ, а также положительная связь с фоновыми ИН.

Таким образом, прирост MxRMn при ФТД у молодых людей, проживающих в Архангельской области, с преобладающей нормотонией как по данным ВСР, так и по уровню артериального давления, среди юношей мало зависит от исходных параметров артериального давле-

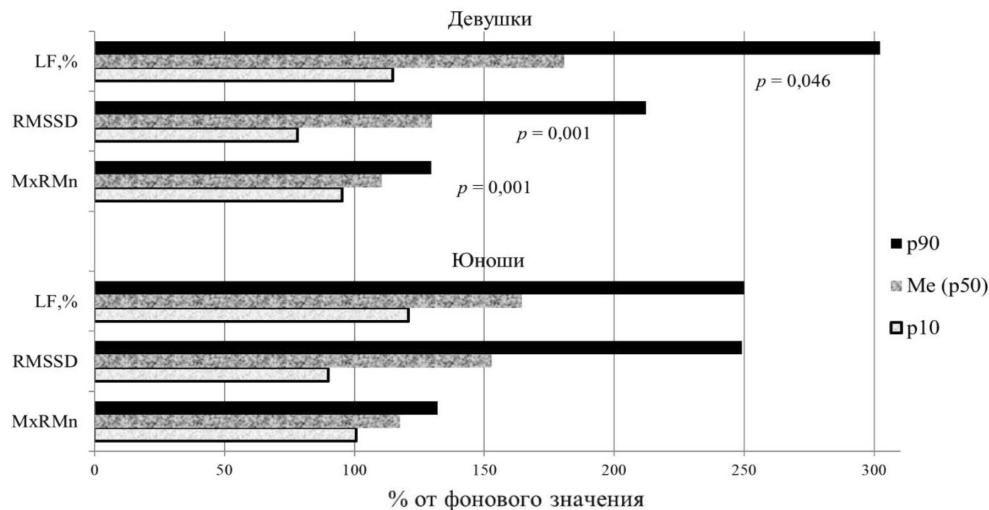


Рис. 1. Приrostы показателей ВСР при пробе с ФТД (фон принимался за 100 %) у девушек и юношей 16–18 лет, проживающих в Архангельской области: уровни статистической значимости между группами рассчитаны по критерию χ^2

Fig. 1. Increases in HRV parameters during slow-paced breathing (baseline is 100 %) in young men and women aged 16–18 years living in the Arkhangelsk Region: statistical significance of between-group differences was calculated using the χ^2 test

ния и вегетативного тонуса, но у девушек достаточная фоновая симпатическая активность необходима для оптимального включения барорефлекса и подъема вариационного размаха кардиоинтервалов при ФТД. Также у девушек 16–18 лет подъем MxRMn при ФТД в большей степени определяется только отсутствием избыточной массы тела, минимизируя метабо-

лические факторы кардиореспираторных нарушений. У юношей подъем MxRMn при ФТД также положительно связан с ростовым показателем, влияющим на развитие внутренних органов и сосудов, объемов легких и сердца. Не выявлено юношей с MxRMn при ФТД ниже 1,3 мс как рекомендуемого предела для молодых взрослых лиц, а у девушек MxRMn менее 1,3 мс зарегистрировано

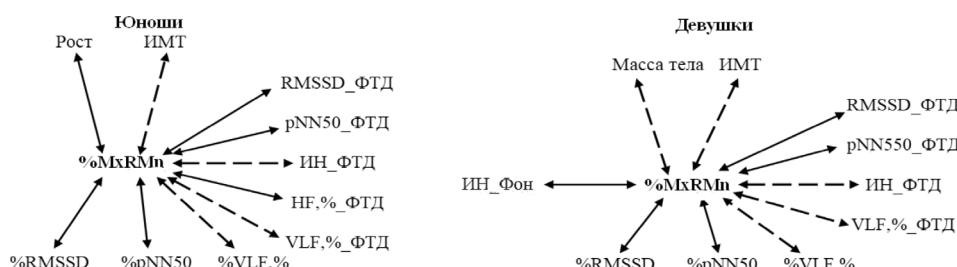


Рис. 2. Корреляционные взаимосвязи ($p < 0,05$) прироста MxRMn при пробе с ФТД по отношению к фоновому значению (%MxRMn) и показателей ВСР, антропометрических параметров у юношей и девушек 16–18 лет, проживающих в Архангельской области: сплошные стрелки – положительные корреляционные взаимосвязи; пунктирные стрелки – отрицательные корреляционные взаимосвязи

Fig. 2. Correlations ($p < 0.05$) between the increase in MxRMn during slow-paced breathing compared to baseline (%MxRMn) and HRV and anthropometric parameters in young men and women aged 16–18 years living in the Arkhangelsk Region: solid arrows – positive correlations; dashed arrows – negative correlations

у 3 чел., что расценивается как снижение резервов вагусной регуляции сердечного ритма [7]. При этому 8 юношей (7,7 %) и 24 девушек (16,1 %) произошло уменьшение MxRMn при ФТД (прирост менее 100 % относительно фона), что также свидетельствует о снижении резервов вагусной регуляции сердечного ритма.

На основании полученных данных предложены перцентильные диапазоны значений MxRMn при ФТД у молодых жителей Архангельской области (табл. 3).

Таблица 3

Распределение значений MxRMn (мс)
при пробе с ФТД у жителей Архангельской области
в возрасте 16–18 лет

**Distribution of MxRMn values (ms)
during a slow-paced breathing test in residents
of the Arkhangelsk Region aged 16–18 years**

Группа	Mean	SD	Me	p10	p90
Юноши	1,77	0,23	1,75	1,49	2,06
Девушки	1,70	0,22	1,69	1,45	1,98

Обсуждение. Показано, что при выполнении пробы с ФТД (6 дыхательных циклов в минуту), несмотря на схожие p10–p90 MxRMn, у 16–18-летних жителей Архангельской области наблюдались значимые половые различия изменений данного показателя, а главное – вегетативного фона, при котором происходили данные изменения.

По литературным данным, у здоровых мужчин 17–22 лет не происходит значимого изменения артериального давления на фоне увеличения ЧСС при такой же пробе с ФТД [8]. По-видимому, уже в возрасте 18–22 лет наблюдается некоторое снижение реактивности барорефлекса и колебаний газов крови, отражающих кислотно-основный баланс, что приводит к минимизации колебаний артериального давления при управляемом медленном глубоком дыхании.

Значения нижнего перцентиля (p10) диапазона распределения MxRMn при ФТД соответствовали рекомендуемой норме для здоровых

взрослых молодых людей – выше 1,3 мс [7]. Однако согласно литературным данным, в среднем значения MxRMn более высокие у лиц юношеского возраста (16–18 лет), чем у лиц старше 18 лет [7]. Это обуславливает необходимость формирования возрастных нормативов для данного теста.

Снижение вагусных резервов вегетативной регуляции сердечного ритма констатировано по другому критерию – падению MxRMn при пробе с ФТД в сравнении с фоном, преимущественно у девушек. Меньшие вагусные значения при ФТД в данной группе указывают также и на методическую проблему – выраженное затруднение при выполнении теста при столь низкой частоте дыхания. Во-первых, это может отражать особенности женского организма – экскурсия преимущественно верхних и средних отделов легких и относительный дефицит вовлечения нижних отделов, необходимого для адекватной стимуляции вагусных окончаний в области диафрагмы. Вследствие возрастного несовершенства дыхательных объемов и механизмов вентиляции нижних отделов легких, именно в данном возрасте у девушек может возникать дополнительное напряжение кардио-респираторной системы вместо достижения свободного медленного и глубокого дыхания. Во-вторых, у девушек эмоциональность может обусловить и более выраженную реактивность симпатоадреналовой системы. В литературе показано, что в 17 лет у молодых людей наблюдается наиболее сильная корреляция уровня норадреналина и ЧСС, а темперамент холерика у девушек 16 лет связан с повышением фоновой ЧСС до 85 уд./мин [9]. Таким образом, активация барорефлекса у девушек происходит с более высокой реактивностью, чем у юношей, что отражено в более выраженном сдвиге из высоких в медленные частоты ВСР при ФТД.

С учетом вклада как вагусных, так и симпатических влияний в LF очевидно, что у девушек вклад симпатоадреналового компонента в LF при выполнении пробы с ФТД будет выше, чем у юношей, данный факт также подтверж-

ден прямой корреляционной зависимостью прироста MxRMn с исходным ИН у девушек. В литературе показано, что при пробе с ФТД у здоровых взрослых лиц LF должен в норме повышаться на 70–80 % относительно фона, что отражает достаточную мощность вазомоторного центра [10]. В нашем исследовании у юношей медиана повышения LF относительно фона составила 64 %, а у девушек – 81 %, что в среднем соотносится с литературными данными, однако диапазоны такого повышения имели большие перцентильные размахи, а приросты были в 1,5–2 раза выше фоновых значений. В нашей предыдущей работе также показаны более высокие приросты показателя LF при ортопробе у молодых людей предыдущего поколения (2002–2003 годы), проживавших в том же регионе (Приморский район Архангельской области), в сравнении с жителями южных районов Архангельской области, особенно у девушек в возрасте 16–17 лет, что обусловлено высокой амплитудой динамических адаптивных изменений барорефлекторной активности в течение года [1]. Относительно более высокие приросты LF при ФТД у девушек могут также являться у некоторых участниц признаками гипервентиляции и гипокапнии, при которых для компенсации низкой частоты дыхания и возможной дыхательной гипоксии приходится дышать с резким вдохом, избыточной глубиной вдоха и выдоха и периодами апноэ. После такой пробы может наблюдаться головокружение, сопровождаемое выраженным снижением артериального давления.

В условиях АЗРФ наблюдается северная специфика дыхательной функции как у мужчин, так и у женщин. А.Б. Гудков с соавт. предположили, что необходимый уровень минутного объема дыхания у здоровых молодых женщин достигается не только за счет дыхательного объема, но и за счет частоты дыхания, что отражает меньшую экономичность в деятельности дыхательной системы по сравнению с мужчинами [1]. При этом более тесная взаимосвязь дыхательного объема и объема форсированного выдоха с частотой дыхания, чем у мужчин, отра-

жает более выраженную изменчивость проходимости дыхательных путей [1], а значит, и более значимую роль фактора частоты дыхания в обеспечении эффективности кардиореспираторной системы у жительниц Севера.

Вышеуказанные особенности дыхания молодых женщин дают основание для пересмотра рекомендуемой частоты дыхания для проведения пробы с ФТД у девушек 16–18 лет – не 6, а 7 или 8 дыхательных циклов в минуту. Этого достаточно для активизации барорефлекса без дополнительного напряжения симпатоадрено-ловой системы. Такой постепенный переход к глубокому и редкому дыханию был бы более физиологичным для многократных дыхательных тренировок с целью снижения эффекта гипервентиляции и гиперреактивности барорефлекса при психоэмоциональных нарушениях [12]. В целом широкий размах значений LF при пробе с ФТД хоть и дает ценную информацию о колебаниях барорефлекторной активности, но ставит под сомнение необходимость использования прироста LF как нормативного показателя при пробе с ФТД у здоровых лиц 16–18 лет. Информативность прироста LF при ФТД как отражения мощности вазомоторного центра может быть более высокой у лиц с клинически выраженным нарушением функций дыхания, сосудистой регуляции (с артериальной гипер- или гипотензией) и проводимости миокарда, что требует дальнейших сравнительных исследований. Существенное снижение процентного вклада VLF-волн в тесте с ФТД и отрицательные корреляционные связи данного показателя с приростом MxRMn отражают сохранность гемодинамического резерва сердца, т. к. нарастание показателя VLF при данном виде пробы может свидетельствовать о сердечной недостаточности [13].

Полученные результаты являются обоснованием для разработки возрастных вариантов нормирования значений MxRMn при пробе с ФТД в различных перцентильных диапазонах у молодых людей с учетом пола, что и предложено в настоящем исследовании. Снижение

показателя MxRMn при ФТД ниже 1,49 мс у юношей и 1,45 мс у девушек 16–18 лет наравне с лицами, у кого не произошло повышения вариационного размаха кардиоинтервалов, отражает риск нарушений вегетативной регуляции кардиореспираторной системы. Возможным ограничением применения полученных результатов может быть отсутствие анализа физической выносливости у молодых

лиц, который будет выполнен на более представительной выборке участников. В перспективе планируются сравнительные исследования вариационного размаха кардиоинтервалов и сердечно-сосудистых параметров у молодых людей в возрасте 16–18 лет с включением группы лиц с ограничениями физической активности и нарушениями кардиореспираторной системы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Гудков А.Б., Попова О.Н., Ефимова Н.В., Смолина В.С., Щербина Ю.Ф., Авдышиоев И.О. Сезонная функциональная организация деятельности системы внешнего дыхания у молодых лиц в Арктической зоне Российской Федерации // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 3. С. 367–372. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z157>
2. Ефимова Н.В., Мыльникова И.В. Оценка кардиогемодинамических показателей у детей Крайнего Севера и Сибири // Экология человека. 2017. № 2. С. 10–16. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2017-2-10-16>
3. Sawyer S.M., Azzopardi P.S., Wickremarathne D., Patton G.C. The Age of Adolescence // Lancet Child Adolesc. Health. 2018. Vol. 2, № 3. P. 223–228. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(18\)30022-1](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(18)30022-1)
4. Sun J., Qiao Y., Zhao M., Magnussen C.G., Xi B. Global, Regional, and National Burden of Cardiovascular Diseases in Youths and Young Adults Aged 15–39 Years in 204 Countries/Territories, 1990–2019: A Systematic Analysis of Global Burden of Disease Study 2019 // BMC Med. 2023. Vol. 21. Art. № 222. <https://doi.org/10.1186/s12916-023-02925-4>
5. Leganes-Fonteneau M., Bates M.E., Muzumdar N., Pawlak A., Islam S., Vaschillo E., Buckman J.F. Cardiovascular Mechanisms of Interoceptive Awareness: Effects of Resonance Breathing // Int. J. Psychophysiol. 2021. Vol. 169. P. 71–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2021.09.003>
6. Кочеткова И.В., Черных Т.М. Влияние ингибитора I_f -каналов на показатели вариабельности ритма сердца у пациентов после аорто-коронарного шунтирования при пробе с фиксированным темпом дыхания // Рос. кардиол. журн. 2017. Т. 22, № 3. С. 91–96. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2017-3-91-96>
7. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца (новый взгляд на старую парадигму). Иваново: Нейрософт, 2017. 516 с.
8. Калабин О.В., Кушкова Н.Е., Спицин А.П. Изменение показателей центральной гемодинамики и вариабельности сердечного ритма у спортсменов-пауэрлифтеров и здоровых добровольцев в условиях управляемого дыхания // Новые исследования. 2012. № 3(32). С. 62–73.
9. Китаева М.А., Русланова С.И. Показатели сердечно-сосудистой системы подростков 11–17 лет с разным типом темперамента // Успехи соврем. естествознания. 2014. № 5. С. 77–80.
10. Патент № 2510621 С1 Российская Федерация, МПК A61B 5/02 (2006.01). Способ комплексной оценки функционального состояния организма при стрессорных воздействиях: № 2013103999/14: заявл. 30.01.2013: опубл. 10.04.2014 / Орлов О.И., Берсенев Е.Ю., Баевский Р.М., Прилуцкий Д.А., Берсенева А.П.
11. Поскотинова Л.В. Вегетативная регуляция ритма сердца и эндокринный статус молодежи в условиях Европейского Севера России. Екатеринбург: Урал. отд-ние РАН, 2010. 232 с.

12. Szulczewski M.T. Training of Paced Breathing at 0.1 Hz Improves CO₂ Homeostasis and Relaxation During a Paced Breathing Task // PLoS One. 2019. Vol. 14, № 6. Art. № e0218550. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218550>

13. Radaelli A., Mancia G., Balestri G., Bonfanti D., Castiglioni P. Respiratory Patterns and Baroreflex Function in Heart Failure // Sci. Rep. 2023. Vol. 13, № 1. Art. № 2220. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29271-y>

References

1. Gudkov A.B., Popova O.N., Efimova N.V., Smolina V.S., Shcherbina Yu.F., Avdyshoev I.O. Seasonal Functional Organization of the External Respiration System in Young People in the Arctic Zone of the Russian Federation. *J. Med. Biol. Res.*, 2023, vol. 11, no. 3, pp. 367–372. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z157>
2. Efimova N.V., Mylnikova I.V. Cardiohemodynamic Assessment of Indicators in Children of the Far North and Siberia. *Hum. Ecol.*, 2017, no. 2, pp. 10–16 (in Russ.). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2017-2-10-16>
3. Sawyer S.M., Azzopardi P.S., Wickremarathne D., Patton G.C. The Age of Adolescence. *Lancet Child Adolesc. Health*, 2018, vol. 2, no. 3, pp. 223–228. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(18\)30022-1](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(18)30022-1)
4. Sun J., Qiao Y., Zhao M., Magnussen C.G., Xi B. Global, Regional, and National Burden of Cardiovascular Diseases in Youths and Young Adults Aged 15–39 Years in 204 Countries/Territories, 1990–2019: A Systematic Analysis of Global Burden of Disease Study 2019. *BMC Med.*, 2023, vol. 21. Art. no. 222. <https://doi.org/10.1186/s12916-023-02925-4>
5. Leganes-Fonteneau M., Bates M.E., Muzumdar N., Pawlak A., Islam S., Vaschillo E., Buckman J.F. Cardiovascular Mechanisms of Interoceptive Awareness: Effects of Resonance Breathing. *Int. J. Psychophysiol.*, 2021, vol. 169, pp. 71–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2021.09.003>
6. Kochetkova I.V., Chernykh T.M. The Influence of I₁-Channel Inhibition on Heart Rate Variability in Patients Post Coronary Bypass Surgery by the Test with Fixed Respiration Tempo. *Russ. J. Cardiol.*, 2017, vol. 22, no. 3, pp. 91–96 (in Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2017-3-91-96>
7. Mikhaylov V.M. *Variabel'nost' ritma serdtsa (novyy vzglyad na staruyu paradigmu)* [Heart Rate Variability (New Look at the Old Paradigm)]. Ivanovo, 2017. 516 p.
8. Kalabin O.V., Kushkova N.E., Spitsin A.P. Izmenenie pokazateley tsentral'noy gemodinamiki i variabel'nosti serdechnogo ritma u sportsmenov-pauerlifterov i zdorovykh dobrovol'tsev v usloviyakh upravlyayemogo dykhaniya [Changes in Central Haemodynamic Parameters and Heart Rate Variability in Powerlifters and Healthy Volunteers During Controlled Breathing]. *Novye issledovaniya*, 2012, no. 3, pp. 62–73.
9. Kitayeva M.A., Rusinova S.I. Pokazateli serdechno-sosudistoy sistemy podrostkov 11–17 let s raznym tipom temperamenta [Indicators of Cardiovascular System of Teenager of 11–17 Years]. *Uspekhi sovremennoego estestvoznaniya*, 2014, no. 5, pp. 77–80.
10. Orlov O.I., Bersenev E.Yu., Baevskij R.M., Prilutskij D.A., Berseneva A.P. *Method for Integrated Assessment of Functional State of Stress Stimulated Body*. Patent RU 2510621 C1, 2013 (in Russ.).
11. Poskotinova L.V. *Vegetativnaya reguljatsiya ritma serdtsa i endokrinnyy status molodezhi v usloviyakh Evropeyskogo Severa Rossii* [Autonomic Heart Rhythm Regulation and Endocrine Status of Young People in the European North of Russia]. Yekaterinburg, 2010. 232 p.
12. Szulczewski M.T. Training of Paced Breathing at 0.1 Hz Improves CO₂ Homeostasis and Relaxation During a Paced Breathing Task. *PLoS One*, 2019, vol. 14, no. 6. Art. no. e0218550. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218550>
13. Radaelli A., Mancia G., Balestri G., Bonfanti D., Castiglioni P. Respiratory Patterns and Baroreflex Function in Heart Failure. *Sci. Rep.*, 2023, vol. 13, no. 1. Art. no. 2220. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29271-y>

Поступила в редакцию 23.07.2025 / Одобрена после рецензирования 03.09.2025 / Принята к публикации 08.09.2025.
Submitted 23 July 2025 / Approved after reviewing 3 September 2025 / Accepted for publication 8 September 2025.

Журнал медико-биологических исследований. 2025. Т. 13, № 4. С. 453–464.
Journal of Medical and Biological Research, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 453–464.



Научная статья
УДК 612.766+611.81
DOI: 10.37482/2687-1491-Z261

Влияние практики релаксации на синхронизацию нейронов коры головного мозга человека при развитии утомления во время локальной работы мышц

Юрий Игоревич Корюкалов* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4897-2613>
Татьяна Владимировна Попова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5060-8132>
Ольга Германовна Коурова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2337-3531>

*Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)
(Челябинск, Россия)

Аннотация. Многочисленные публикации о неблагоприятном влиянии длительной локальной работы мышц на двигательный аппарат и кровообращение свидетельствуют о риске серьезных проблем со здоровьем у лиц, занятых локальным физическим трудом на производстве. Одной из причин низкой эффективности принимаемых в настоящее время профилактических мер является отсутствие конкретных научных данных о центральных механизмах утомительной локальной работы мышц. Цель работы – выявить изменения электроэнцефалографических показателей нейронов коры головного мозга, синхронизирующихся при локальной работе и во время утомления, у здоровых мужчин 21–29 лет с учетом их физической и ментальной тренированности. **Материалы и методы.** Исследование проводилось на базе лаборатории Спортивной науки и лаборатории Психофизической безопасности научно-исследовательского центра Южно-Уральского государственного университета в период с 2023 по 2024 год. В исследовании участвовали практически здоровые мужчины в возрасте от 21 до 29 лет (средний возраст – 24±3 года). Обследуемые были разделены на три группы: спортсмены, занимающиеся ациклическими видами спорта с использованием локальных нагрузок (кикбоксинг, бокс) ($n = 16$); студенты и аспиранты, регулярно занимающиеся релаксацией ($n = 23$); студенты и аспиранты, не занимающиеся ни спортом, ни релаксационными техниками (контроль; $n = 21$). В группе лиц, занимающихся релаксацией, сначала проводилось обучение с опытным инструктором, а в дальнейшем испытуемые выполняли упражнения самостоятельно при прослушивании аудиозаписей. Изучались процессы синхронизации альфа-ритма на электроэнцефалограммах (ЭЭГ) при утомительной локальной нагрузке на кистевом эргографе. Все измерения проводились в межсессионный и межсоревновательный периоды. **Результаты.** Выявлены изменения показателей ЭЭГ, которые свидетельствуют об ослаблении процессов син-

© Корюкалов Ю.И., Попова Т.В., Коурова О.Г., 2025

Ответственный за переписку: Татьяна Владимировна Попова, адрес: 454080, г. Челябинск, просп. Ленина, д. 76; e-mail: tvopopova@susu.ru

хронизации и повышении уровня функционального напряжения у всех испытуемых при локальной нагрузке, особенно выраженные изменения отмечены в контрольной группе. Несмотря на то, что у спортсменов после локальной нагрузки восстановление показателей синхронизации происходило быстрее, чем у контрольной группы, релаксация также нормализовывала показатели синхронизации на ЭЭГ и приводила к повышению работоспособности при длительной локальной работе мышц. Таким образом, релаксация является эффективным и более доступным по временным и финансовым затратам, по сравнению со спортом, способом воздействия на функциональное состояние центральной нервной системы, что позволяет рекомендовать ее как профилактическое средство развития профессиональных заболеваний у лиц, чей труд связан с локальными мышечными нагрузками.

Ключевые слова: синхронизация альфа-ритма, релаксация, локальная мышечная деятельность, функциональное напряжение, профилактика профессиональных заболеваний, коррекция функционального состояния, утомление при мышечной работе

Для цитирования: Корюкалов, Ю. И. Влияние практики релаксации на синхронизацию нейронов коры головного мозга человека при развитии утомления во время локальной работы мышц / Ю. И. Корюкалов, Т. В. Попова, О. Г. Коурова // Журнал медико-биологических исследований. – 2025. – Т. 13, № 4. – С. 453-464. – DOI 10.37482/2687-1491-Z261.

Original article

Effect of Relaxation Practice on Neuronal Synchronization in the Human Cerebral Cortex During the Development of Fatigue at Local Muscle Work

Yury I. Koryukalov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4897-2613>

Tatiana V. Popova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5060-8132>

Olga G. Kourova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2337-3531>

*South Ural State University (National Research University)
(Chelyabinsk, Russia)

Abstract. Numerous publications about the adverse effects of prolonged local muscle work on the musculoskeletal system and blood circulation point out a risk of serious health problems in individuals whose work involves local muscle load. One of the reasons behind the low efficiency of the current preventive measures is the lack of concrete scientific data on the central mechanisms of fatiguing local muscle work. The **purpose** of the study was to investigate changes in the electroencephalographic parameters during neuronal synchronization at prolonged local muscle work and fatigue in healthy men aged between 21 and 29 years, taking into account their physical and mental fitness. **Materials and methods.** The research was conducted at the Sport Science Laboratory and Psychophysical Safety Laboratory, Research Centre, South Ural State University, in 2023–2024. The study involved apparently healthy men aged 21 to 29 years (mean age 24 ± 3 years). The subjects were divided into three groups: athletes doing acyclic sports using local loads (kickboxing and boxing) ($n = 16$), students and postgraduate students regularly doing relaxation practice ($n = 23$) and students and postgraduates doing neither sports nor

Corresponding author: Tatiana Popova, address: prosp. Lenina 76, Chelyabinsk, 454080, Russia;
e-mail: tvpopova@susu.ru

relaxation exercises (control; $n = 21$). The relaxation group initially received training from an experienced instructor and continued to practice the techniques independently while listening to audio recordings. EEG alpha synchronization was studied during fatiguing local loads using a hand ergograph. All measurements were performed during intersession and between competitions. **Results.** Changes in EEG parameters were identified, indicating a weakening of synchronization processes and an increase in the level of functional stress in all subjects during local load; especially pronounced changes were observed in the control group. Although the athletes recovered from the local load faster than the controls, relaxation was also found to normalize EEG synchronization parameters and lead to increased performance during prolonged local muscle work. Thus, relaxation is an effective as well as more affordable and less time-consuming, compared to sports, way of influencing the functional state of the central nervous system and can be recommended as a preventive measure against the development of occupational diseases in people whose work involves local muscle load.

Keywords: *alpha synchronization, relaxation, local muscle activity, functional stress, occupational disease prevention, functional state correction, fatigue due to muscle work*

For citation: Koryukalov Yu.I., Popova T.V., Kourova O.G. Effect of Relaxation Practice on Neuronal Synchronization in the Human Cerebral Cortex During the Development of Fatigue at Local Muscle Work. *Journal of Medical and Biological Research*, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 453–464. DOI: 10.37482/2687-1491-Z261

Профилактика нарушений здоровья в современных условиях трудовой деятельности должна основываться не только на определении степени вредности и опасности условий труда, его тяжести и напряженности, но и на выявлении профессиональных рисков, возможности возникновения профессиональных заболеваний [1]. Такие заболевания сопряжены со значительными затратами на лечение, невыходами на работу и инвалидизацией, что определяет актуальность их изучения в связи с неблагоприятными производственными факторами для разработки профилактических мероприятий [2, 3].

В зависимости от величины мышечной массы, необходимой для выполнения той или иной работы, физическую нагрузку человека принято подразделять на три вида: локальная, региональная и общая (глобальная). В научной литературе приводятся детальные характеристики общих нагрузок: критерии тяжести, напряженности, интенсивности труда [4–6]. Менее исследованные, но более распространенные локальные нагрузки, в т. ч. ручной труд, зачастую сопровождаются напряжением зрительного анализатора, психоэмоциональным напряжением. Известно, что чем меньше мышц занято в работе, тем быстрее развивается утомление, а оно приводит к выраженным

функциональным изменениям в организме [7]. В физиологии известны факты неблагоприятного влияния длительных локальных нагрузок, особенно в изометрическом режиме, на опорно-двигательный аппарат и сердечно-сосудистую систему, в т. ч. на развитие гипертензивных состояний [8, 9]. Эти факты объясняются действием центральных механизмов. Показано, что интенсивность аутогенного торможения спинальных альфа-мотонейронов понижается при увеличении силы изометрического сокращения мышц и возрастает при длительном выполнении значительного по величине изометрического напряжения с развитием утомления. Установлена также зависимость процесса аутогенного торможения альфа-мотонейронов спинного мозга от эфферентных сигналов из головного мозга и мощности афферентных сигналов от сухожильных рецепторов [10, 11].

В предыдущем исследовании мы также показали [12], что гипертензивная реакция сердечно-сосудистой системы на локальную работу мышц у операторов токарных станков связана с функциональным напряжением центральной нервной системы, а релаксация снижает его и способствует восстановлению функционального состояния сердца и сосудов.

Однако физиологические основы центральных механизмов адаптационных реакций на локальные нагрузки до сих пор исследованы лишь частично. В то же время существует необходимость разработки средств профилактики неблагоприятных физиологических изменений, связанных с регулярными локальными нагрузками на производстве. В этом отношении представляет интерес недостаточно изученный процесс синхронизации биотоков нейронов, в т. ч. обеспечивающих локальную мышечную деятельность. Обзор научных трудов показал, что не существует единой формулировки понятия «синхронизация», и это подтверждает необходимость дальнейшего исследования данных процессов. Так, работы [13, 14] продемонстрировали, что синхронизация биоэлектрических процессов возможна на основе формирования как линейных (когерентность), так и нелинейных (совместная фрактальная размерность) связей между пространственно разделенными нейронными сетями, вовлеченными в выполнение задания.

Для научного обоснования системы профилактики профессиональных заболеваний при длительной локальной работе мышц необходимы как детальные исследования центральных механизмов самой локальной работы, так и поиск средств коррекционного воздействия на эти механизмы.

Цель исследования – выявить изменения электроэнцефалографических показателей нейронов коры головного мозга, синхронизирующихся при локальной работе и во время утомления, у здоровых мужчин 21–29 лет с учетом их физической и ментальной тренированности.

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе лаборатории Спортивной науки и лаборатории Психофизической безопасности научно-исследовательского центра Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ) в период с 2023 по 2024 год. Дизайн эксперимента соответствовал требованиям Хельсинкской декларации (редакция 2013 года) и был одобрен этическим комитетом ЮУрГУ (протокол № 7 от 20.10.2023). Соблюдалась кон-

фиденциальность сведений об участниках. От всех обследуемых получено информированное согласие. Гипотеза исследования заключалась в предположении о благотворном влиянии занятий спортом и релаксацией на восстановительные процессы после локальной мышечной нагрузки и повышении выносливости у данных лиц.

В эксперименте участвовали практически здоровые мужчины в возрасте от 21 до 29 лет (средний возраст – 24 ± 3 года), проживавшие в нормальных условиях. Они были разделены на три группы. Первую составили спортсмены высокой квалификации (кандидаты в мастера спорта и мастера спорта), занимающиеся ациклическими видами спорта (кикбоксинг, бокс) с использованием локальных нагрузок ($n = 16$). Вторую – студенты и аспиранты ЮУрГУ, регулярно занимающиеся релаксационными упражнениями ($n = 23$). В данной группе сначала проводилось обучение с опытным инструктором, а в дальнейшем обследуемые выполняли упражнения самостоятельно при прослушивании аудиозаписей. Они располагались в удобных креслах, с закрытыми глазами и концентрировали внимание на определенных точках в организме или пространстве. При усвоении курса занятий испытуемые получали навыки расслабления мышц, достижения состояния покоя, тепла, комфорта, концентрации внимания, изменения дыхания. С помощью прибора «Миотон» (Mioton, Эстония) подтверждался сам факт расслабления. Занятия проводились на протяжении полугода ежедневно в лабораторных или домашних условиях в течение 5–7 мин в сутки. В день записи электроэнцефалограммы (ЭЭГ) занятия релаксацией не проводились. Третья группа являлась контрольной. В нее вошли студенты и аспиранты, не занимающиеся ни спортом, ни релаксационными техниками ($n = 21$). Данные группы были выделены для исследования влияния физической (спорт) и ментальной (практика релаксации) тренированности на процессы синхронизации нейронов коры и их действия на работу центральной нервной системы при локальной нагрузке до утомления. Все испытуемые находились примерно

в аналогичных условиях жизнедеятельности: спортсмены – в подготовительном периоде, занимающиеся релаксацией и нетренированные – в межсессионном периоде.

При помощи электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр» (ООО «Нейрософт», Россия) осуществлялась регистрация ЭЭГ с 16 чашечных электродов, расположенных в основных отведениях (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4, O1, O2), с настройками чувствительности 70 мкВ/мм и скоростью развертки 30 мм/с, на мочках ушей закреплялись индифферентные электроды A1 и A2. Регистрация ЭЭГ производилась в состоянии покоя с открытыми глазами (фон, 10 мин) и при функциональных пробах (локальная нагрузка до 3 мин и восстановительный период 5 мин). Запись была автоматически просканирована на наличие артефактов, которые устранились с помощью регрессионной процедуры, применяемой в комплексе с методом независимых компонент [15], а также при визуальном выборе эпох для анализа. Помимо основных показателей альфа-ритма, в выявленных нами паттернах синхронизации [16] дополнительно анализировались показатели периодичности паттернов, тип паттерна синхронизации, а также показатели альфа-ритма в самих паттернах.

Для локальной нагрузочной пробы со статическим напряжением использовался кистевой динамометр ДК-50 («МедТехника», Россия). Для моделирования локальных изометрических напряжений испытуемые сжимали кистью динамометр с усилием в 1/3 от максимального и удерживали усилие на данном уровне до появления утомления, что, как показали наши ранние исследования [16], обеспечивало адекватную нагрузку. В литературе она используется как показатель статической выносливости кисти.

Для компьютерного анализа производился отбор эпох по 2,5 с, что позволило избежать влияния глазных и мышечных артефактов на спектральные показатели альфа-ритма (7,5–13 Гц) ЭЭГ, в основном в отведениях C3–C4. Компьютерный анализ ЭЭГ включал периодометрический и спектральный анализ, проводившийся с помо-

щью быстрого преобразования Фурье. Полученные данные обрабатывались с использованием программ Statistica 6.0 и SPSS. Рассчитывались среднее арифметическое (M) упорядоченной выборки, стандартная ошибка среднего (m) и t -распределение Стьюдента. Предварительная проверка нормальности распределения производилась при помощи критерия Колмогорова–Смирнова. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез для всех переменных принимался равным 0,05.

Результаты. Спектральный анализ альфа-активности испытуемых показал, что на протяжении всей ЭЭГ можно выделить эпохи, в которых отмечается синхронизация на одной доминирующей частоте альфа-ритма в 50–100 % отведений. В определенных наборах отведений (8–10 отведений) при этом периодически появлялся рисунок ЭЭГ, т. е. паттерн синхронизации, который носил индивидуальный характер для конкретного испытуемого.

Анализировались как традиционно используемые критерии паттернов: индекс ритма, частота, амплитуда, мощность, межполушарная асимметрия, так и дополнительно предложенные нами показатели их периодичности, например продолжительность интервала между паттернами, которая составляла в среднем от 20 до 40 с. В состоянии покоя (фоновая регистрация ЭЭГ) у испытуемых контрольной группы выявлены наиболее низкие значения основных показателей синхронизации (см. таблицу, с. 458) по сравнению со спортсменами и лицами, практикующими релаксацию.

Общими закономерностями ЭЭГ-изменений при развитии утомления в процессе выполнения пробы с локальной нагрузкой явились увеличение интервалов между паттернами синхронизации, снижение доминирующей частоты альфа-ритма и повышение амплитуды, что свидетельствует об ослаблении процессов синхронизации. Более низкие показатели межполушарной асимметрии по мощности альфа-ритма при нагрузке по сравнению с группой контроля отмечались у спортсменов, что, вероятно, связано с характером их тренировочной нагрузки.

**Изменение показателей альфа-ритма ЭЭГ
(по отведениям C3–C4) у практически здоровых
мужчин в пробе с локальной нагрузкой, $M \pm m$**

**Changes in EEG alpha parameters (leads C3–C4)
in apparently healthy men in a local load test, $M \pm m$**

Группа	Фон	Нагрузка	Восстановление
<i>Доминирующая частота, Гц</i>			
Контроль	9,9 \pm 0,5	8,3 \pm 0,4*	9,6 \pm 0,4**
Спорт	9,8 \pm 0,4	8,6 \pm 0,4*	10,2 \pm 0,2**
Релаксация	10,0 \pm 0,6	8,5 \pm 0,3*	9,6 \pm 0,4**
<i>Амплитуда, мкВ</i>			
Контроль	12,2 \pm 3,1	21,1 \pm 3,8*	16,2 \pm 2,8
Спорт	19,3 \pm 3,4 [^]	31,3 \pm 4,3* [^]	23,3 \pm 3,9 [^]
Релаксация	21,4 \pm 4,6 [^]	26,4 \pm 3,6	19,1 \pm 4,1
<i>Индекс ритма, %</i>			
Контроль	14,7 \pm 2,9	19,3 \pm 3,2	18,2 \pm 2,8
Спорт	25,6 \pm 4,5 [^]	31,4 \pm 4,3 [^]	34,4 \pm 3,4* [^]
Релаксация	30,4 \pm 3,6 [^]	21,2 \pm 3,6*	24,2 \pm 3,2
<i>Межполушарная асимметрия, %</i>			
Контроль	17,2 \pm 1,9	28,2 \pm 3,1*	21,3 \pm 2,6**
Спорт	14,6 \pm 2,4	24,8 \pm 2,6*	14,1 \pm 1,7** [^]
Релаксация	13,1 \pm 2,3 [^]	25,5 \pm 2,4*	14,6 \pm 2,3** [^]
<i>Длительность интервалов между паттернами, с</i>			
Контроль	22,4 \pm 3,8	18,6 \pm 2,6	16,4 \pm 3,9*
Спорт	13,1 \pm 2,6 [^]	14,3 \pm 3,4	9,2 \pm 2,2* [^]
Релаксация	12,3 \pm 2,9 [^]	15,4 \pm 2,8	14,1 \pm 3,4

Примечание. Установлены статистически значимые различия ($p < 0,05$): * – с фоновой регистрацией; ** – с локальной нагрузкой; [^] – с контрольной группой.

При нагрузке у спортсменов и лиц, практикующих релаксацию, в паттернах синхронизации на ЭЭГ (см. таблицу) также наблюдалось снижение доминирующей частоты альфа-ритма (с 9,8 до 8,6 Гц и с 10,0 до 8,5 Гц соответственно) с последующим восстановлением после нагрузки. Высокие значения индекса альфа-ритма выявлялись в префронтально-центральных отведениях ЭЭГ.

У всех испытуемых во время локальной работы зафиксировано также усиление тета-активности (рис. 1а, 2а). При этом наблюдались этапы

перехода из частотного диапазона альфа-ритма в тета-диапазон и обратно с ростом мощности тета-ритма, совпадавшим с первыми субъективными признаками утомления, которые у спортсменов появлялись позже, чем у испытуемых других групп. У контрольной группы первые признаки утомления наблюдались раньше, чем у спортсменов и практикующих релаксацию.

При локальной нагрузке во время развития утомления у спортсменов и лиц, практикующих релаксацию, отмечалась выраженная активность лобно-центральных отделов коры головного мозга с синхронизацией альфа-ритма. Характерно, что время выполнения пробы с локальной нагрузкой до утомления у спортсменов в среднем было больше (123,0 \pm 5,1 с), чем у лиц, практикующих релаксацию (109,0 \pm 6,8 с), и контрольной группы (106,0 \pm 6,2 с).

В период восстановления после локальной нагрузки у большинства испытуемых всех групп отмечалось усиление периодичности синхронизации (уменьшение интервалов между паттернами). При этом наблюдалось увеличение доминирующей частоты альфа-ритма, на которой формировались паттерны синхронизации, до 10,0 \pm 0,4 Гц. Наименьшие значения интервалов между паттернами с первой минуты восстановительного периода отмечены у спортсменов (см. таблицу), т. е. периодичность синхронизации у них повышалась. В группе практикующих релаксацию значения интервалов также уменьшались, но неравномерно, чередуясь с периодами повышения. Таким образом, при восстановлении после выполнения локальной мышечной работы, судя по уменьшению интервалов, периодичность паттернов у большинства испытуемых увеличивалась. Наибольшая скорость восстановления периодичности паттернов до исходной отмечена у спортсменов и лиц, практикующих релаксацию.

В восстановительный период (рис. 1б, 2б) у большинства спортсменов и практикующих релаксацию наблюдалось снижение мощности тета-ритма и увеличение мощности альфа-ритма. При этом был отмечен переход доминирующей медленной активности с тета- на альфа-диапазон. Во всех группах пик мощности

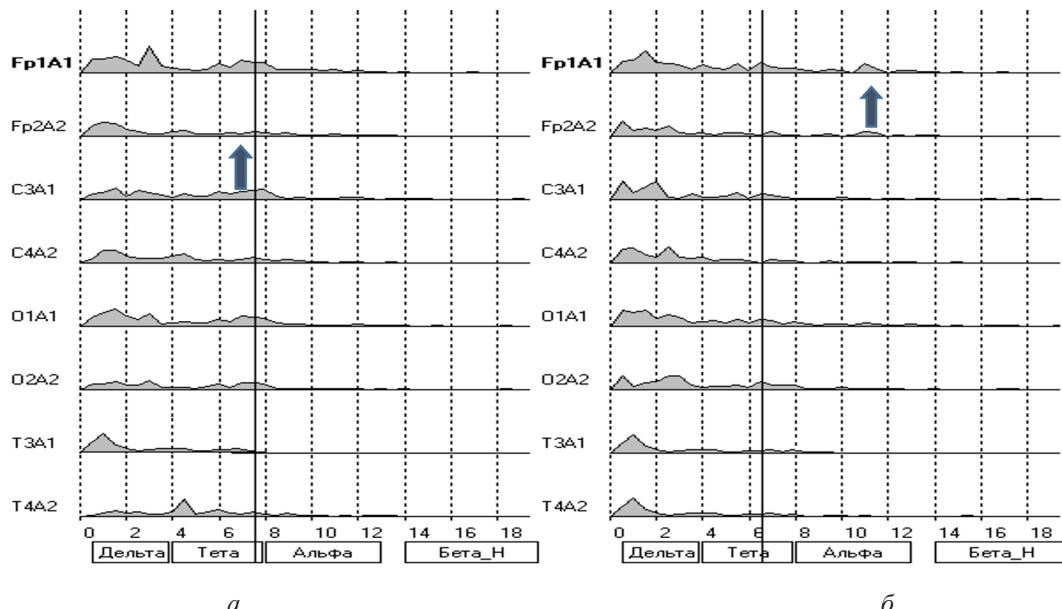


Рис. 1. Пример увеличения мощности низкочастотного альфа- и тета-ритмов при локальной нагрузке (а) и роста мощности высокочастотного альфа-ритма восстановительный период (б) у спортсменов. Масштаб мощности спектра М:2. Стрелками отмечены пик мощности тета-ритма (6,4–6,6 Гц) и пик мощности высокочастотного альфа-ритма (10,8–11,0 Гц)

Fig. 1. Example of an increase in the power of low-frequency alpha and theta rhythms under local load (a) and an increase in the power of high-frequency alpha rhythm during the recovery period (б) in athletes. Spectrum power scale M:2. Arrows indicate peak power of the theta rhythm (6.4–6.6 Hz) and peak power of the high-frequency alpha rhythm (10.8–11.0 Hz)

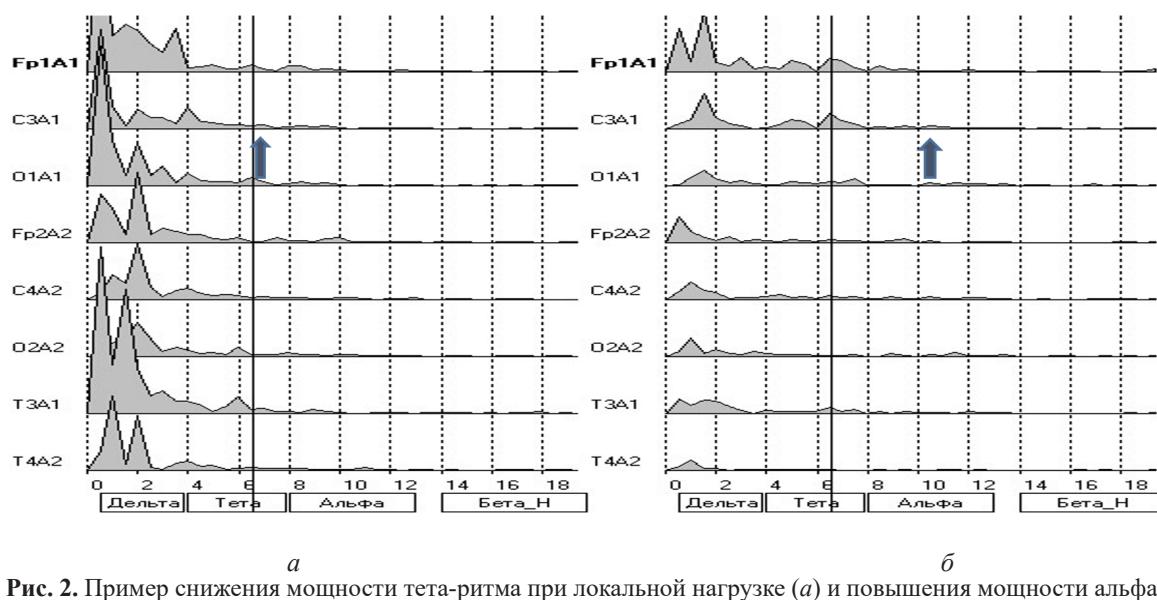


Рис. 2. Пример снижения мощности тета-ритма при локальной нагрузке (а) и повышения мощности альфа-ритма в восстановительный период (б) у лиц, практикующих релаксацию. Масштаб мощности спектра М:2

Fig. 2. Example of a decrease in theta rhythm power under local load (a) and an increase in alpha rhythm power during the recovery period (б) in individuals practicing relaxation. Spectrum power scale M:2

приходился на среднечастотный альфа-ритм (9,5–10,5 Гц). У спортсменов отмечалось два пика альфа-ритма в восстановительный период – $8,4 \pm 0,2$ и $10,5 \pm 0,3$ Гц.

У спортсменов при восстановлении после нагрузки чаще, чем у нетренированных испытуемых, наблюдалось повышение индекса альфа-ритма с преобладанием альфа-активности в передних отделах обоих полушарий, в отличие от лиц, практикующих релаксацию, у которых она доминировала в центральных отделах.

Таким образом, при локальной нагрузке у спортсменов и практикующих релаксацию отмечались рост мощности тета- и альфа-ритма, увеличение интервалов между паттернами и уменьшение доминирующей частоты альфа-ритма. В восстановительный период у спортсменов и практикующих релаксацию наблюдалось увеличение индекса альфа-ритма и его доминирующей частоты, уменьшение интервалов между паттернами, что обеспечивало более быстрое восстановление исходных показателей, в отличие от контрольной группы. Такие изменения процессов синхронизации сопровождались увеличением показателя продолжительности работы до утомления, т. е. высокой эффективностью работы.

Обсуждение. Результаты нашего исследования выявили различия в показателях синхронизации при локальной мышечной нагрузке у испытуемых всех групп. Состояние усталости у спортсменов и людей, занимающихся релаксацией, наступало позже, чем у группы контроля, общее время выполнения пробы было наибольшим у спортсменов, а наименьшим у группы контроля. Эти факты свидетельствуют о возможности адаптации к длительной локальной деятельности.

Наши данные подтверждают, что при развитии утомления во время локальной мышечной деятельности превалируют центральные механизмы регуляции [17]. Так, в предыдущей работе [12] мы получили факты достоверного роста индекса напряжения регуляции сердечно-гого ритма по Р.М. Баевскому [18] у испытуемых

разного возраста при локальной нагрузке. При этом был отмечен выраженный рост артериального давления, особенно диастолического. Эти факты также говорят о том, что утомительные локальные нагрузки вызывают повышение функционального напряжения, а их длительное воздействие может приводить к нарушениям психофизического состояния организма.

Полученные нами данные также свидетельствуют, что синхронизация биотоков нейронов является одним из основных рабочих механизмов регуляции функциональных состояний. Наши исследования подтвердили, что информативными диагностическими критериями паттернов синхронизации являются: доминирующая частота альфа-ритма, мощность, индекс альфа-ритма, а также показатели периодичности паттернов, межполушарной асимметрии, характера веретен. Так, при локальной нагрузке низкая периодичность, снижение доминирующей частоты альфа-ритма, увеличение межполушарной асимметрии, появление тета-ритма на ЭЭГ и высокая скорость развития утомления свидетельствуют об ослаблении процессов синхронизации. В совокупности данные изменения являются признаками высокой степени функционального напряжения в центральной нервной системе [19].

Наши данные показывают, что функциональное напряжение связано с нарушением процессов синхронизации между удаленными участками коры (лобно-центральными и лобно-затылочными) головного мозга. Авторы, исследующие влияние длительных локальных нагрузок на организм, отмечают, что они являются причиной развития нарушений в опорно-двигательном аппарате и сердечно-сосудистой системе, что обусловлено центральными механизмами [8, 20–22] и, по-видимому, нарушением процессов синхронизации. Используемые в настоящее время средства профилактики этих заболеваний, такие как гимнастика, улучшение эргономических условий на производстве, рационализация режимов труда и отдыха, пока не приводят к полному решению данной проблемы.

Результаты нашего исследования показали, что функциональное напряжение, возникающее при локальной мышечной деятельности, связано с нарушением процессов синхронизации в центральной нервной системе. Эффективным средством коррекции могут стать релаксационные упражнения, способствующие восстановлению параметров синхронизации. По данным [23, 24], релаксационные средства приводят к повышению работоспособности и улучшению функционального состояния центральной нервной и сердечно-сосудистой систем [25], что позволяет рекомендовать их для

профилактики развития профессиональных заболеваний.

Существует необходимость дальнейшего детального изучения механизмов воздействия релаксации на процессы синхронизации и функциональное состояние организма [26]. Также, вероятно, стоит уделить внимание исследованию механизмов комбинированного влияния физических и релаксационных упражнений на процессы синхронизации при коррекции функционального состояния как практически здоровых людей, так и лиц с функциональными нарушениями центральной нервной системы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Латышевская Н.И., Алборова М.А., Давыденко Л.А., Филатов Б.Н. Условия труда и распространность скелетно-мышечных болей у станочников по металлообработке // Медицина труда и пром. экология. 2022. Т. 61, № 1. С. 53–58. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-1-53-58>
2. Подчуфарова Е.В. Боль в пояснице: организация лечения пациентов в Великобритании // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2014. Т. 6, № 2. С. 75–80. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2014-2-75-80>
3. Черникова Е.Ф., Трошин В.В., Некрасова М.М., Зуев А.В. Профессиональная обусловленность формирования болезней костно-мышечной системы у инспекторов ГИБДД // Медицина труда и пром. экология. 2019. Т. 1, № 10. С. 899–904. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-10-899-904>
4. Шерстюк С.А., Асеева А.Ю., Шерстюк М.А. Новые аспекты оценки адаптации к физическим нагрузкам: физиологически спортивное сердце и трансмитральный кровоток в условиях аэробно-анаэробного метаболизма мышечной деятельности // Междунар. науч.-исслед. журн. 2020. № 8-2(98). С. 80–86. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.98.8.048>
5. Alhumaid W., Small S.D., Kirkham A.A., Becher H., Pituskin E., Prado C.M., Thompson R.B., Haykowsky M.J., Paterson D.I. A Contemporary Review of the Effects of Exercise Training on Cardiac Structure and Function and Cardiovascular Risk Profile: Insights from Imaging // Front. Cardiovasc. Med. 2022. Vol. 9. Art. № 753652. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.753652>
6. Montero D., Roche E., Martinez-Rodriguez A. The Impact of Aerobic Exercise Training on Arterial Stiffness in Pre- and Hypertensive Subjects: A Systematic Review and Meta-Analysis // Int. J. Cardiol. 2014. Vol. 173, № 3. P. 361–368. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2014.03.072>
7. Brouwer N.P., Kingma I., van Dijk W., van Dieën J.H. Can Intermittent Changes in Trunk Extensor Muscle Length Delay Muscle Fatigue Development? // J. Biomech. 2024. Vol. 162. Art. № 111881. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.111881>
8. Choi H.-M., Stebbins C.L., Lee O.-T., Nho H., Lee J.-H., Chun J.-M., Kim K.-A., Kim J.-K. Augmentation of the Exercise Pressor Reflex in Prehypertension: Roles of the Muscle Metaboreflex and Mechanoreflex // Appl. Physiol. Nutr. Metab. 2013. Vol. 38, № 2. P. 209–215. <https://doi.org/10.1139/apnm-2012-0143>
9. Bosch T., de Looze M.P., van Dieën J.H. Development of Fatigue and Discomfort in the Upper Trapezius Muscle During Light Manual Work // Ergonomics. 2007. Vol. 50, № 2. P. 161–177. <https://doi.org/10.1080/00140130600900282>
10. Rivera-Oliver M., Moreno E., Álvarez-Bagnarol Y., Ayala-Santiago C., Cruz-Reyes N., Molina-Castro G.C., Clemens S., Canela E.I., Ferré S., Casadó V., Díaz-Ríos M. Adenosine A₁-Dopamine D₁ Receptor Heteromers Control

the Excitability of the Spinal Motoneuron // Mol. Neurobiol. 2019. Vol. 56, № 2. P. 797–811. <https://doi.org/10.1007/s12035-018-1120-y>

11. Челноков А.А., Роцина Л.В., Гладченко Д.А., Пивоварова Е.А., Пискунов И.В., Городничев Р.М. Эффект чрескожной электрической стимуляции спинного мозга на функциональную активность спинального торможения в системе мышц-синаергистов голени у человека // Физиология человека. 2022. Т. 48, № 2. С. 14–27. <https://doi.org/10.31857/S0131164622020035>

12. Kourova O.G., Popova T.V., Koryukalov Y.I. Body Response to Local Muscular Performance of Individuals Engaged in Various Professional Occupations // Occup. Dis. Environ. Med. 2014. Vol. 2, № 3. P. 71–75. <https://doi.org/10.4236/odem.2014.23008>

13. Ливанов М.Н., Хризман Т.П. Пространственно-временная организация биопотенциалов мозга у человека // Естественнонаучные основы психологии. М.: сб. ст. / под ред. А.А. Смирнова и др. Педагогика, 1978. С. 206–233.

14. Li H., Yao R., Xia X., Yin G., Deng H., Yang P. Adjustment of Synchronization Stability of Dynamic Brain-Networks Based on Feature Fusion // Front. Hum. Neurosci. 2019. Vol. 13. Art. № 98. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00098>

15. Mannan M.M.N., Jeong M.Y., Kamran M.A. Hybrid ICA – Regression: Automatic Identification and Removal of Ocular Artifacts from Electroencephalographic Signals // Front. Hum. Neurosci. 2016. Vol. 10. Art. № 193. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00193>

16. Popova T., Koryukalov Yu., Erlikh V., Kourova O. Neurophysiological Analysis of Adaptation Processes Rhythmicity in Athletes and Subjects Who Practice Relaxation: Experimental Study // Med. Sport. 2020. Vol. 73, № 4. P. 610–625. <https://doi.org/10.23736/S0025-7826.20.03414-6>

17. Попова Т.В., Корюкалов Ю.И., Марокко Д.А. Центральные механизмы утомления при локальной мышечной деятельности статического характера // Физиология человека. 2007. Т. 33, № 4. С. 95–100. <https://doi.org/10.1134/S0362119707040135>

18. Баранов В.М., Баевский Р.М., Берсенева А.П., Михайлов В.М. Оценка адаптационных возможностей организма и задачи повышения эффективности здравоохранения // Экология человека. 2004. № 6. С. 25–29.

19. Дик О.Е., Святогор И.А., Резникова Т.Н., Федоряка Д.А., Ноздрачев А.Д. Анализ паттернов ЭЭГ у лиц с паническими атаками // Физиология человека. 2020. Т. 46, № 2. С. 63–75. <https://doi.org/10.31857/S0131164620010063>

20. Alonge P., Gadaleta G., Urbano G., Lupica A., Di Stefano V., Brighina F., Torrente A. The Role of Brain Plasticity in Neuromuscular Disorders: Current Knowledge and Future Prospects // Brain Sci. 2024. Vol. 14, № 10. Art. № 971. <https://doi.org/10.3390/brainsci14100971>

21. Meeusen R., Watson P., Hasegawa H., Roelands B., Piacentini M.F. Central Fatigue: The Serotonin Hypothesis and Beyond // Sports Med. 2006. Vol. 36, № 10. P. 881–909. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636100-00006>

22. Орел В.Р., Тамбовцева Р.В., Шитя А.А., Гацунаев А.Н. Изменения показателей центральной гемодинамики и сосудистой нагрузки сердца у лучников при моделировании натяжения лука // Вестн. новых мед. технологий. 2015. Т. 22, № 3. С. 102–107.

23. Гримак Л.П. Психология активности человека: психологические механизмы и приемы саморегуляции. М.: ЛИБРОКОМ, 2010. 366 с.

24. Рожков В.П., Трифонов М.И., Сороко С.И. Отражение процесса созревания ЦНС у детей и подростков северного региона РФ в динамике интегральных параметров ЭЭГ // Журн. высш. нерв. деятельности. 2021. Т. 71, № 4. С. 529–546. <https://doi.org/10.31857/S0044467721040067>

25. Warfield E., Esposito P., Braun-Trocchio R. Differences in Relaxation and Imagery Among NCAA Division I Sport Types // Sports (Basel). 2023. Vol. 11, № 11. Art. № 224. <https://doi.org/10.3390/sports11110224>

26. Долецкий А.Н., Хвастунова И.В., Ахундова Р.Е., Мигулина А.А. Нейрофизиологические механизмы реализации немедикаментозной релаксации // Вестн. Волгогр. гос. мед. ун-та. 2013. № 1(45). С. 114–118.

References

1. Latyshevskaya N.I., Alborova M.A., Davydenko L.A., Filatov B.N. Working Conditions and Prevalence of Musculoskeletal Pain in Metalworking Machine Operators. *Meditina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2022, vol. 62, no. 1, pp. 53–58 (in Russ.). <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-1-53-58>

2. Podchufarova E.V. Lumbosacral Pain: Delivery of Care to Patients in the United Kingdom. *Neurol. Neuropsychiatry Psychosom.*, 2014, vol. 6, no. 2, pp. 75–80 (in Russ.). <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2014-2-75-80>

3. Chernikova E.F., Troshin V.V., Nekrasova M.M., Zuev A.V. Professional Conditioning of the Formation of Diseases of the Musculoskeletal System in Traffic Police Inspectors. *Meditina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 1, no. 10, pp. 899–904 (in Russ.). <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-10-899-904>
4. Sherstyuk S.A., Aseeva A.Yu., Sherstyuk M.A. Novye aspekty otsenki adaptatsii k fizicheskim nagruzкам: fiziologicheski sportivnoe serdtse i transmitral'nyy krovotok v usloviyakh aerobno-anaerobnogo metabolizma myshechnoy deyatel'nosti [New Aspects of Assessment of Adaptation to Physical Exertion: Athlete's Heart and Transmitral Blood Flow in the Conditions of Aerobic-Anaerobic Metabolism of Muscle Activity]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2020, no. 8-2, pp. 80–86. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.98.8.048>
5. Alhumaid W., Small S.D., Kirkham A.A., Becher H., Pituskin E., Prado C.M., Thompson R.B., Haykowsky M.J., Paterson D.I. A Contemporary Review of the Effects of Exercise Training on Cardiac Structure and Function and Cardiovascular Risk Profile: Insights from Imaging. *Front. Cardiovasc. Med.*, 2022, vol. 9. Art. no. 753652. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.753652>
6. Montero D., Roche E., Martinez-Rodriguez A. The Impact of Aerobic Exercise Training on Arterial Stiffness in Pre- and Hypertensive Subjects: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Cardiol.*, 2014, vol. 173, no. 3, pp. 361–368. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2014.03.072>
7. Brouwer N.P., Kingma I., van Dijk W., van Dieën J.H. Can Intermittent Changes in Trunk Extensor Muscle Length Delay Muscle Fatigue Development? *J. Biomech.*, 2024, vol. 162. Art. no. 111881. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.111881>
8. Choi H.-M., Stebbins C.L., Lee O.-T., Nho H., Lee J.-H., Chun J.-M., Kim K.-A., Kim J.-K. Augmentation of the Exercise Pressor Reflex in Prehypertension: Roles of the Muscle Metaboreflex and Mechanoreflex. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 2013, vol. 38, no. 2, pp. 209–215. <https://doi.org/10.1139/apnm-2012-0143>
9. Bosch T., de Looze M.P., van Dieën J.H. Development of Fatigue and Discomfort in the Upper Trapezius Muscle During Light Manual Work. *Ergonomics*, 2007, vol. 50, no. 2, pp. 161–177. <https://doi.org/10.1080/00140130600900282>
10. Rivera-Oliver M., Moreno E., Álvarez-Bagnarol Y., Ayala-Santiago C., Cruz-Reyes N., Molina-Castro G.C., Clemens S., Canela E.I., Ferré S., Casadó V., Díaz-Ríos M. Adenosine A₁-Dopamine D₁ Receptor Heteromers Control the Excitability of the Spinal Motoneuron. *Mol. Neurobiol.*, 2019, vol. 56, no. 2, pp. 797–811. <https://doi.org/10.1007/s12035-018-1120-y>
11. Chelnokov A.A., Roshchina L.V., Gladchenko D.A., Pivovarova E.A., Piskunov I.V., Gorodnichev R.M. The Effect of Transcutaneous Electrical Spinal Cord Stimulation on the Functional Activity of Spinal Inhibition in the System of Synergistic Muscles of the Lower Leg in Humans. *Hum. Physiol.*, 2022, vol. 48, no. 2, pp. 121–133. <https://doi.org/10.1134/S0362119722020037>
12. Kourova O.G., Popova T.V., Koryukalov Yu.I. Body Response to Local Muscular Performance of Individuals Engaged in Various Professional Occupations. *Occup. Dis. Environ. Med.*, 2014, vol. 2, no. 3, pp. 71–75. <https://doi.org/10.4236/odem.2014.23008>
13. Livanov M.N., Khrizman T.P. Prostranstvenno-vremennaya organizatsiya biopotentsialov mozga u cheloveka [Spatio-Temporal Organization of Human Cerebral Biopotentials]. Smirnov A.A. et al. (eds.). *Estestvenno-nauchnye osnovy psichologii* [Natural-Scientific Foundations of Psychology]. Moscow, 1978, pp. 206–233.
14. Li H., Yao R., Xia X., Yin G., Deng H., Yang P. Adjustment of Synchronization Stability of Dynamic Brain-Networks Based on Feature Fusion. *Front. Hum. Neurosci.*, 2019, vol. 13. Art. no. 98. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00098>
15. Mannan M.M.N., Jeong M.Y., Kamran M.A. Hybrid ICA – Regression: Automatic Identification and Removal of Ocular Artifacts from Electroencephalographic Signals. *Front. Hum. Neurosci.*, 2016, vol. 10. Art. no. 193. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00193>
16. Popova T., Koryukalov Yu., Erlikh V., Kourova O. Neurophysiological Analysis of Adaptation Processes Rhythmicity in Athletes and Subjects Who Practice Relaxation: Experimental Study. *Med. Sport*, 2020, vol. 73, no. 4, pp. 610–625. <https://doi.org/10.23736/S0025-7826.20.03414-6>
17. Popova T.V., Koryukalov Yu.I., Morokko D.A. Central Mechanisms of Fatigue During Local Static Muscular Activity. *Hum. Physiol.*, 2007, vol. 33, no. 4, pp. 467–472. <https://doi.org/10.1134/S0362119707040135>
18. Baranov V.M., Baevskiy R.M., Berseneva A.P., Mikhaylov V.M. Otsenka adaptatsionnykh vozmozhnostey organizma i zadachi povysheniya effektivnosti zdravookhraneniya [Evaluation of Adaptive Abilities of an Organism and Tasks of Healthcare Effectiveness Increase]. *Ekologiya cheloveka*, 2004, no. 6, pp. 25–29.

19. Dick O.E., Svyatogor I.A., Reznikova T.N., Fedoryaka D.A., Nozdrachev A.D. Analysis of EEG Patterns in Subjects with Panic Attacks. *Hum. Physiol.*, 2020, vol. 46, no. 2, pp. 163–174. <https://doi.org/10.1134/S0362119720010065>
20. Alonge P., Gadaleta G., Urbano G., Lupica A., Di Stefano V., Brighina F., Torrente A. The Role of Brain Plasticity in Neuromuscular Disorders: Current Knowledge and Future Prospects. *Brain Sci.*, 2024, vol. 14, no. 10. Art. no. 971. <https://doi.org/10.3390/brainsci14100971>
21. Meeusen R., Watson P., Hasegawa H., Roelands B., Piacentini M.F. Central Fatigue: The Serotonin Hypothesis and Beyond. *Sports Med.*, 2006, vol. 36, no. 10, pp. 881–909. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636100-00006>
22. Orel V.R., Tambovtseva R.V., Shitya A.A., Gatsunaev A.N. Izmeneniya pokazateley tsentral'noy gemodinamiki i sosudistoy nagruzki serdtsa u luchnikov pri modelirovaniyu natyazheniya luka [Central Hemodynamic and Vascular Resistances in the Archers in the Simulation of the Draw]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*, 2015, vol. 22, no. 3, pp. 102–107.
23. Grimak L.P. *Psikhologiya aktivnosti cheloveka: psikhologicheskie mekhanizmy i priemy samoregulyatsii* [Psychology of Human Activity: Psychological Mechanisms and Techniques of Self-Regulation]. Moscow, 2010. 366 p.
24. Rozhkov V.P., Trifonov M.I., Soroko S.I. Otrazhenie protsessa sozrevaniya TsNS u detey i podrostkov severnogo regiona RF v dinamike integral'nykh parametrov EEG [CNS Development in Children and Adolescents of the Russian Federation Northern Region and Its Reflection in the Dynamics of Integral EEG Parameters]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti*, 2021, vol. 71, no. 4, pp. 529–546. <https://doi.org/10.31857/S0044467721040067>
25. Warfield E., Esposito P., Braun-Trocchio R. Differences in Relaxation and Imagery Among NCAA Division I Sport Types. *Sports (Basel)*, 2023, vol. 11, no. 11. Art. no. 224. <https://doi.org/10.3390/sports11110224>
26. Doletskiy A.N., Khvastunova I.V., Akhundova R.E., Migulina A.A. Neyrofiziologicheskie mekhanizmy realizatsii nemedikamentoznoy relaksatsii [Neurophysiological Mechanisms of Relaxation]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*, 2013, no. 1, pp. 114–118.

Поступила в редакцию 28.01.2025 / Одобрена после рецензирования 17.04.2025 / Принята к публикации 22.04.2025.
Submitted 28 January 2025 / Approved after reviewing 17 April 2025 / Accepted for publication 22 April 2025.



Журнал медико-биологических исследований. 2025. Т. 13, № 4. С. 465–472.
Journal of Medical and Biological Research, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 465–472.



Научная статья
УДК [613.63+504.5]:[622.82+622.85]
DOI: 10.37482/2687-1491-Z267

Эколого-гигиеническая оценка состояния окружающей среды в районе размещения горящего террикона Донецкого каменноугольного бассейна

Александр Викторович Сочилин* ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4785-5823>
Дмитрий Рыфатович Садеков* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7346-4189>
Валерий Семенович Котов* ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2369-2932>

*Донецкий государственный медицинский университет имени М. Горького
(Донецк, Россия)

Аннотация. Горящие терриконы Донецкого каменноугольного бассейна представляют серьезную угрозу для экологии региона и здоровья его жителей. Решение данной проблемы требует совместных усилий государства, научного сообщества и социума. Только комплексный подход позволит минимизировать негативные последствия антропогенного воздействия и обеспечить устойчивое развитие данной территории. **Цель** работы – изучить временные и территориальные характеристики загрязнения окружающей среды в районе размещения горящего угольного отвала. **Материалы и методы.** Эколого-гигиеническая оценка состояния окружающей среды проводилась на территории шахты им. Свердлова (г. Свердловск, Луганская Народная Республика) в период с 2009 по 2013 год. Максимально разовые пробы атмосферного воздуха отбирались с подветренной стороны от отвала на расстоянии до 500 м (I зона) и 500–1000 м (II зона), пробы почвы – в I зоне. Состояние воздушной среды определялось по количественному содержанию взвешенных веществ и газовых компонентов (оксида углерода, диоксидов азота и серы, фенола) в атмосферном воздухе. Оценка загрязнения почв металлами (Hg, Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Mn) и мышьяком проводилась по методике Н.А. Богданова. **Результаты.** Размеры частиц углепородной пыли уменьшались по мере удаления от террикона. Уровень загрязнения воздуха на исследуемых территориях являлся недопустимым. Загрязнение почв тяжелыми металлами и мышьяком в пределах санитарно-защитной зоны следует считать опасным, на расстоянии 1000 м от ее границы – умеренно опасным. Вблизи источника выбросов опасность представляют повышенные концентрации поллютантов в пыли, а с увеличением расстояния возрастает доля мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе.

Ключевые слова: горящий террикон, загрязнение воздуха, взвешенные вещества, тяжелые металлы, мышьяк, загрязнение почвы, эколого-гигиеническая оценка, Донецкий каменноугольный бассейн

Для цитирования: Сочилин, А. В. Эколого-гигиеническая оценка состояния окружающей среды в районе размещения горящего террикона Донецкого каменноугольного бассейна / А. В. Сочилин, Д. Р. Садеков, В. С. Котов // Журнал медико-биологических исследований. – 2025. – Т. 13, № 4. – С. 465-472. – DOI 10.37482/2687-1491-Z267.

© Сочилин А.В., Садеков Д.Р., Котов В.С., 2025

Ответственный за переписку: Дмитрий Рыфатович Садеков, адрес: 283003, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, просп. Ильича, д. 16; e-mail: dmsadekov@yandex.ru

Original article

Ecological and Hygienic Assessment of the Environmental Conditions in the Area of a Burning Spoil Tip of the Donetsk Coal Basin

Aleksandr V. Sochilin* ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4785-5823>

Dmitry R. Sadekov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7346-4189>

Valery S. Kotov* ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2369-2932>

*M. Gorky Donetsk State Medical University
(Donetsk, Russia)

Abstract. Burning spoil tips of the Donetsk coal basin pose a serious threat to the ecology of the region and the health of its residents. Solving this problem requires joint efforts of the state, scientific community and society. Only an integrated approach will help minimize the negative consequences of the anthropogenic impact and ensure sustainable development of this territory. The **purpose** of this article was to study the temporal and spatial characteristics of environmental pollution in the area of a burning coal-based spoil tip. **Materials and methods.** An ecological and hygienic assessment of the environment was carried out on the territory of the Sverdlov mine (Sverdlovsk, Lugansk People's Republic) from 2009 to 2013. Maximum one-time samples of atmospheric air were collected from the leeward side of the tip at a distance of up to 500 m (zone I) and 500–1000 m (zone II); soil samples were taken in zone I. Air quality was determined based on the content of suspended solids and gaseous components (carbon monoxide, nitrogen dioxide, sulphur dioxide, and phenol) in the atmospheric air. Soil contamination with metals (Hg, Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Mn) and arsenic was measured using N.A. Bogdanov's method. **Results.** The particle size of coal dust decreased with distance from the spoil tip. The level of air pollution in the studied areas was classified as unacceptable. Soil contamination with heavy metals and arsenic should be considered hazardous within the sanitary protection zone and moderately hazardous at a distance of 1000 m from the zone's boundary. Near the emission source, increased concentrations of pollutants in the dust pose a danger, while with distance, the proportion of fine particles in the atmospheric air increases.

Keywords: burning spoil tip, air pollution, suspended solids, heavy metals, arsenic, soil pollution, ecological and hygienic assessment, Donetsk coal basin

For citation: Sochilin A.V., Sadekov D.R., Kotov V.S. Ecological and Hygienic Assessment of the Environmental Conditions in the Area of a Burning Spoil Tip of the Donetsk Coal Basin. *Journal of Medical and Biological Research*, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 465–472. DOI: 10.37482/2687-1491-Z267

Проблема загрязнения окружающей среды в последние 20 лет приобрела глобальный масштаб, став одной из ключевых угроз для здоровья человека и биосфера в целом. Эколого-гигиеническая оценка территории – это важный

инструмент, который позволяет определить степень пригодности или благоприятности природно-ландшафтных условий для жизнедеятельности человека, а также обеспечить безопасное проживание населения и эффективное

Corresponding author: Dmitry Sadekov, address: prosp. Il'icha 16, Donetsk, 283003, Donetskaya Narodnaya Respublika, Russia; e-mail: dmsadekov@yandex.ru

осуществление различных видов хозяйственной деятельности с учетом природных, технических и социальных аспектов [1].

Наиболее значимым источником антропогенной экологической нагрузки являются отходы промышленной деятельности, особенно в регионах с развитой угледобывающей промышленностью. Так, одной из ее специфических проблем стали терриконы – образующиеся при подземной разработке угля конические отвалы пород, имеющих в своем составе сернистые соединения, тяжелые металлы, фенолы и углеводороды, которые способны проникать за пределы санитарно-защитных зон. Эти объекты оказывают многоаспектное воздействие на окружающую среду, включая загрязнение почвы, воды и воздуха, а также изменение природных ландшафтов. Отсутствие растительности на отвалах обуславливает высокую предрасположенность к эрозии под воздействием воды и ветра.

Особую опасность представляют тлеющие и горящие терриконы, которые становятся источником выбросов токсичных веществ (оксидов серы, углерода и др.) в атмосферу, что ухудшает экологическую обстановку и наносит вред здоровью населения [2]. Дисперсность пылевых частиц (углепородной пыли), поступающих в атмосферный воздух, имеет важное гигиеническое значение, поскольку она во многом определяет биологическое действие выбросов на организм человека [3]. Образование в горящих терриконах легкорастворимых минералов и многочисленных сульфатов приводит к загрязнению поверхностных и подземных вод, почв различными токсичными элементами и их соединениями (кадмий, цинк, медь, свинец и др.). Эти соединения, а также фенолы, цианиды, роданиды поступают в атмосферный воздух и почву. С 1 м² поверхности горящего породного отвала в атмосферный воздух выделяется до 180 м³/ч

продуктов горения, содержащих загрязняющие вещества [4].

Цель работы – изучить временные и территориальные характеристики загрязнения окружающей среды в районе размещения горящего угольного отвала.

Материалы и методы. Донецкий каменноугольный бассейн, расположенный на территории Донецкой и Луганской (ЛНР) народных республик, представляет собой яркий пример индустриального региона, где антропогенные изменения природной среды достигли критического уровня. На его территории насчитывается более 1,5 тыс. терриконов общей площадью около 800 га.

Эколого-гигиеническая оценка состояния окружающей среды проводилась на территории шахты им. Свердлова (г. Свердловск, ЛНР) в период с 2009 по 2013 год. Для определения уровней загрязнения и дальности распространения промышленных выбросов отбирались максимально разовые пробы атмосферного воздуха с подветренной стороны от горящего отвала на расстоянии до 500 м – до нормативной границы санитарно-защитной зоны (I зона) и 500–1000 м (II зона); пробы почвы отбирались в I зоне.

Состояние воздушной среды оценивалось по количественному содержанию взвешенных веществ и газовых компонентов в атмосфере. Содержание загрязняющих веществ (углепородной пыли, оксида углерода, диоксидов азота и серы, фенола) в воздухе определялось в соответствии с РД 52.04.186–89¹. Изучение дисперсного состава пыли проводилось в соответствии с «Временными методическими указаниями...» № 4681-88². Отбор проб почв осуществлялся в соответствии с «Методическими рекомендациями...» № 2609-82³ и ГОСТ 17.4.4.02–84⁴.

¹РД 52.04.186–89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Введ. 1991–07–01. М.: Госкомгидромет СССР, 1991. 556 с.

²Временные методические указания по обоснованию предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: утв. зам. Гл. гос. санитар. врача СССР 15 июля 1988 г. № 4681-88. М.: МЗ СССР, 1989. 110 с.

³Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве: утв. зам. Гл. гос. санитар. врача СССР 5 авг. 1982 г. № 2609-82. М.: МЗ СССР, 1982. 59 с.

⁴ГОСТ 17.4.4.02–84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. Введ. 1986–01–01. М.: МЗ СССР, 1984. 11 с.

Содержание металлов в почве устанавливается методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии согласно «Методическим рекомендациям...» № 5174-90⁵. Полученные данные сравнивались с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и почве по СанПиН 1.2.3685-21⁶.

Комплексный индекс загрязнения атмосферы (I_n) определен в соответствии с РД 52.04.667-2005⁷:

$$I_n = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_{cpi}}{ПДК_{c,ci}} \right)^{c_i},$$

где I_i – индекс загрязнения для i -го вещества; q_{cpi} – среднегодовая концентрация i -го загрязняющего вещества; ПДК_{c,ci} – его среднесуточная предельно допустимая концентрация; c_i – безразмерный коэффициент, позволяющий привести степень вредности i -го загрязняющего вещества к степени вредности диоксида серы; n – число учитываемых веществ.

Оценка загрязнения почв проводилась по Н.А. Богданову [5] с определением суммарного показателя загрязнения

$$Z_c = \sum C_i / ПДК_i - (n - 1),$$

где C_i – фактическое содержание элемента в почве, мг/кг; ПДК_i – предельно допустимая концентрация этого элемента, мг/кг; n – число учитываемых элементов.

Статистическая обработка результатов (определение средних арифметических значений (M) и их ошибок (m)) выполнена с использованием программы Medstat.

Результаты. Размеры частиц пыли уменьшались с увеличением расстояния от горящего террикона (табл. 1). Уровень

Таблица 1

Дисперсность углепородной пыли в зависимости от расстояния от горящего породного отвала шахты им. Свердлова (2009–2013 годы)

Coal dust dispersity depending on the distance from a burning coal-based spoil tip of the Sverdlov mine (2009–2013)

Расстояние от отвала, м	Содержание, %, пылевых частиц диаметром, мкм		
	<2	2–5	>5
100–300	48,5	31,8	19,7
300–500	56,7	27,0	16,3
500–1000	65,8	22,2	12,0

загрязнения атмосферного воздуха углепородной пылью в пределах воздействия отвала был наиболее высоким (табл. 2), кратность превышения среднесуточных ПДК составляла в разные месяцы 2,8–5,9 раза. Различия в содержании загрязняющих веществ в воздухе двух зон составляли: для пыли – 1,7 раза, СО – 1,5 раза, NO₂ – 1,3 раза, SO₂ – 2,5 раза, фенола – 1,9 раза.

Установлено, что в I зоне уровень загрязнения воздуха – очень высокий ($I_5 = 15,0$), во II зоне степень опасности – высокий ($I_5 = 8,6$).

Почвы были сильно загрязнены металлами и мышьяком как в непосредственной близости от породного отвала, так и на удалении до 1000 м (табл. 3, см. с. 470).

Содержание химических элементов в почве различных участков существенно превышало их ПДК (от 2,0 до 7,0 раз в I зоне и от 1,0 до 4,3 раза – во II зоне). Доля проб с содержанием металлов и мышьяка выше ПДК колебалась от 75 до 93 % в I зоне и от 29 до 85 % – во II зоне. Наиболее высоким было загрязнение почв кадмием (в 7,0 и 4,3 раза выше ПДК в I и II зонах

⁵Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве: утв. зам. Гл. гос. санитар. врача СССР 15 мая 1990 г. № 5174-90. М.: МЗ СССР, 1990. 16 с.

⁶СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Введ. 2021-01-28. М.: Роспотребнадзор, 2021. 469 с.

⁷РД 52.04.667-2005. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию. Введ. 2006-02-01. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. 52 с.

Таблица 2

**Содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе
в зонах влияния выбросов горящего породного отвала шахты им. Свердлова
(2009–2013 годы)**

**Content of pollutants in the atmospheric air in the areas affected by emissions
from a burning coal-based spoil tip of the Sverdlov mine (2009–2013)**

Вещество и место отбора проб	Среднесуточная концентрация, мг/м ³		Доля проб выше ПДК, %	Кратность превышения ПДК
	min–max	<i>M</i> ± <i>m</i>		
Углепородная пыль: I зона II зона	0,10–1,41 0,10–0,93	0,526±0,011 0,316±0,005	58,0 25,0	3,50 2,10
Оксид углерода: I зона II зона	1,42–12,5 1,20–8,12	6,450±0,080 4,410±0,040	63,7 41,7	2,15 1,47
Диоксид азота: I зона II зона	0,03–0,17 0,03–0,12	0,0892±0,0011 0,0680±0,0006	64,2 46,7	2,23 1,70
Диоксид серы: I зона II зона	0,05–0,47 0,04–0,18	0,265±0,002 0,105±0,001	62,5 52,6	5,31 2,10
Фенол: I зона II зона	0,005–0,080 0,004–0,049	0,0320±0,0005 0,0168±0,0003	70,4 54,2	3,20 1,68

соответственно), мышьяком (в 3,1 и 1,3 раза), медью (в 3,1 и 1,4 раза), в меньшей степени почвы загрязнены никелем, цинком и марганцем. При этом отмечено локальное загрязнение на отдельных участках: максимальные концентрации различных металлов превышали ПДК в 3,9–24,0 раза в I зоне и в 3,3–17,4 раза – во II зоне. Суммарный показатель загрязнения почв по Н.А. Богданову (Z_c) составил 17,6 в I зоне и 6,6 – во II зоне. По этим показателям загрязнение почв в I зоне следует считать опасным, во II зоне – умеренно опасным.

Обсуждение. Горящие терриконы Донбасса представляют собой серьезную угрозу для экологии региона и здоровья его жителей. В пределах санитарно-защитной зоны

горящего породного отвала шахты им. Свердлова по данным Свердловского городского совета находится 583 домостроения, больница, школа № 7, детский сад, 4 магазина. На перемещение с территории санитарно-защитной зоны жилья, объектов социального назначения, по предварительным расчетам, необходимо более 200 млн руб. Решение данной проблемы требует совместных усилий государства, научного сообщества и социума, что позволит минимизировать негативные последствия антропогенного воздействия и обеспечить устойчивое развитие региона.

Загрязнение атмосферного воздуха токсичными веществами, выделяющимися при горении терриконов, оказывает как прямое, так и косвенное воздействие на здоровье населения,

Таблица 3

**Содержание металлов и мышьяка в почвах
в зонах влияния выбросов горящего породного отвала шахты им. Свердлова (2009–2013 годы)**
**Metals and arsenic content in the soils of the areas affected by emissions
from a burning coal-based spoil tip of the Sverdlov mine (2009–2013)**

Элемент	Содержание, мг/кг		Доля проб выше ПДК, %	Кратность превышения ПДК
	min–max	$M \pm m$		
<i>I зона</i>				
Hg	0,15–9,80	4,61±0,23	84	2,2
Pb	15,00–160,00	68,98±3,31	92	2,1
Cd	0,40–12,20	3,48±0,27	93	7,0
As	0,05–18,00	6,20±0,36	89	3,1
Cu	40,00–315,00	172,90±6,30	91	3,1
Ni	45,00–225,00	107,10±4,10	90	2,1
Zn	30,00–820,00	293,40±8,10	84	2,9
Mn	640,00–6400,00	2931,00±132,00	75	2,0
<i>II зона</i>				
Hg	0,06–8,00	2,63±0,17	54	1,3
Pb	6,00–105,00	47,12±2,26	73	1,5
Cd	0,33–8,00	2,15±0,18	85	4,3
As	0,20–6,00	2,52±0,10	65	1,3
Cu	38,00–133,00	76,70±2,20	76	1,4
Ni	33,00–175,00	74,00±3,20	81	1,5
Zn	70,00–290,00	128,60±5,00	73	1,3
Mn	650,00–4100,00	1544,00±78,00	29	1,0

проживающего вблизи подобных объектов. Среди основных заболеваний, связанных с влиянием загрязненного воздуха, можно выделить болезни органов дыхания, сердечно-сосудистые и онкологические патологии [6, 7]. Кроме того, длительное воздействие этих химических соединений может приводить к мутагенным изменениям и снижению общей резистентности организма [8, 9]. Помимо непосредственного влияния на здоровье человека, терриконы способствуют деградации природных ландшафтов. Эрозионные процессы, вызванные наличием терриконов, способствуют изменению рельефа местности. Это создает дополнительные риски для инфраструктуры населенных пунктов и промышленных объектов.

Загрязнение почвы снижает ее плодородие и делает невозможным использование земель для сельскохозяйственных нужд. Загрязнение поверхностных и подземных вод приводит к ухудшению качества питьевой воды и нарушению экосистем рек и водоемов [10]. Однако вопрос о влиянии технических характеристик терриконов (включая их размеры, состав пород и интенсивность горения) на здоровье населения остается недостаточно изученным. Сложность проблемы требует применения комплексного подхода, включающего научные исследования, разработку нормативно-правовой базы и внедрение современных технологий [11].

Обнаруженные высокие уровни загрязнения воздуха и почв в радиусе влияния выбро-

сов горящего угольного отвала подтверждают необходимость эколого-гигиенического мониторинга таких территорий для оценки влияния указанного загрязнения, особенно пылевых выбросов (в т. ч. мелкодисперсных), на здоровье на-

селения, а также для нормирования выбросов. Вблизи горящего террикона опасность представляют повышенные концентрации поллютантов в пыли, а с увеличением расстояния возрастает доля мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Гегер Э.В., Золотникова Г.П., Капцов В.А. Методы оценки эколого-гигиенического состояния территорий // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98, №12. С. 1338–1341.
2. Глухова Е.И., Моховик С.В., Ермаченко А.Б. Состояние окружающей среды в районе размещения горящего террикона // Вестн. гигиены и эпидемиологии. 2010. Т.14, № 2. С. 215–219.
3. Ермаченко А.Б., Котов В.С. Гигиеническое обоснование целесообразности нормирования взвешенных частиц в атмосферном воздухе с учетом их фракционного состава // Збірник наукових праць Гігієна населених місць. 2013. № 62. С. 46–49.
4. Закруткин В.Е., Петрова А.В. О химическом составе твердофазных атмосферных выпадений на территории углепромышленных районов Восточного Донбасса // Науки о Земле: вчера, сегодня, завтра. Казань: Бук, 2015. С. 7–14.
5. Богданов Н.А. Диагностика территорий по интегральным показателям химического загрязнения почв и грунтов // Гигиена и санитария. 2014. № 1. С. 92–97.
6. Курбанова Ш.И., Юсупхужаева А.М. К методике оценки здоровья населения в связи с загрязнением атмосферного воздуха // Молодой ученый. 2023. № 46(493). С. 59–61.
7. Власова О.А., Товпеко О.П. Анализ загрязнения окружающей среды выбросами стекольной промышленности // Науч. исследования. 2018. № 6(26). С. 17–20.
8. Балева Л.С., Сипягина А.Е. Экологическая педиатрия – актуальная проблема современности // Рос. вестн. перинатологии и педиатрии. 2020. Т. 65, № 6. С. 6–11. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-6-6-11>
9. Шахова Н.В., Кашинская Т.С., Камалтынова Е.М. Распространенность бронхиальной астмы и аллергических заболеваний среди детей // Аллергология и иммунология в педиатрии. 2022. № 2. С. 5–12. <https://doi.org/10.53529/2500-1175-2022-2-5-12>
10. Агарков Н.М., Чурносов М.И., Осипова О.А., Шарапова О.В., Модестов А.А., Коровин Е.Н., Эккерт Н.В. Влияние антропогенных поллютантов атмосферы на распространенность врожденных пороков развития среди новорожденных // Рос. вестн. перинатологии и педиатрии. 2020. Т. 65, № 6. С. 34–41. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-6-34-41>
11. Ластков Д.О., Гапонова О.В., Госман Д.А., Остренко В.В. Тяжелые металлы как загрязнители окружающей среды: оценка риска здоровью населения // Арх. клин. и эксперим. медицины. 2019. Т. 28, № 2. С. 180–183.

References

1. Geger E.V., Zolotnikova G.P., Kaptsov V.A. Methods of Evaluation of the Sanitary-Ecological Condition of Territories. *Hyg. Sanitation*, 2019, vol. 98, no. 1, pp. 1338–1341 (in Russ.).
2. Glukhova E.I., Mokhovik S.V., Ermachenko A.B. Sostoyanie okruzhayushchey sredy v rayone razmeshcheniya goryashchego terrikoна [Environmental Conditions in the Area of a Burning Spoil Tip]. *Vestnik gigieny i epidemiologii*, 2010, vol. 14, no. 2, pp. 215–219.
3. Yermachenko A.B., Kotov V.S. Hygienic Rationale for Normalization Suspended Particles in Atmospheric Air with Regard to Their Fractional Composition. *Hyg. Populated Places*, 2013, no. 62, pp. 46–49 (in Russ.).

4. Zakrutkin V.E., Petrova A.V. O khimicheskem sostave tverdofaznykh atmosfernykh vypadeniy na territorii uglepromyshlennykh rayonov Vostochnogo Donbassa [On the Chemical Composition of Solid Atmospheric Fallout in the Coal-Mining Regions of Eastern Donbass]. *Nauki o Zemle: vchera, segodnya, zavtra* [Earth Sciences: Yesterday, Today, Tomorrow]. Kazan, 2015, pp. 7–14.
5. Bogdanov N.A. Diagnostika territoriy po integral'nym pokazatelyam khimicheskogo zagryazneniya pochv i gruntov [Diagnosis of the Territories with the Use of Integral Indices of Chemical Contamination of Soil and Grounds, Relied on the Background and Hygienic Standards]. *Gigiena i sanitariya*, 2014, no. 1, pp. 92–97.
6. Kurbanova Sh.I., Yusupkhuzhaeva A.M. K metodike otsenki zdorov'ya naseleniya v svyazi s zagryazneniem atmosfernogo vozdukha [On the Method of Assessing Population Health in Connection with Air Pollution]. *Molodoy uchenyy*, 2023, no. 46, pp. 59–61.
7. Vlasova O.A., Tovpeko O.P. Analiz zagryazneniya okruzhayushchey sredy vybrosami stekol'noy promyshlennosti [Analysis of Environmental Pollution from Glass Industry Emissions]. *Nauchnye issledovaniya*, 2018, no. 6, pp. 17–20.
8. Baleva L.S., Sipyagina A.E. Ecologic Pediatrics Is a Pressing Challenge of Our Time. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii*, 2020, vol. 65, no. 6, pp. 6–11 (in Russ). <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-6-6-11>
9. Shakhova N.V., Kashinskaya T.S., Kamal'tynova E.M. Prevalence of Bronchial Asthma and Allergic Diseases Among Children. *Allergol. Immunol. Pediatr.*, 2022, no. 2, pp. 5–12 (in Russ.). <https://doi.org/10.53529/2500-1175-2022-2-5-12>
10. Agarkov N.M., Churnosov M.I., Osipova O.A., Sharapova O.V., Modestov A.A., Korovin E.N., Eckert N.V. Effect of Anthropogenic Atmospheric Pollutants on the Prevalence of Congenital Malformations in Newborns. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii*, 2020, vol. 65, no. 6, pp. 34–41 (in Russ). <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-6-34-41>
11. Lastkov D.O., Gaponova O.V., Gosman D.A., Ostrenko V.V. Tyazhelye metally kak zagryazniteli okruzhayushchey sredy: otsenka risika zdorov'yu naseleniya [Heavy Metals as Environmental Pollutants: Risk Assessment on Health of Population]. *Arkhiv klinicheskoy i eksperimental'noy meditsiny*, 2019, vol. 28, no. 2, pp. 180–183.

Поступила в редакцию 20.06.2025 / Одобрена после рецензирования 11.09.2025 / Принята к публикации 16.09.2025.
Submitted 20 June 2025 / Approved after reviewing 11 September 2025 / Accepted for publication 16 September 2025.



Журнал медико-биологических исследований. 2025. Т. 13, № 4. С. 473–487.
Journal of Medical and Biological Research, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 473–487.



Обзорная статья
УДК 612.867.8:57.04
DOI: 10.37482/2687-1491-Z268

Ароматерапия как метод воздействия на когнитивные функции и эмоциональное состояние человека (обзор)

Ольга Викторовна Кальдинова* ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4756-8214>
Алексей Николаевич Долецкий* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6191-3901>

*Волгоградский государственный медицинский университет
(Волгоград, Россия)

Аннотация. Ароматерапия – использование летучих компонентов эфирных масел и фитонцидов растений для физического и психологического оздоровления. Популярность метода обусловлена доступностью и простотой использования эфирных масел. В последние 15 лет наблюдается рост числа работ, посвященных исследованию данного метода, однако механизм воздействия эфирных масел на организм человека до сих пор изучен недостаточно полно. Значимыми проблемами являются отсутствие единого протокола исследования, способов проведения ароматерапии и методов выявления субъективного ощущения эмоций, а также разнообразие эфирных масел. В числе факторов, затрудняющих анализ влияния ароматерапии, также следует отметить использование субъективных методик и применение методов объективной оценки, имеющих низкую чувствительность к воздействиям. Все это не позволяет создать единую картину влияния ароматерапии. В данном обзоре представлены результаты анализа публикаций, в которых изучалась эффективность ароматерапии как метода немедикаментозных воздействий на эмоциональное состояние и когнитивные функции человека, за более чем 30-летний период. Приводятся результаты исследований, изучающих влияние ароматерапии на биоэлектрическую активность головного мозга. По данным разных исследователей одно эфирное масло может оказывать противоположный эффект, а отсутствие контрольных групп в большинстве исследований усложняет трактовку результатов. Анализ доступных публикаций показал необходимость разработки единой методики ароматерапии и дальнейшего изучения влияния эфирных масел на когнитивные функции и эмоциональное состояние человека. Дополнительными факторами, требующими особого внимания исследователей, являются гендерные различия чувствительности к запахам; уни- или биназальное вдыхание; зависимость от фазы овариально-менструального цикла; влияние на эмоциональное восприятие запахов индивидуального опыта.

Ключевые слова: ароматерапия, обоняние, психоэмоциональное состояние, эфирное масло, физиологические показатели, когнитивные тесты, биоэлектрическая активность

© Кальдинова О.В., Долецкий А.Н., 2025

Ответственный за переписку: Ольга Викторовна Кальдинова, адрес: 400131, г. Волгоград, пл. Павших Борцов, д. 1; e-mail: o.kaldinova@yandex.ru

Для цитирования: Кальдинова, О. В. Ароматерапия как метод воздействия на когнитивные функции и эмоциональное состояние человека (обзор) / О. В. Кальдинова, А. Н. Долецкий // Журнал медико-биологических исследований. – 2025. – Т. 13, № 4. – С 473-487. – DOI 10.37482/2687-1491-Z268.

Review article

Aromatherapy as a Method for Influencing the Cognitive Functions and Emotional State in Humans (Review)

Olga V. Kaldinova* ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4756-8214>
Aleksey N. Doletsky* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6191-3901>

*Volgograd State Medical University
(Volgograd, Russia)

Abstract. Aromatherapy is the use of volatile components of essential oils and plant phytoncides for physical and psychological recovery. This method is popular due to the availability and simple use of essential oils. Over the past 15 years, there has been an increase in the number of studies on aromatherapy. However, the mechanism of action of essential oils on the human body has not been fully investigated. Significant problems are the lack of a unified research protocol, aromatherapy procedure and survey methods for assessing the subjective experience of emotions, as well as the variety of essential oils. Among the factors that make it difficult to analyse the effects of aromatherapy, are the application of subjective techniques and the use of objective assessment methods with low sensitivity to influence. All this does not allow us to create a unified description of the effects of aromatherapy. This review analysed publications on the effectiveness of aromatherapy as a method of non-drug influence on the emotional state and cognitive functions in humans, over a period of more than 30 years. Results of studies examining the effects of aromatherapy on the bioelectric activity of the brain are presented. According to various researchers, one and the same essential oil can have opposite effects, while the lack of control groups in most studies makes it difficult to interpret the results. The analysis demonstrated the need to develop a unified aromatherapy methodology and further investigate the effects of essential oils on the cognitive functions and emotional state in humans. Additional factors requiring researchers' attention are sex-related differences in sensitivity to odours, uni- or binasal inhalation, dependence on the phase of the ovarian/menstrual cycle, and effect of individual experience on the emotional perception of odours.

Keywords: *aromatherapy, sense of smell, psycho-emotional state, essential oil, physiological indicators, cognitive tests, bioelectric activity*

For citation: Kaldinova O.V., Doletsky A.N. Aromatherapy as a Method for Influencing the Cognitive Functions and Emotional State in Humans (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 473–487. DOI: 10.37482/2687-1491-Z268

Corresponding author: Olga Kaldinova, *address:* pl. Pavshikh Bortsov 1, Volgograd, 400131, Russia;
e-mail: o.kaldinova@yandex.ru

В последние 15 лет отмечается увеличение количества исследований, посвященных оценке психофизиологического влияния и эффективности таких немедикаментозных методик, как функциональная музыка и ароматерапия с помощью композиций эфирных масел (ЭМ), биоуправление с биологической обратной связью. Наиболее активно изучаются возможности немедикаментозных подходов в повышении адаптации к психоэмоциональным нагрузкам и профилактике функциональных расстройств [1, 2].

На успешность адаптации оказывает влияние множество физиологических факторов. К ним относят особенности межполушарного взаимодействия, выраженность тонуса и реактивность церебральных сосудов [3–5]. Психические процессы также являются частью механизма адаптации. Психофизиологические особенности различаются у разных людей в зависимости от генетических программ и предшествующего опыта. Учет этих особенностей лежит в основе индивидуализированной профилактики нарушений адаптации, основанной на доказательной базе [6, 7].

Одним из наиболее доступных методов профилактики считается ароматерапия с применением как отдельных ЭМ (лаванды, мяты, шалфея, эвкалипта, лимона, пихты, апельсина и др.), так и их композиций. В качестве ингаляционных методов используют аромалампы, аромакулоны, вдыхание из флакона, с носового платка и с кожи запястья. По времени воздействия сеансы ароматерапии варьируют от 3 до 30 мин. Сравнение исследований осложняется тем, что ЭМ даже одного вида растений могут оказывать неодинаковое воздействие в зависимости от своего химического состава [8]. Многие исследования отмечают снижение выраженности стрессов у здоровых людей, однако механизмы действия запахов на различные функции организма остаются недостаточно изученными [9, 10].

Восприятие запаховых стимулов

Клетки, воспринимающие запахи, расположены в верхней части носовой полости человека в составе обонятельного эпителия. Он

занимает площадь около 2–4 см². В структуру обонятельного эпителия входят опорные и базальные клетки, а также биполярные нейроны, выполняющие функцию обонятельных рецепторов. Базальные клетки являются разновидностью стволовых клеток и позволяют восстанавливать обонятельные нейроны. Опорные клетки секрецируют слизь, содержащую воду, мукогликопротеины и большое количество низкомолекулярных белков (до 20 кДа). Важным видом белков в составе слизи являются одорант-связывающие белки, помогающие летучим веществам, взаимодействующим с рецепторными белками на поверхности обонятельных нейронов (одорантам), добраться до рецепторов на поверхности обонятельных нейронов и присоединиться к ним.

Рецепторные белки относятся к группе трансмембранных 7-доменных белков. У человека существует около 400 рецепторных белков. Каждый нейрон содержит только один тип рецептора. Некоторые из них являются одорант-специфичными, другие способны распознавать несколько одорантов. Нейроны с разными типами рецепторов расположены в разных зонах эпителия и формируют карту обонятельных рецепторов. Обонятельная рецепция базируется на кластерной организации рецепторов разных видов [11].

Большинство одорантных рецепторных белков связаны с G-белками и являются метаботропными. Взаимодействие одоранта с рецептором происходит посредством лиганд-рецепторного связывания. В результате меняется конформация рецептора и происходит активация реагирующих с аденилатциклазой G-белков. Накапливающиеся в цитоплазме клетки молекулы циклического аденоциклического фосфата действуют на нуклеотид-зависимые каналы Сa²⁺ и Na⁺. Вход Сa²⁺ открывает Сa²⁺-зависимые Cl-каналы, что усиливает деполяризацию мембраны.

Другим подтипов одорантных белков являются рецепторы, ассоциированные со следовыми аминами (trace amine-associated receptors, TAARs). Они имеют меньшую частоту встречаемости, кодируются всего 9 генами, тогда как с

кодированием классических обонятельных рецепторов связано около 400 генов [12]. Данный тип рецепторов детектирует продукты метаболизма аминокислот, воспринимаемые человеком как аверсивные (неприятные) стимулы. Экспрессия TAAR5 была обнаружена не только в обонятельном эпителии, но и в переднем обонятельном ядре, обонятельном бугорке, орбито-фронтальной коре, миндалевидном теле, гиппокампе, грушевидной коре, энторинальной коре, прилежащем ядре, ядрах таламуса и гипоталамуса, которые получают обонятельный вход и вовлечены в эмоциональное поведение [13]. При этом ряд авторов отмечает, что действие на TAAR-рецепторы, опосредующее врожденное поведение и поведенческую чувствительность, не является уникальным, хотя и активирует филогенетически отличные от одорантных рецепторов механизмы [14, 15]. Описываемые в научной литературе эффекты этого класса обонятельных рецепторов не включают релаксацию и снижение эмоционального напряжения, однако данные ограничены исследованиями на животных и *in vitro* [13, 16].

Третьим типом рецепторов, обнаруженным в обонятельном эпителии мышей, являются рецепторы, не связанные с G-белком (поп-GPCRs). Они вовлечены в распознавание концентраций O_2 и CO_2 , некоторых феромонов и жирных кислот, однако наличие этих рецепторов у человека еще не установлено [17].

Несмотря на важность обонятельной рецепции, сохраняется множество вопросов о механизмах и выраженности эффектов данных сенсорных стимулов. X. Ibarra-Soria et al. выявили, что процентный состав нейронов в обонятельном эпителии одинаков у мышей одной линии и не зависит от пренатальной и постнатальной среды [12]. Другие коллективы авторов доказали, что количество нейронов с определенным типом рецепторов может меняться при длительном воздействии некоторых одорантов [17]. Формы гена *OR6A2* объясняют разное восприятие запаха кинзы [18]. Также с генетическими различиями связывают толерантность северных народов к запаху протухшей рыбы [19].

М.Ф. Быстрова и С.С. Колесников считают, что широко используемая концепция «один нейрон – один рецептор» в случае обонятельных рецепторов нуждается в верификации, поскольку имеются данные об экспрессии нескольких кодирующих обонятельные рецепторы генов в отдельных нейронах [20]. Z. Xu, Q. Li также высказывают предположение о полимодальности рецепторов класса TAAR, отмечая их более высокую чувствительность *in vivo*, чем *in vitro* [14]. Подобные результаты усложняют экстраполяцию полученных данных на условия повседневной активности, связанной с одновременным действием большого количества ольфакторных стимулов. Требуются исследования отдельных одорантов и их комбинаций с оценкой их влияния на объективно регистрируемые показатели. К последним могут, согласно концепции влияния одорантов на структуры лимбической системы, относиться характеристики биоэлектрической активности головного мозга и показатели деятельности вегетативной нервной системы.

Влияние эфирных масел на нервную систему

Эфирные масла (ЭМ), широко используемые в ароматерапии в настоящее время, по влиянию на мозг и организм делят на стимулирующие и расслабляющие [21]. К первым относят лаванду, лимон, розмарин, бергамот, черный перец, лавр, корицу, фенхель; ко вторым – ромашку, мелиссу, можжевельник, тимьян, полынь, розу, ваниль, анис, майоран [22].

Лаванда узколистная. Влияние данного ЭМ на функции нервной системы человека является одним из самых исследованных. В практике ароматерапии обычно используется ЭМ из листьев лаванды узколистной (*Lavandula agnustifolia* L.). Оно усваивается организмом за 7 мин, поэтому оптимальное время ингаляции составляет 10 мин. При более длительном вдыхании эффективность ароматерапии постепенно снижается [9]. Большинство авторов отмечают увеличение мощности альфа- и тета-активности в центрально-теменных отведениях, которую связывают с состоянием релаксации [21]. В результате 16-дневного курса арома-

терапии с маслом лаванды (длительность сеанса 15 мин) у молодых лиц в возрасте 22–27 лет отмечался связанный с полом эффект: у женщин наблюдалась нарастающая в течение курса асимметрия тета-активности в правой теменной области, тогда как у мужчин не произошло достоверного изменения мощности тета-ритма [23].

На небольшой выборке (20 чел., пол не указан) при однократной экспозиции в течение 3 мин отмечалось замедление тета-активности с преобладанием мощности в правой теменной области [24]. Другие авторы при обследовании женщин 20–60 лет фиксировали диффузную десинхронизацию и снижение выраженности альфа-активности, характерные для активации нервной системы [25]. В той же работе показано одновременное снижение систолического давления, характерное для расслабленного состояния. Вместе с тем авторы не проводили психометрических исследований, подтверждающих повышение активности нервной системы, и сравнений с другими ЭМ (розмарин, роза, герань), имеющими сходное влияние на электроэнцефалограмму (ЭЭГ).

В исследовании влияния масла лаванды (контрольная группа) и композиции масел лаванды и бергамота (экспериментальная группа) обнаружено падение тета-активности в правой префронтальной области (Fp2) в контрольной группе; снижение мощности альфа-1-ритма в правой префронтальной (Fp2) и левой теменной (P3) областях при ингаляции композицией по сравнению с маслом лаванды; статистически значимое различие в правой фронтальной (F4) и правой париетальной (P4) областях в экспериментальной группе [26]. После ароматерапии маслом лаванды (вдыхание в течение 3 мин) происходили рост мощности волн альфа-диапазона в левой лобной (F3) и теменных (P3 и P4) областях, уменьшение мощности волн бета-диапазона в обеих префронтальных областях (Fp1 и Fp2) у женщин 21–39 лет [27].

Изучение влияния перорального приема экстракта лавандового масла также показало увеличение мощности альфа-активности, наиболее выраженное в центрально-теменных от-

ведениях, что ассоциируется со стресспротективным эффектом [28].

Исследование эффектов массажа ЭМ и ароматерапии на взрослых 25–65 лет, обслуживающих себя пожилых (старше 65 лет) и пожилых, нуждающихся в уходе (старше 65 лет), показало, что у взрослых 25–65 лет во время ароматерапии маслом лаванды и массажа маслом жожоба (контроль) наблюдался рост мощности альфа-активности в левой префронтальной области (Fp1). У пожилых, обслуживающих себя самостоятельно, увеличилась мощность альфа-активности в Fp1 после массажа маслом жожоба и снизилась частота пульса после ароматерапии. В группе пожилых, нуждающихся в уходе, значимых изменений физиологических показателей выявлено не было [29].

В небольшом контролируемом исследовании было отмечено, что стресспротективный эффект ЭМ лаванды, снижение болевой чувствительности в значительной степени связаны с плацебо-эффектом [30].

В корректурной пробе ЭМ лаванды показало возрастзависимый эффект. У молодых людей 20–25 лет после ингаляции в корректурной пробе отмечалось увеличение скорости работы на 1-й и 2-й минутах, а в теппинг-тесте скорость работы достоверно повышалась на 11–20 с. При изучении умственной работоспособности в корректурной пробе с кольцами Ландольта у мужчин 20–60 лет ингаляция ЭМ лаванды узколистной вызвала статистически незначимые изменения [31]. В той же работе показано отсутствие воздействия на самооценку, измеряемую с помощью теста САН (самочувствие, активность, настроение). В сочетании с ЭМ можжевельника виргинского масло лаванды, по результатам теста САН, улучшало общее самочувствие, настроение и увеличивало общее количество переработанной информации. При этом ЭМ лаванды узколистной в концентрации 1 мг/м³, не влияя на результаты тестирования испытуемых при изолированном предъявлении, усиливала эффекты ЭМ можжевельника при ингаляции смеси масел [32].

Мята перечная. Еще одним часто используемым средством ароматерапии является ЭМ

мяты перечной (*Mentha piperita* L.). Данное масло при исследовании 12 женщин 21–39 лет вызывало депрессию альфа-волн в лобных и теменных областях и рост мощности бета-активности в префронтальных регионах симметрично [27]. В работе S. Lin et al. ароматерапия ЭМ мяты перечной сочеталась с предъявлением на экране компьютера прямоугольных изображений белого, синего и красного цвета. В префронтальной области увеличилась мощность альфа- и бета-волн при воздействии всех цветов. Мощность тета- и дельта-волн значительно выросла при воздействии белого и красного цвета. В лобной области белый цвет увеличивал мощность альфа-волн, а красный усиливал мощность в тета- и бета-диапазонах. В теменной области наблюдались рост мощности волн альфа-диапазона под воздействием всех цветов, рост мощности бета-активности под действием белого и красного цвета, рост биоэлектрической активности тета-диапазона под влиянием только красного цвета. В затылочной области белый цвет увеличил мощность альфа-активности; красный – тета-, альфа- и бета-активности; синий – дельта- и тета-активности [33]. Ингаляции ЭМ мяты перечной улучшали физическую работоспособность [9] и снижали тревожность [21], что согласуется с указанными выше нейрофизиологическими изменениями.

Розмарин. Отдельное вдыхание масла розмарина улучшало память и вызывало десинхронизацию, характерную для активации нервной системы [25]. Вместе с тем О.Л. Кундульян выделяет две группы обследуемых в зависимости от типа реакции на данное ЭМ [34]. Быстрые эффекты в одной группе обследуемых связаны с увеличением мощности тета-активности в левом полушарии по данным электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Эти эффекты проявлялись в уменьшении времени распознавания слов. Медленные гуморальные механизмы, характерные для другой группы, предположительно, связаны с содержанием биоактивных компонентов розмарина в крови, поскольку они развиваются постепенно и имеют более длительный эффект. У лиц, имеющих подобный

типа реагирования, отмечалось увеличение коherентности в тета- и бета-2-частотных диапазонах в ответственных за зрительный анализ структурах коры [35].

Можжевельник виргинский. ЭМ можжевельника, по результатам теста САН, достоверно улучшало общее состояние и настроение, снижало напряжение и увеличивало внимательность; отмечены рост скорости переработки информации, уменьшение количества ошибок в тесте простой сенсомоторной реакции [32].

Пихта цельнолистная. С. Kim и С. Song исследовали влияние масла пихты на студентов. Вдыхание данного ЭМ в течение 3 мин улучшило психологическое состояние по шкале POMS и уменьшило тревожность в тесте STAI. При анализе вариабельности сердечного ритма у девушек наблюдалось снижение отношения высокочастотного и низкочастотного компонентов спектра (LF/HF) и частоты сердечных сокращений (ЧСС) после ароматерапии, что свидетельствует об уменьшении выраженности симпатических влияний. У юношей ЧСС после ароматерапии повысилась, а LF/HF значительно не изменилось [36].

Котовник кошачий. Исследование влияния масла котовника кошачьего показывает неоднозначные результаты. Ингаляция ЭМ в концентрации 1 мг/м³ в течение 60 мин умственной нагрузки привела к значимому улучшению самочувствия и настроения, снижению напряженности в тесте САН; увеличению бодрости при самооценке по методике Дембо–Рубинштейн в модификации А.М. Прихожан; увеличению скорости и правильности выполнения корректурной пробы [37]. В исследовании влияния ЭМ котовника кошачьего на психоэмоциональное состояние при участии 50 студентов обоего пола в возрасте 18–22 лет значимых эффектов выявлено не было. Время ингаляции составило 10 и 20 мин [38]. Данное ЭМ оказалось более выраженное положительное влияние на темп работы в корректурной пробе у лиц в возрасте 17–21 года по сравнению с таковым у обследуемых 22–45 лет [39]. Разноплановость эффектов, вероятно, связана не только с воз-

растными особенностями, но и с разными методиками обследования – экспозиции ЭМ значительно отличались у разных авторов.

Гвоздичное дерево. ЭМ гвоздичного дерева улучшало настроение и снижало напряженность, увеличивало показатели внимательности у молодых людей 17–21 года после вдыхания в течение 60 мин при учебной нагрузке [40]. Данное ЭМ в контролируемом исследовании достоверно улучшало все показатели тестов САН и СЭС (самочувствие, эмоциональное состояние): общее состояние, самочувствие, настроение, работоспособность, бодрость, внимательность, расслабленность, а также спокойствие, энергичность и приподнятость настроения. Однако в данной работе не измерялись вегетативные, нейрофизиологические параметры. Также следует отметить, что время экспозиции (60 мин) значительно превосходило рекомендуемые в других исследованиях, в т. ч. теми же авторами, экспозиции (7–10 мин) [41].

Кипарис вечнозеленый. Вдыхание масла хвои кипариса вечнозеленого улучшало результаты корректурной пробы (выросла скорость знаков и снизилось число ошибок на 1-й и 2-й минутах), но не оказывало влияния на психоэмоциональное состояние [41]. Имеются косвенные подтверждения редукции тревожности при ингаляции ЭМ кипариса [42], полученные в исследованиях поведенческой активности и экспрессии белков, связанных с синаптической активностью и чувствительностью к фактору роста нервов, на мышах.

Апельсин. В работе Е.К. Айдаркина и соавт. эфирное масло апельсина увеличивало время зрительно-моторной реакции у студентов, однако объем выборки ($n = 15$) не позволяет судить о достоверности результатов [43]. Также данное ЭМ достоверно снижало концентрацию оксигемоглобина в правой префронтальной коре и вызывало появление эмоционального ощущения спокойствия и комфорта у женщин молодого возраста [44]. Масло апельсина уменьшало уровень ситуационной тревожности и субъективную выраженность боли у пациентов с почечной недостаточностью, находящихся на гемодиализе [45]. Исследование влияния коли-

чества вдыхаемого ЭМ апельсина на уровень тревожности, субъективного напряжения, ЧСС и тонус икроножных мышц у мужчин при анксиогенных нагрузках косвенно показало сохранение анксиолитического эффекта в широком диапазоне концентраций [46].

Иланг-иланг. Изучение эффекта курсового применения данного ЭМ на небольших (11–13 чел.) группах женщин не выявило различий между накожным нанесением, ингаляцией и плацебо как в физиологических показателях (температура, артериальное давление), так и в уровне тревожности, однако, по результатам опроса, значимо улучшилось самочувствие во всех группах [47].

Жасмин многоцветковый. Вдыхание аромата жасмина многоцветкового в вечернее время в течение 30 мин у 10 студентов снизило мощность альфа-активности, в утреннее и дневное время значимых изменений показателей ЭЭГ после вдыхания ЭМ не наблюдалось. Общий анализ психологического состояния 30 студентов с помощью опросника POMS выявил снижение усталости и напряженности после ароматерапии, общий показатель расстройства настроения уменьшился не только у участников, вдыхавших аромат цветов, но и в контрольной группе (18 чел.), что может быть вызвано нахождением в состоянии покоя в течение 30 мин [48].

Копайба. Масло копайбы выделяется из смолы деревьев рода *Copaifera*. Вдыхание данного ЭМ во время умственной нагрузки у 11 испытуемых снизило тревожность (по данным опросника STAI), ЧСС и уровень кортизола в слюне после задания. В левой фронтальной области во время выполнения математического задания при ароматерапии сократилась мощность бета-активности [49].

Камфора. Исследование эффектов вдыхания ЭМ камфоры у 43 студентов колледжа показало снижение диастолического давления и ЧСС, мощности в гамма- и бета-2-частотных диапазонах ЭЭГ, а также относительной мощности тета-ритма [50].

Кофе. Вдыхание синтетического запаха кофе в течение 9 мин снижало мощность альфа-

активности ЭЭГ у молодых женщин во фронтальных, префронтальных и левой теменной областях. Мощность волн в бета-диапазоне выросла в префронтальных областях [26, 42]. Исследование K.N. Park et al. не выявило различий между нейрофизиологическими эффектами ЭМ мяты перечной и запаха кофе. При этом действие ЭМ лаванды было противоположным – вызывало увеличение альфа-активности в теменных областях [26]. Однако данное исследование проводилось в малой группе (12 женщин) без указания интервалов между воздействиями и рандомизации порядка воздействий, без оценки изменений работоспособности и психометрических показателей.

Гендерные особенности влияний ЭМ

Исследование влияния ароматических масел на психофизиологические характеристики женщин 23–60 лет ($n = 23$) показало следующие результаты. ЭМ лаванды, розмарина, жасмина, тимьяна и мускатного шалфея увеличивали относительную мощность альфа-ритма в правой и левой префронтальной коре, масла эвкалипта и ромашки – только в правой префронтальной коре. На относительную мощность медленной бета-активности оказывали влияние масла лаванды, розмарина и розы – после ингаляции она повышалась в правой префронтальной коре. Масло герани увеличивало данную активность как в правой, так и в левой префронтальной коре. Соотношение мощностей альфа- и быстрого бета-ритма, являющееся показателем спокойствия, выросло под воздействием масла мускатного шалфея в правой и левой префронтальной коре, под воздействием ЭМ розмарина и мяты перечной – только в правой. На частоту пульса ингаляция ЭМ значимого влияния не оказала [25].

У лиц мужского пола не выявлено изменений биоэлектрической активности и физиологических показателей под влиянием ЭМ лаванды, апельсина. При этом на мужчин апельсин оказывал анксиолитическое действие [46].

Таким образом, анализ литературы показывает, что более выраженные эффекты ЭМ

наблюдаются у женщин. Однако данные результаты могут быть связаны с тем, что большинство исследований проводилось на добровольцах женского пола.

Заключение

Исследования подтверждают влияние одорантов на симпатическую и парасимпатическую нервную систему, а также на нейрофизиологическую активность головного мозга [51]. Кроме того, аромакомпозиции могут воздействовать на нейроэндокринную систему, косвенно влияя на эмоциональное состояние, поведение человека и функциональную активность внутренних органов [52]. Применение ароматерапии способствует расширению функциональных возможностей организма через влияние на вегетативное обеспечение системной гемодинамики и оптимизирующее действие на региональную гемодинамику [53–55]. Стимуляция обонятельного анализатора воздействует на биомаркеры стресса, уровни дегидроэпиандростерона, эстрadiола, дофамина в крови, выраженность окислительного стресса и даже секрецию кожного сала [56]. Однако по-прежнему остаются процессы, в отношении которых аромаэффекты еще не изучены.

Сложности оценки эффектов ароматерапии связаны как с особенностями функционирования обонятельного анализатора, так и с отсутствием стандартизации при проведении исследований. В настоящее время идентифицировано около 300 типов обонятельных рецепторов, что наряду с разнообразием действующих на них лигандов затрудняет изучение ольфакторной чувствительности [9]. Также в работах применяются разные методы ароматерапии и разное время воздействия одоранта, что затрудняет сравнение полученных результатов.

Одной из главных проблем изучения эффектов ароматерапии является отсутствие единого протокола исследований. Анализ литературы показал, что большинство экспериментов на людях имеет недостатки: малый объем выборок, отсутствие рандомизации, преобладание в выборках лиц женского пола, недостаточное использование объективных физиологических

критериев. В работах, в которых применялись методы объективного оценивания результатов, использованы разные критерии (например, разные частотные диапазоны ЭЭГ, критерии оценки вегетативного обеспечения кардиоге-

модинамики), что также затрудняет сравнение эффектов ЭМ. Для более полного понимания и описания механизмов психофизиологического действия ароматических соединений необходимы дальнейшие исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Павленкович С.С., Токаева Л.К., Беспалова Т.А. Психофизиологические особенности учебной адаптации студентов-первокурсников физкультурного вуза в гендерном аспекте // Соврем. проблемы науки и образования. 2015, № 5. Ст. № 717.
2. Жумакова Т.А., Антонец К.В., Чурукова Н.М. Психоэмоциональный статус студентов при адаптации к учебному процессу // Науч. дискуссия: вопр. медицины. 2016. № 12(42). С. 53–58.
3. Вятлева О.А. Нейрофизиологические различия подростков с разным уровнем потребности в движении // Асимметрия. 2014. Т. 8, № 2. Р. 33–47.
4. Деваев Н.П. Роль экзаменационного стресса в изменениях вариабельности ритма сердца и биоэлектрической активности головного мозга у студенток медицинского колледжа: дис. ... канд. биол. наук. Владимир, 2011. 114 с.
5. Новичкова Н.И., Каллистов Д.Ю., Сухова А.В., Романова Е.А., Романов А.И. Особенности функционального состояния центральной нервной системы у лиц с хронической бессонницей и прогноз формирования нарушений сна // Здравоохранение РФ. 2018. Т. 62, № 5. С. 249–253. <https://doi.org/10.18821/0044-197X-2018-62-5-249-253>
6. Северов А.А. Особенности психофункциональных реакций на стрессогенные воздействия и их направленная коррекция у молодых людей: дис. ... канд. мед. наук. Волгоград, 2009. 155 с.
7. Алиеванов В.В. Обратная связь и типологические особенности высшей нервной деятельности // Журн. высш. нерв. деятельности им. И.П. Павлова. 1991. Т. 41, № 2. С. 397–407.
8. Овчинников В.Г., Сентябрев Н.Н., Чубатова О.И., Камчатников А.Г., Ракова Е.В., Щедрина Е.В. Экспериментальное обоснование принципов составления композиций эфирных масел // Соврем. проблемы науки и образования. 2014. Т. 2. Ст. № 501.
9. Шутова С.В. Ароматерапия: физиологические эффекты и возможные механизмы (обзор литературы) // Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки. 2013. Т. 18, № 4-1. Р. 1330–1336.
10. Угрюмова Н.В. Ароматерапия как одно из средств профилактики и лечения синдрома эмоционального выгорания // Наука и современность. 2014. № 29. Р. 136–139.
11. Mori K. Odor Maps in the Olfactory Bulb // The Olfactory System: From Odor Molecules to Motivational Behaviors. Tokyo: Springer, 2014. P. 59–69. https://doi.org/10.1007/978-4-431-54376-3_4
12. Ibarra-Soria X., Nakahara T.S., Lilue J., Jiang Y., Trimmer C., Souza M.A.A., Netto P.H.M., Ikegami K., Murphy N.R., Kusma M., Kirton A., Saraiva L.R., Keane T.M., Matsunami H., Mainland J., Papes F., Logan D.W. Variation in Olfactory Neuron Repertoires Is Genetically Controlled and Environmentally Modulated // eLife. 2017. Vol. 6. Art. № e21476. <https://doi.org/10.7554/elife.21476>
13. Espinoza S., Sukhanov I., Efimova E.V., Kozlova A., Antonova K.A., Illiano P., Leo D., Merkulyeva N., Kalinina D., Musienko P., Rocchi A., Mus L., Sotnikova T.D., Gainetdinov R.R. Trace Amine-Associated Receptor 5 Provides Olfactory Input into Limbic Brain Areas and Modulates Emotional Behaviors and Serotonin Transmission // Front. Mol. Neurosci. 2020. Vol. 13. Art. № 18. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2020.00018>
14. Xu Z., Li Q. TAAR Agonists // Cell. Mol. Neurobiol. 2020. Vol. 40, № 2. Р. 257–272. <https://doi.org/10.1007/s10571-019-00774-5>
15. Dewan A. Olfactory Signaling via Trace Amine-Associated Receptors // Cell Tissue Res. 2021. Vol. 383, № 1. Р. 395–407. <https://doi.org/10.1007/s00441-020-03331-5>

16. *Rutigliano G., Accorroni A., Zucchi R.* The Case for TAAR1 as a Modulator of Central Nervous System Function // *Front. Pharmacol.* 2018. Vol. 8, Art. № 987. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00987>
17. *Glezer I., Malnic B.* Olfactory Receptor Function // *Handb. Clin. Neurol.* 2019. Vol. 164. P. 67–78. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63855-7.00005-8>
18. *Eriksson N., Wu S., Do C.B., Kiefer A.K., Tung J.Y., Mountain J.L., Hinds D.A., Francke U.* A Genetic Variant Near Olfactory Receptor Genes Influences Cilantro Preference // *Flavour.* 2012. Vol. 1, № 1. Art. № 22. <https://doi.org/10.1186/2044-7248-1-22>
19. *Gisladottir R.S., Ivarsdottir E.V., Helgason A., Jonsson L., Hannesdottir N.K., Rutsdottir G., Arnadottir G.A., Skuladottir A., Jonsson B.A., Nordahl G.L., Ulfarsson M.O., Helgason H., Halldorsson B.V., Nawaz M.S., Tragante V., Sveinbjornsson G., Thorgeirsson T., Oddsson A., Kristjansson R.P., Bjornsdottir G., Thorgeirsson G., Jonsdottir I., Holm H., Gudbjartsson D.F., Thorsteinsdottir U., Stefansson H., Sulem P., Stefansson K.* Sequence Variants in TAAR5 and Other Loci Affect Human Odor Perception and Naming // *Curr. Biol.* 2020. Vol. 30, № 23. P. 4643–4653.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.09.012>
20. *Быстрова М.Ф., Колесников С.С.* Правило «один нейрон–один рецептор» в физиологии и генетике обоняния // *Успехи физиол. наук.* 2020. Т. 51, № 3. Р. 3–15. <https://doi.org/10.31857/S0301179820030042>
21. *Sayorwan W., Siripornpanich V., Piriayapunyaporn T., Hongratananaworakit T., Kotchabhakdi N., Ruangrungsi N.* The Effects of Lavender Oil Inhalation on Emotional States, Autonomic Nervous System, and Brain Electrical Activity // *J. Med. Assoc. Thail.* 2012. Vol. 95, № 4. P. 598–606.
22. *Ahmed Kamal El-din El-Anssary A.* Aromatherapy as Complementary Medicine // *Essential Oils – Bioactive Compounds, New Perspectives and Applications* / ed. by M. Santana de Oliveira, W. Almeida da Costa, S. Gomes Silva. IntechOpen, 2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92021>
23. *Kusumawardani S.R., Fitri L.L., Suprijanto.* Theta Brainwave Activity as the Response to Lavender (*Lavendula angustifolia*) Aromatherapy Inhalation of Postgraduate Students with Academic Stress Condition // *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2017. Vol. 180. Art. № 012271. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/180/1/012271>
24. *Ojha P., Singh V., Thacker A.K.* Odor-Induced Modulation of Electroencephalogram Waves in Healthy Controls // *Natl. J. Physiol. Pharm. Pharmacol.* 2017. Vol. 7, № 9. P. 952–956. <https://doi.org/10.5455/njppp.2017.7.0413411052017>
25. *Choi N.-Y., Wu Y.-T., Park S.-A.* Effects of Olfactory Stimulation with Aroma Oils on Psychophysiological Responses of Female Adults // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022. Vol. 19, № 9. Art. № 5196. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095196>
26. *Lee I.* Effects of Inhalation of Relaxing Essential Oils on Electroencephalogram Activity // *Int. J. New Technol. Res.* 2016. Vol. 2, № 5. P. 37–43.
27. *Park K.H., Kim H.J., Oh B., Seo M., Lee E., Ha J.* Evaluation of Human Electroencephalogram Change for Sensory Effects of Fragrance // *Skin Res. Technol.* 2019. Vol. 25, № 4. P. 526–531. <https://doi.org/10.1111/srt.12682>
28. *Dimpfel W.* Classification of Herbal Drug Effects by Discriminant Analysis of Quantitative Human EEG Data // *Neurosci. Med.* 2019. Vol. 10, № 2. P. 101–117. <https://doi.org/10.4236/nm.2019.102007>
29. *Sato M., Koshu Y., Sugimoto M.* Effect of Aromatic Massage on Brain Waves and Physiological Indices of Older Adults // *Psychogeriatrics.* 2024. Vol. 24, № 4. P. 950–958. <https://doi.org/10.1111/psyg.13153>
30. *Masaoka Y., Takayama M., Yajima H., Kawase A., Takakura N., Homma I.* Analgesia Is Enhanced by Providing Information Regarding Good Outcomes Associated with an Odor: Placebo Effects in Aromatherapy? // *Evid. Based Complement. Altern. Med.* 2013. Vol. 2013. Art. № 921802. <https://doi.org/10.1155/2013/921802>
31. *Ярош А.М., Тонковцева В.В., Бекмамбетов Т.Р., Коваль Е.С., Беззубчик В.В., Наговская Е.Е.В.* Влияние эфирного масла лаванды узколистной на функции нервной системы людей разного возраста // Сб. науч. тр. Гос. Никит. ботан. сада. 2018. Т. 146. С. 262–270. <https://doi.org/10.25684/NBG.scbook.146.2018.44>
32. *Ярош А.М., Тонковцева В.В., Борода Т.В., Серобаба Л.А., Середина О.С., Борисова Е.В., Максимова И.Н., Овчаренко Ю.П., Сущенко Л.Г., Державицкая Н.И., Страшко И.Ю., Грицкевич О.И., Кулак Н.И., Самотковская Т.А.* Влияние на нервную систему человека композиции эфирных масел лаванды узколистной и можжевельника виргинского // Сб. науч. тр. Гос. Никит. ботан. сада. 2015. Т. 141. С. 79–85
33. *Lin S., Wang Y., Wu K., Yu G., Liu C., Su C., Yi F.* Study on the Effect of *Mentha × piperita L.* Essential Oil on Electroencephalography upon Stimulation with Different Visual Effects // *Molecules.* 2022. Vol. 27, № 13. Art. № 4059. <https://doi.org/10.3390/molecules27134059>
34. *Кундульян О.Л.* Исследование нейрофизиологических коррелятов влияния одорантов на эффективность зрительного опознания: дис. ... канд. биол. наук. Ростов н/Д., 2007. 192 с.

35. Айдаркин Е.К., Кундульян О.Л. Сенсорные и гуморальные механизмы влияния одорантов на эффективность зрительного опознания // Валеология. 2007. № 3. С. 30–42.
36. Kim C., Song C. Physiological and Psychological Relaxation Effects of Fir Essential Oil on University Students // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2022. Vol. 19, № 9. Art. № 5063. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095063>
37. Ярош А.М., Ибрагимова Э.Э., Тонковцева В.В., Бекмамбетов Т.Р. Влияние эфирного масла котовника кошачьего на психоэмоциональное состояние и умственную работоспособность обучающихся // Уч. зап. Крым. федер. ун-та им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2019. Т. 5(71), № 1. С. 200–211.
38. Тонковцева В.В., Ярош А.М., Бирюкова Е.А. Особенности влияния эфирного масла *Nereta cataria* L. на психоэмоциональное состояние людей разных возрастных групп // Человек–Природа–Общество: теория и практика безопасности жизнедеятельности, экологии и валеологии. 2020. № 6(13). С. 142–148.
39. Ярош А.М., Батура И.А., Тонковцева В.В., Наговская В.В. Влияние эфирного масла котовника кошачьего на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы людей с оптимальным артериальным давлением // Уч. зап. Крым. федер. ун-та им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2021. Т. 7, № 4. С. 224–233.
40. Ярош А.М., Ибрагимова Э.Э., Тонковцева В.В., Коваль Е.С., Бекмамбетов Т.Р. Влияние эфирного масла гвоздичного дерева на психоэмоциональное состояние и умственную работоспособность обучающихся // Уч. зап. Крым. федер. ун-та им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2018. Т. 4(70), № 4. С. 292–301.
41. Ярош А.М., Тонковцева В.В., Дихтярук М.В. Влияние эфирных масел при укороченной экспозиции на психоэмоциональное состояние и умственную работоспособность человека // Сб. науч. тр. Гос. Никит. ботан. сада. 2015. Т. 141. С. 93–103.
42. Masuo Y., Satou T., Takemoto H., Koike K. Smell and Stress Response in the Brain: Review of the Connection Between Chemistry and Neuropharmacology // Molecules. 2021. Vol. 26, № 9. Art. № 2571. <https://doi.org/10.3390/molecules26092571>
43. Айдаркин Е.К., Кундульян О.Л., Кундульян Ю.Л., Сорокина В.А., Бибов М.Ю., Старостин А.Н. Влияние одоранта апельсина на спектральные характеристики ЭЭГ в процессе решения тестов на кратковременную зрительную память // Валеология. 2017. № 4. Ст. № 143.
44. Igarashi M., Ikeyi H., Song C., Miyazaki Y. Effects of Olfactory Stimulation with Rose and Orange Oil on Prefrontal Cortex Activity // Complement. Ther. Med. 2014. Vol. 22, № 6. P. 1027–1031. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2014.09.003>
45. Reyes M.C.G.M., Reyes M.C.G.M., Ribay K.G.L., Paragas E.D. Jr. Effects of Sweet Orange Aromatherapy on Pain and Anxiety During Needle Insertion Among Patients Undergoing Hemodialysis: A Quasi-Experimental Study // Nurs. Forum. 2020. Vol. 55, № 3. P. 425–432. <https://doi.org/10.1111/nuf.12447>
46. Goes T.C., Antunes F.D., Alves P.B., Teixeira-Silva F. Effect of Sweet Orange Aroma on Experimental Anxiety in Humans // J. Altern. Complement. Med. 2012. Vol. 18, № 8. P. 798–804. <https://doi.org/10.1089/acm.2011.0551>
47. Gnatta J.R., Piason P.P., de Lion Botero Couto Lopes C., Rogenski N.M.B., da Silva M.J.P. Aromaterapia com ylang ylang para ansiedade e autoestima: Estudo piloto // Rev. Esc. Enferm. USP. 2014. Vol. 48, № 3. P. 492–499. <https://doi.org/10.1590/s0080-623420140000300015>
48. Xiong X., Jin H., Hu W., Zeng C., Huang Q., Cui X., Zhang M., Jin Y. Benefits of *Jasminum polyanthum*'s Natural Aromas on Human Emotions and Moods // Urban For. Urban Green. 2023. Vol. 86, № 3. Art. № 128010. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128010>
49. Zhang N., Chen J., Dong W., Yao L. The Effect of Copaiba Oil Odor on Anxiety Relief in Adults Under Mental Workload: A Randomized Controlled Trial // Evid. Based Complement. Alternat. Med. 2022. Vol. 2022. Art. № 3874745. <https://doi.org/10.1155/2022/3874745>
50. Gong X., Yang Y., Xu T., Yao D., Lin S., Chang W. Assessing the Anxiolytic and Relaxation Effects of *Cinnamomum camphora* Essential Oil in University Students: A Comparative Study of EEG, Physiological Measures, and Psychological Responses // Front. Psychol. 2024. Vol. 15. Art. № 1423870. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1423870>
51. Puspitasari Y., Nurhidayah R., Katmini K. Effectiveness of Aromatherapy on Lowering Blood Pressure of Preeclampsia Mother During Conservative Treatment // J. Keperawatan. 2022. Vol. 14, № 1. P. 157–162. <https://doi.org/10.32583/keperawatan.v14i1.49>
52. Sentyabrev N.N., Doletskii A.N., Miroshnikova S.S., Kamchatnikov A.G. System Analysis of Mechanisms of Effect of Essential Oils // Head Neck Russ. J. 2022. Vol. 10, № 2, suppl. 2. P. 134–136. <https://doi.org/10.25792/HN.2022.10.2.S2.134-136>

53. Овчинников В.Г., Сентябрев Н.Н., Ракова Е.В. Половые особенности изменений церебральной гемодинамики под влиянием композиции эфирных масел // Фундам. исследования. 2012. № 9-4. Р. 823–826.

54. Айдаркин Е.К., Кундульян О.Л., Старостин А.Н., Кундульян Ю.Л. Изменение вегетативных показателей при действии одорантов // Валеология. 2009. № 4. С. 80–88.

55. Толкачева Е.В., Богдановская Н.В., Маликов Н.В. Изучение особенностей регуляции сердечно-сосудистой системы детей младшего школьного возраста в процессе их реабилитации с использованием средств ароматерапии // Педагогика, психология и мед.-биол. проблемы физ. воспитания и спорта. 2008. № 8. С. 144–148.

56. Angelucci F.L., Silva V.V., Dal Pizzol C., Spir L.G., Praes C.E.O., Maibach H. Physiological Effect of Olfactory Stimuli Inhalation in Humans: An Overview // Int. J. Cosmet. Sci. 2014. Vol. 36, № 2. P. 117–123. <https://doi.org/10.1111/ics.12096>

References

1. Pavlenkovich S.S., Tokaeva L.K., Bespalova T.A. Psikhofiziologicheskie osobennosti uchebnoy adaptatsii studentov-pervokursnikov fizkul'turnogo vuza v gendernom aspekte [Psychophysiological Features of Academic Adaptation of First-Year Students of Sports Universities from a Gender Perspective]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 5. Art. no. 717.
2. Zhumakova T.A., Antonets K.V., Churukova N.M. Psikhoemotsional'nyy status studentov pri adaptatsii k uchebnomu protsessu [Psycho-Emotional Status of University Students During Adaptation to the Educational Process]. *Nauchnaya diskussiya: voprosy meditsiny*, 2016, no. 12, pp. 53–58.
3. Vyatleva O.A. Neyrofiziologicheskie razlichiya podrostkov s raznym urovnem potrebnosti v dvizhenii [Neurophysiological Distinctions in Adolescents with Different Level of Need in Motion]. *Asimmetriya*, 2014, vol. 8, no. 2, pp. 33–47.
4. Devaev N.P. *Rol' ekzamenatsionnogo stressa v izmeneniyakh variabel'nosti ritma serdtsa i bioelektricheskoy aktivnosti golovnogo mozga u studentok meditsinskogo kolledzha* [The Effect of Examination Stress on Changes in Heart Rate Variability and Brain Bioelectrical Activity in Female Medical College Students: Diss.]. Vladimir, 2011. 114 p.
5. Novichkova N.I., Kallistov D.Yu., Sukhova A.V., Romanova E.A., Romanov A.I. The Characteristics of Functional Condition of Central Nervous System in Individuals with Chronic Insomnia and Prognosis of Development of Sleep Disorders. *Health Care Russ. Fed.*, 2018, vol. 62, pp. 249–253 (in Russ.).
6. Severov A.A. *Osobennosti psikhofunktional'nykh reaktsiy na stressogennye vozdeystviya i ikh napravленная коррекция у молодых людей* [Psychofunctional Reactions to Stressors and Their Targeted Correction in Young People: Diss.]. Volgograd, 2009. 155 p.
7. Alivanov V.V. Obratnaya svyaz' i tipologicheskie osobennosti vysshey nervnoy deyatel'nosti [Feedback and Typological Features of Higher Nervous Activity]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*, 1991, vol. 41, no. 2, pp. 397–407.
8. Ovchinnikov V.G., Sentyabrev N.N., Chubatova O.I., Kamchatnikov A.G., Rakova E.V., Shchedrina E.V. Eksperimental'noe obosnovanie printsipov sostavleniya kompozitsiy efirnykh masel [Experimental Basis of the Principles of Composition of Essential Oils]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, vol. 2. Art. no. 501.
9. Shutova S.V. Aromaterapiya: fiziologicheskie effekty i vozmozhnye mekhanizmy (obzor literatury) [Aromatherapy: Physiological Effects and Possible Mechanisms (Literature Review)]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Ser.: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2013, vol. 18, no. 4-1, pp. 1330–1336.
10. Uglyumova N.V. Aromaterapiya kak odno iz sredstv profilaktiki i lecheniya sindroma emotSIONAL'nogo vygoraniya [Aromatherapy as a Means of Preventing and Treating Burnout Syndrome]. *Nauka i sovremennost'*, 2014, no. 29, pp. 136–139.
11. Mori K. Odor Maps in the Olfactory Bulb. Mori K. (ed.). *The Olfactory System: From Odor Molecules to Motivational Behaviors*. Tokyo, 2014, pp. 59–69. https://doi.org/10.1007/978-4-431-54376-3_4
12. Ibarra-Soria X., Nakahara T.S., Lilue J., Jiang Y., Trimmer C., Souza M.A.A., Netto P.H.M., Ikegami K., Murphy N.R., Kusma M., Kirton A., Saraiva L.R., Keane T.M., Matsunami H., Mainland J., Papes F., Logan D.W. Variation in Olfactory Neuron Repertoires Is Genetically Controlled and Environmentally Modulated. *eLife*, 2017, vol. 6. Art. no. e21476. <https://doi.org/10.7554/elife.21476>
13. Espinoza S., Sukhanov I., Efimova E.V., Kozlova A., Antonova K.A., Illiano P., Leo D., Merkulyeva N., Kalinina D., Musienko P., Rocchi A., Mus L., Sotnikova T.D., Gainetdinov R.R. Trace Amine-Associated Receptor 5 Provides

- Olfactory Input into Limbic Brain Areas and Modulates Emotional Behaviors and Serotonin Transmission. *Front. Mol. Neurosci.*, 2020, vol. 13. Art. no. 18. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2020.00018>
14. Xu Z., Li Q. TAAR Agonists. *Cell. Mol. Neurobiol.*, 2020, vol. 40, no. 2, pp. 257–272. <https://doi.org/10.1007/s10571-019-00774-5>
15. Dewan A. Olfactory Signaling via Trace Amine-Associated Receptors. *Cell Tissue Res.*, 2021, vol. 383, no. 1, pp. 395–407. <https://doi.org/10.1007/s00441-020-03331-5>
16. Rutigliano G., Accorroni A., Zucchi R. The Case for TAAR1 as a Modulator of Central Nervous System Function. *Front. Pharmacol.*, 2018, vol. 8, Art. no. 987. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00987>
17. Glezer I., Malnic B. Olfactory Receptor Function. *Handb. Clin. Neurol.*, 2019, vol. 164, pp. 67–78. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63855-7.00005-8>
18. Eriksson N., Wu S., Do C.B., Kiefer A.K., Tung J.Y., Mountain J.L., Hinds D.A., Francke U. A Genetic Variant Near Olfactory Receptor Genes Influences Cilantro Preference. *Flavour*, 2012, vol. 1, no. 1. Art. no. 22. <https://doi.org/10.1186/2044-7248-1-22>
19. Gisladottir R.S., Ivarsdottir E.V., Helgason A., Jonsson L., Hannesdottir N.K., Rutsdottir G., Arnadottir G.A., Skuladottir A., Jonsson B.A., Norddahl G.L., Ulfarsson M.O., Helgason H., Halldorsson B.V., Nawaz M.S., Tragante V., Sveinbjornsson G., Thorgeirsson T., Oddsson A., Kristjansson R.P., Bjornsdottir G., Thorgeirsson G., Jonsdottir I., Holm H., Gudbjartsson D.F., Thorsteinsdottir U., Stefansson H., Sulem P., Stefansson K. Sequence Variants in *TAAR5* and Other Loci Affect Human Odor Perception and Naming. *Curr. Biol.*, 2020, vol. 30, no. 23, pp. 4643–653.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.09.012>
20. Bystrova M.F., Kolesnikov S.S. Pravilo “odin neyron–odin retseptör” v fiziologii i genetike obonyaniya [One Receptor–One Neuron Rule in the Physiology and Genetics of Olfaction]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk*, 2020, vol. 51, no. 3, pp. 3–15. <https://doi.org/10.31857/S0301179820030042>
21. Sayorwan W., Siripornpanich V., Piriayapunyaporn T., Hongratanaworakit T., Kotchabhakdi N., Ruangrungsi N. The Effects of Lavender Oil Inhalation on Emotional States, Autonomic Nervous System, and Brain Electrical Activity. *J. Med. Assoc. Thail.*, 2012, vol. 95, no. 4, pp. 598–606.
22. Ahmed Kamal El-din El-Anssary A. Aromatherapy as Complementary Medicine. Santana de Oliveira M., Almeida da Costa W., Gomes Silva S. (eds.). *Essential Oils – Bioactive Compounds, New Perspectives and Applications*. IntechOpen, 2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92021>
23. Kusumawardani S.R., Fitri L.L., Suprijanto. Theta Brainwave Activity as the Response to Lavender (*Lavendula angustifolia*) Aromatherapy Inhalation of Postgraduate Students with Academic Stress Condition. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 2017, vol. 180. Art. no. 012271. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/180/1/012271>
24. Ojha P., Singh V., Thacker A.K. Odor-Induced Modulation of Electroencephalogram Waves in Healthy Controls. *Natl. J. Physiol. Pharm. Pharmacol.*, 2017, vol. 7, no. 9, pp. 952–956. <https://doi.org/10.5455/njppp.2017.7.0413411052017>
25. Choi N.-Y., Wu Y.-T., Park S.-A. Effects of Olfactory Stimulation with Aroma Oils on Psychophysiological Responses of Female Adults. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, vol. 19, no. 9. Art. no. 5196. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095196>
26. Lee I. Effects of Inhalation of Relaxing Essential Oils on Electroencephalogram Activity. *Int. J. New Technol. Res.*, 2016, vol. 2, no. 5, pp. 37–43.
27. Park K.H., Kim H.J., Oh B., Seo M., Lee E., Ha J. Evaluation of Human Electroencephalogram Change for Sensory Effects of Fragrance. *Skin Res. Technol.*, 2019, vol. 25, no. 4, pp. 526–531. <https://doi.org/10.1111/srt.12682>
28. Dimpfel W. Classification of Herbal Drug Effects by Discriminant Analysis of Quantitative Human EEG Data. *Neurosci. Med.*, 2019, vol. 10, no. 2, pp. 101–117. <https://doi.org/10.4236/nm.2019.02007>
29. Sato M., Koshu Y., Sugimoto M. Effect of Aromatic Massage on Brain Waves and Physiological Indices of Older Adults. *Psychogeriatrics*, 2024, vol. 24, no. 4, pp. 950–958. <https://doi.org/10.1111/psyg.13153>
30. Masaoka Y., Takayama M., Yajima H., Kawase A., Takakura N., Homma I. Analgesia Is Enhanced by Providing Information Regarding Good Outcomes Associated with an Odor: Placebo Effects in Aromatherapy? *Evid. Based Complement. Altern. Med.*, 2013, vol. 2013. Art. no. 921802. <https://doi.org/10.1155/2013/921802>
31. Yarosh A.M., Tonkovtseva V.V., Bekmambetov T.R., Koval E.S., Bezzubchak V.V., Nagovskaya E.-E.V. Effect of Lavender Essential Oil on the Function of the Nervous System of People of Different Ages. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*, 2018, vol. 146, pp. 262–270 (in Russ.). <https://doi.org/10.25684/NBG.scbook.146.2018.44>

32. Yarosh A.M., Tonkovtseva V.V., Boroda T.V., Serobaba L.A., Seredina O.S., Borisova E.V., Maksimova I.N., Ovcharenko Yu.P., Sushchenko L.G., Derzhavitskaya N.I., Strashko I.Yu., Gritskevich O.I., Kulik N.I., Samotkovskaya T.A. Vliyanie na nervnyu sistemu cheloveka kompozitsii efirnykh masel lavandy uzkolistnoy i mozhzhevel'nika virginskogo [Essential Oil Composition of *Lavandula officinalis* and *Juniperus virginiana* and Its Effect on Human Nervous System]. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*, 2015, vol. 141, pp. 79–85.
33. Lin S., Wang Y., Wu K., Yu G., Liu C., Su C., Yi F. Study on the Effect of *Mentha × piperita* L. Essential Oil on Electroencephalography upon Stimulation with Different Visual Effects. *Molecules*, 2022, vol. 27, no. 13. Art. no. 4059. <https://doi.org/10.3390/molecules27134059>
34. Kundup'yan O.L. *Issledovanie neyrofiziologicheskikh korrelyatov vliyaniya odorantov na effektivnost' zritel'nogo opoznaniya* [Neurophysiological Correlates of the Influence of Odorants on the Efficiency of Visual Recognition: Diss.]. Rostov-on-Don, 2007. 192 p.
35. Aydarkin E.K., Kundup'yan O.L. Sensornye i gumoral'nye mekhanizmy vliyaniya odorantov na effektivnost' zritel'nogo opoznaniya [Sensory and Humoral Mechanisms of the Influence of Odorants on the Efficiency of Visual Recognition]. *Valeologiya*, 2007, no. 3, pp. 30–42.
36. Kim C., Song C. Physiological and Psychological Relaxation Effects of Fir Essential Oil on University Students. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, vol. 19, no. 9. Art. no. 5063. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095063>
37. Yarosh A.M., Ibragimova E.E., Tonkovtseva V.V., Bekmambetov T.R. Vliyanie efirnogo masla kotovnika koshach'ego na psikhoemotsional'noe sostoyanie i umstvennyu rabotosposobnost' obuchayushchikhsya [Impact of *Nepeta cataria* Essential Oil on the Psycho-Emotional State and Mental Capacity of Students]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya*, 2019, vol. 5, no. 1, pp. 200–211.
38. Tonkovtseva V.V., Yarosh A.M., Biryukova E.A. Osobennosti vliyaniya efirnogo masla *Nepeta cataria* L. na psikhoemotsional'noe sostoyanie lyudey raznykh vozrastnykh grupp [The Peculiarities of the Influence Essential Oil of *Nepeta cataria* L. on the Psycho-Emotional State of People from Different Age Groups]. *Chelovek–Priroda–Obshchestvo: teoriya i praktika bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti, ekologii i valeologii*, 2020, no. 6, pp. 142–148.
39. Yarosh A.M., Batura I.A., Tonkovtseva V.V., Nagovskaya V.V. Vliyanie efirnogo masla kotovnika koshach'ego na funktsional'noe sostoyanie serdechno-sosudistoy sistemy lyudey s optimal'nym arterial'nym davleniem [Impact of Essential Oil of *Nepeta cataria* on the Functional State of the Cardiovascular System of the Elderly with Optimal Blood Pressure]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya*, 2021, vol. 7, no. 4, pp. 224–233.
40. Yarosh A.M., Ibragimova E.E., Tonkovtseva V.V., Koval' E.S., Bekmambetov T.R. Vliyanie efirnogo masla gvozdichnogo dereva na psikhoemotsional'noe sostoyanie i umstvennyu rabotosposobnost' obuchayushchikhsya [Impact of Clove Tree Essential Oil on the Psycho-Emotional State of Students]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya*, 2018, vol. 4, no. 4, pp. 292–301.
41. Yarosh A.M., Tonkovtseva V.V., Dikhtyaruk M.V. Essential Oils Effect on Human Psychoemotional State and Mental Capacity in Case of Shorter Exposure. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*, 2015, vol. 141, pp. 93–103 (in Russ.).
42. Masuo Y., Satou T., Takemoto H., Koike K. Smell and Stress Response in the Brain: Review of the Connection Between Chemistry and Neuropharmacology. *Molecules*, 2021, vol. 26, no. 9. Art. no. 2571. <https://doi.org/10.3390/molecules26092571>
43. Aydarkin E.K., Kundup'yan O.L., Kundup'yan Yu.L., Sorokina V.A., Bibov M.Yu., Starostin A.N. Vliyanie odoranta apel'sina na spektral'nye kharakteristiki EEG v protsesse resheniya testov na kratkovremennyyu zritel'nyu pamyat' [The Effect of Orange Odorant on Spectral EEG Parameters During the Short-Term Visual Memory Task Solving]. *Valeologiya*, 2017, no. 4. Art. no. 143.
44. Igarashi M., Ikeyi H., Song C., Miyazaki Y. Effects of Olfactory Stimulation with Rose and Orange Oil on Prefrontal Cortex Activity. *Complement. Ther. Med.*, 2014, vol. 22, no. 6, pp. 1027–1031. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2014.09.003>
45. Reyes M.C.G.M., Reyes M.C.G.M., Ribay K.G.L., Paragas E.D. Jr. Effects of Sweet Orange Aromatherapy on Pain and Anxiety During Needle Insertion Among Patients Undergoing Hemodialysis: A Quasi-Experimental Study. *Nurs. Forum*, 2020, vol. 55, no. 3, pp. 425–432. <https://doi.org/10.1111/nuf.12447>
46. Goes T.C., Antunes F.D., Alves P.B., Teixeira-Silva F. Effect of Sweet Orange Aroma on Experimental Anxiety in Humans. *J. Altern. Complement. Med.*, 2012, vol. 18, no. 8, pp. 798–804. <https://doi.org/10.1089/acm.2011.0551>

47. Gnatta J.R., Piason P.P., de Lion Botero Couto Lopes C., Rogenski N.M.B., da Silva M.J.P. Aromaterapia com *ylang ylang* para ansiedade e autoestima: Estudo piloto. *Rev. Esc. Enferm. USP*, 2014, vol. 48, no. 3, pp. 492–499. <https://doi.org/10.1590/s0080-623420140000300015>
48. Xiong X., Jin H., Hu W., Zeng C., Huang Q., Cui X., Zhang M., Jin Y. Benefits of *Jasminum polyanthum*'s Natural Aromas on Human Emotions and Moods. *Urban For. Urban Green.*, 2023, vol. 86, no. 3. Art. no. 128010. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128010>
49. Zhang N., Chen J., Dong W., Yao L. The Effect of Copaiba Oil Odor on Anxiety Relief in Adults Under Mental Workload: A Randomized Controlled Trial. *Evid. Based Complement. Alternat. Med.*, 2022, vol. 2022. Art. no. 3874745. <https://doi.org/10.1155/2022/3874745>
50. Gong X., Yang Y., Xu T., Yao D., Lin S., Chang W. Assessing the Anxiolytic and Relaxation Effects of *Cinnamomum camphora* Essential Oil in University Students: A Comparative Study of EEG, Physiological Measures, and Psychological Responses. *Front. Psychol.*, 2024, vol. 15. Art. no. 1423870. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1423870>
51. Puspitasari Y., Nurhidayah R., Katmini K. Effectiveness of Aromatherapy on Lowering Blood Pressure of Preeclampsia Mother During Conservative Treatment. *J. Keperawatan*, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 157–162. <https://doi.org/10.32583/keperawatan.v14i1.49>
52. Sentyabrev N.N., Doletskii A.N., Miroshnikova S.S., Kamchatnikov A.G. System Analysis of Mechanisms of Effect of Essential Oils. *Head Neck Russ. J.*, 2022, vol. 10, no. 2, suppl. 2, pp. 134–136. <https://doi.org/10.25792/HN.2022.10.2.S2.134-136>
53. Ovchinnikov V.G., Sentyabrev N.N., Rakova E.V. Polovye osobennosti izmeneniy tserebral'noy gemodinamiki pod vliyaniem kompozitsii efirnykh masel [Sex-Related Features of Changes in Cerebral Hemodynamics Under the Influence of a Compounded Essential Oil]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2012, no. 9-4, pp. 823–826.
54. Aydarkin E.K., Kundup'yan O.L., Starostin A.N., Kundup'yan Yu.L. Izmenenie vegetativnykh pokazateley pri deystvii odorantov [Changes in Vegetative Indexes During Odorant Influence]. *Valeologiya*, 2009, no. 4, pp. 80–88.
55. Tolkacheva E.V., Bogdanovskaya N.V., Malikov N.V. Izuchenie osobennostey reguljatsii serdechno-sosudistoy sistemy detey mladshego shkol'nogo vozrasta v protsesse ikh reabilitatsii s ispol'zovaniem sredstv aromaterapii [Study of Features of Adjusting Cardiovascular System of Children of Junior School Age in the Process of Their Rehabilitation with the Use of Tools of Aromatherapy]. *Pedagogika, psichologiya i mediko-biologicheskie problemy fizicheskogo vospitaniya i sporta*, 2008, no. 8, pp. 144–148.
56. Angelucci F.L., Silva V.V., Dal Pizzol C., Spir L.G., Praes C.E.O., Maibach H. Physiological Effect of Olfactory Stimuli Inhalation in Humans: An Overview. *Int. J. Cosmet. Sci.*, 2014, vol. 36, no. 2, pp. 117–123. <https://doi.org/10.1111/ics.12096>

Поступила в редакцию 10.10.2024 / Одобрена после рецензирования 17.04.2025 / Принята к публикации 22.04.2025.
Submitted 10 October 2024 / Approved after reviewing 17 April 2025 / Accepted for publication 22 April 2025.

Журнал медико-биологических исследований. 2025. Т. 13, № 4. С. 488–500.
Journal of Medical and Biological Research, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 488–500.



Обзорная статья

УДК 577.21+577.171.5

DOI: 10.37482/2687-1491-Z260

Актуальные аспекты физиологических особенностей пролактина (обзор)

Юлия Викторовна Кашина* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3997-5601>

Александр Николаевич Арделян* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7882-2595>

Ольга Юрьевна Манилова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2865-9037>

Влада Олеговна Коловская* ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2736-0469>

Ирина Леонидовна Чередник* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2988-954X>

Софья Константиновна Андреева* ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9674-2058>

Полина Викторовна Бранчукова* ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8924-8193>

*Кубанский государственный медицинский университет
(Краснодар, Россия)

Аннотация. Пролактин – полипептидный гормон, синтезируемый преимущественно в аденогипофизе. Синтез данного гормона осуществляется лактотрофами. Однако были обнаружены различные варианты пролактина, возникающие в результате таких процессов, как альтернативный сплайсинг первичного транскрипта, протеолитическое расщепление. Проанализированы 320 литературных источников из российских и зарубежных электронных баз данных за период с 2008 по 2024 год. После применения критерии исключения в данный обзор были включены 33 наиболее значимые работы. Известно более 300 различных биологических эффектов пролактина. У женщин данный гормон влияет на активность женского тела и выработку им прогестерона, синхронизацию овуляции и созревания фолликула, формирует «родительское поведение», настроение после родов. У мужчин – обеспечивает функциональную активность яичек, добавочных желез, регулирует половую функцию, сперматогенез, увеличивает уровень тестостерона. Стимулами для активной выработки пролактина у мужчин являются ночной сон, особенно глубокий фазовый сон, интенсивные тренировки, хронический стресс, потребление большого количества белка перед сном также может повысить концентрацию пролактина утром. У женщин уровень пролактина резко повышается во время лактации, однако перед овуляцией и после нее наблюдаются его колебания. Для обоих полов к повышению концентрации пролактина приводят острый и хронический стресс, недостаточная функция щитовидной железы, прием некоторых лекарств (например, антипсихотиков, антидепрессантов). Гиперпролактинемия у мужчин негативно влияет на либидо, сперматогенез, эрекцию и эякуляцию, вызы-

© Кашина Ю.В., Арделян А.Н., Манилова О.Ю., Коловская В.О., Чередник И.Л., Андреева С.К., Бранчукова П.В., 2025

Ответственный за переписку: Юлия Викторовна Кашина, адрес: 350063, г. Краснодар, ул. М. Седина, д. 4; e-mail: yulia-kashina@yandex.ru

вает воспаление и опухоли предстательной железы. У женщин она является одной из причин дисменореи, предменструального синдрома, менструальной мигрени, способствует развитию рака молочной железы и метастазирования, бесплодия. Отмечено влияние пролактина на иммунную систему, метаболический гомеостаз, жировой и углеводный обмены, рост волос, состояние костей и кожи, психоэмоциональную сферу, адаптацию к стрессу, синтез и метаболизм нейромедиаторов, воспалительные, травматические и болевые реакции.

Ключевые слова: пролактин, пролактиновые рецепторы, нейропептиды, пролактинемия, пролактин-стимулирующий гормон, стресс

Для цитирования: Актуальные аспекты физиологических особенностей пролактина (обзор) / Ю. В. Кашина, А. Н. Арделян, О. Ю. Манилова, В. О. Коловская, И. Л. Чередник, С. К. Андреева, П. В. Бранчукова // Журнал медико-биологических исследований. – 2025. – Т. 13, № 4. – С. 488-500. – DOI 10.37482/2687-1491-Z260.

Review article

Current Aspects of the Physiological Characteristics of Prolactin (Review)

Yulia V. Kashina* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3997-5601>

Aleksandr N. Ardelyan* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7882-2595>

Olga Yu. Manilova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2865-9037>

Vlada O. Kolovskaya* ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2736-0469>

Irina L. Cherednik* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2988-954X>

Sofya K. Andreeva* ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9674-2058>

Polina V. Branchukova* ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8924-8193>

*Kuban State Medical University
(Krasnodar, Russia)

Abstract. Prolactin is a polypeptide hormone synthesized by lactotrophs primarily in the anterior pituitary gland. However, variants of this hormone have been identified resulting from processes such as alternative splicing of the primary transcript and proteolytic cleavage. A total of 320 literature sources from Russian and foreign electronic databases for the period from 2008 to 2024 were analysed. After applying the exclusion criteria, 31 most significant studies were selected. Prolactin is known to have more than 300 different biological effects. In women, prolactin affects the activity of the corpus luteum and its progesterone secretion, synchronizes ovulation and follicle maturation, and influences parental behaviour and mood after childbirth. In men, it is involved in the functional activity of the testicles and accessory glands, regulates the sexual function and spermatogenesis as well as increases the level of testosterone. Factors stimulating prolactin production in men include nighttime sleep, especially slow-wave sleep, intense exercise and chronic stress; consuming large amounts of protein before bed can increase prolactin concentrations in the morning. In women, prolactin levels rise sharply during lactation but fluctuate before and after ovulation. In both sexes, elevated prolactin concentrations are caused by acute and chronic stress, thyroid dysfunction and the use of certain medications (e.g., antipsychotics and antidepressants). Hyperprolactinaemia in men negatively affects the libido, spermatogenesis, erection and ejaculation as well as causes inflammation and prostate tumours. In women, it is one of the causes of dysmenorrhea, premenstrual syndrome and menstrual migraines, and contributes to the development of infertility, breast cancer and metastasis.

Corresponding author: Yulia Kashina, address: ul. M. Sedina 4, Krasnodar, 350063, Russia; e-mail: yulia-kashina@yandex.ru

Prolactin has been shown to affect the immune system, metabolic homeostasis, fat and carbohydrate metabolism, hair growth, bone and skin health, psycho-emotional sphere, stress adaptation, synthesis and metabolism of neurotransmitters as well as inflammatory, traumatic and pain responses.

Keywords: *prolactin, prolactin receptors, neuropeptides, hyperprolactinaemia, prolactin-stimulating hormone, stress*

For citation: Kashina Yu.V., Ardelyan A.N., Manilova O.Yu., Kolovskaya V.O., Cherednik I.L., Andreeva S.K., Branchukova P.V. Current Aspects of the Physiological Characteristics of Prolactin (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 488–500. DOI: 10.37482/2687-1491-Z260

Пролактин представляет собой полипептидный гормон, синтезируемый преимущественно в аденогипофизе, и относится к семейству гормонов, которые входят в группу I белковых гормонов спирального пучка. Гены, кодирующие их, возникли от общего предка в результате дупликации. Разделение линий пролактина и гормона роста произошло примерно 400 млн лет назад.

Исследования пролактина начались в 1920-х годах, когда было обнаружено, что экстракт гипофиза крупного рогатого скота обладает лактогенными свойствами, а также способствует увеличению размеров щитовидной железы и индуцированию секреции зобного молочка у голубей, стимуляции лактации у кроликов. Официальная идентификация пролактина произошла в 1928 году, когда он был описан как лактогенная субстанция, присутствующая в экстрактах гипофизов различных видов млекопитающих. Изначально внимание исследователей привлекло многообразие биологических эффектов пролактина, что обусловило предложение назвать его «версатилином» за универсальность воздействия. Лишь спустя несколько десятилетий ученым удалось выделить человеческую форму гормона.

Исследования последних 10 лет значительно расширили наши представления об эффектах ряда гормонов, вырабатывающихся в клетках гипофиза, в частности пролактина. На сегодняшний день известно более 300 различных биологических эффектов пролакти-

на как в женском, так и мужском организме. Влияние данного гормона на организм низших животных заключается в контроле метаморфоза и процессов роста, теплокровных – в стимуляции анаболических процессов. У птиц пролактин способствует синтезу зобного молочка, инстинкту насиживания. У тритонов он усиливает кожную проницаемость для молекул воды, у морских рыб – снижает осмотический стресс при нересте в пресных водоемах. Классические представления о влиянии пролактина связаны, в первую очередь, с репродуктивной функцией [1]. Но новейшие исследования указывают на плейотропность данного гормона.

Цель статьи – обобщение литературных данных о строении, синтезе, выделении, рецепции, физиологических функциях пролактина.

Проанализированы 320 литературных источников из электронных баз данных Pubmed, Pubmed Central, eLIBRARY.RU, а также платформ Google Scholar, SpringerLink и Elsevier за период с 2008 по 2024 год. Был выполнен поиск на русском и английском языках с использованием следующих ключевых слов и их комбинаций: «пролактин», «рецепторы к пролактину», «пролактинемия», «пролактинстимулирующий гормон», «пролактин и метаболизм». Тексты статей анализировались полностью с выявлением их значимости в контексте возможности комплексного раскрытия обсуждаемой темы. Исключались повторяющиеся публикации, литературные источники старше 20 лет. После

применения критериев исключения в данный обзор были включены 33 наиболее значимые работы, позволяющие всесторонне раскрыть отдельные аспекты физиологических особенностей пролактина.

Строение пролактина, его синтез, выделение, метаболизм и регуляция этих процессов

Молекула пролактина представляет собой одноцепочечный белок с тремя внутримолекулярными дисульфидными связями, образованными между 6 остатками цистеина (Cys4–Cys11, Cys58–Cys174 и Cys191–Cys199 у человека) [2, 3]. Его основная форма имеет молекулярную массу около 23 кДа. Базовые концентрации пролактина в плазме крови составляют примерно 13 нг/мл (0,6 нмоль/л) у женщин и 5 нг/мл (0,23 нмоль/л) у мужчин. Верхняя граница нормы может колебаться и достигать значений порядка 15 нг/мл (0,7–0,9 нмоль/л). У человека ген пролактина расположен на 6-й хромосоме и является единственным геном, кодирующим этот гормон. Данный ген имеет размер в 10 тыс. пар нуклеотидов и состоит из 5 экзонов и 4 инtronов. Экспрессия гена пролактина регулируется двумя независимыми промоторными областями. Проксимальная промоторная область контролирует экспрессию, специфичную для гипофиза, тогда как дистальная – вне гипофиза.

Пролактин производится лактотрофными клетками, составляющими около 20 % всех клеток передней доли гипофиза, под воздействием пролактинстимулирующего гормона. Процесс синтеза включает выделение препролактина, который затем преобразуется в активную форму под влиянием определенных ферментов. Однако у многих млекопитающих, включая человека, были обнаружены различные варианты пролактина. Они могут возникать в результате работы нескольких механизмов, таких как альтернативный сплайсинг первичного транскрипта, протеолитическое расщепление молекулы пролактина, а также другие посттрансляционные модификации аминокислотной цепи.

Альтернативный сплайсинг матричной РНК пролактина рассматривается как один из возможных механизмов образования вариантов этого гормона. Он приводит к возникновению изоформ пролактина с измененными структурой и функцией. При исследовании передней доли гипофиза были обнаружены данные, подтверждающие существование альтернативно сплайсированного варианта, состоящего из 137 аминокислот. Кроме того, возможен альтернативный сплайсинг с сохранением инtronов, что также приводит к образованию новых изоформ. Однако альтернативный сплайсинг не считается основным источником вариантов пролактина. Большая их часть, вероятно, возникает в результате других процессов, таких как протеолитическое расщепление или посттрансляционные модификации. Тем не менее альтернативный сплайсинг может играть определенную роль в функциональном разнообразии [4].

Протеолитическое расщепление генерирует фрагменты пролактина, которые обладают уникальными биологическими свойствами, а посттрансляционные модификации, такие как гликозилирование или фосфорилирование, могут влиять на стабильность, секрецию и активность гормона. Эти варианты пролактина играют важную роль в регуляции его биологической активности и участвуют в различных физиологических и патологических процессах.

Помимо протеолитического расщепления, варианты пролактина могут образовываться в результате других посттрансляционных модификаций зрелой молекулы в передней доле гипофиза или плазме крови. К таким модификациям относятся димеризация и полимеризация, фосфорилирование, гликозилирование, сульфатирование и деамидирование. Димеризация и полимеризация пролактина могут приводить к образованию его высокомолекулярных форм, которые, как правило, обладают сниженной биологической активностью. Роль макромолекулярных комплексов пролактина с иммуноглобулином G (макропролактинов) важна в клинической практике, особенно в диагностике и дифференциации различных форм гиперпролактинемии.

Фосфорилированные изоформы пролактина были выделены из гипофизов крупного рогатого скота и мышей. У крупного рогатого скота доля фосфорилированного пролактина может составлять до 80 % от общего количества гипофизарного пролактина. Хотя фосфорилированный пролактин секретируется *in vitro*, его присутствие в плазме крови *in vivo* остается недоказанным. Данный вариант обладает значительно меньшей биологической активностью по сравнению с нефосфорилированной формой. Однако он может играть роль аутокринного регулятора, подавляя высвобождение нефосфорилированного пролактина из клеток GH3 [5]. Фосфорилирование пролактина и соотношение фосфорилированных/нефосфорилированных изоформ могут изменяться в течение эстрального цикла, хотя физиологическое значение этого явления до конца не изучено. Новейшие данные указывают на то, что фосфорилированный пролактин может действовать как антагонист сигнальных путей и пролиферативной активности, инициируемой нефосфорилированным пролактином, например в клетках лимфомы Nb2. Необходимы дальнейшие исследования для определения роли фосфорилированного пролактина в функционировании первичных клеток и тканей.

Гликозилированный пролактин обнаружен в гипофизе млекопитающих, амфибий и птиц. Степень гликозилирования варьирует от 1 до 60 % у разных видов, а также может изменяться в зависимости от репродуктивного статуса внутри одного вида. Гликозилирование происходит двумя путями: через азот (N-гликозилирование) или кислород (O-гликозилирование). Олигосахаридные цепи могут содержать комбинации сиаловой кислоты, фукозы, маннозы и галактозы, которые различаются как между видами, так и при разных физиологических и патологических состояниях. Гликозилирование снижает биологическую активность пролактина, а также влияет на его связывание с рецепторами и иммунологическую реактивность. Кроме того, оно изменяет скорость метаболического клиренса исследуемого гормона.

Эти посттрансляционные модификации пролактина подчеркивают сложность его регуляции и многообразие его функций в организме. Дальнейшие исследования позволят лучше понять их физиологическое и патологическое значение [6].

Пролактин может синтезироваться не только в гипофизе, но и других тканях организма. Среди расщепленных форм исследуемого гормона наиболее изученными являются варианты с молекулярными массами 14, 16 и 22 кДа. Четырнадцатикилодальтонный NH₂-концевой фрагмент представляет собой продукт посттрансляционной модификации гена пролактина, образуется в гипоталамусе и обладает схожей биологической активностью с 16-килодальтонным фрагментом. Они оба демонстрируют уникальные биологические свойства, которые будут подробно рассмотрены далее. Фрагмент с молекулярной массой 16 кДа был впервые обнаружен в экстрактах гипофиза крыс, позже идентифицирован у мышей, а также в гипофизе и плазме крови человека. Он образуется в результате ферментативной активности калликреина – эстроген-индуцированной трипсиноподобной сериновой протеазы, которая локализуется в цистернах Гольджи и секреторных гранулах лактотрофов. Калликреин расщепляет пролактин тиол-зависимым образом: тиол изменяет конформацию молекулы пролактина, делая ее доступной. Двадцатидвухкилодальтонный NH₂-концевой фрагмент образуется при обработке нативного пролактина карбоксипептидазой-β. Однако, несмотря на обнаружение этих фрагментов в гипофизе и сыворотке млекопитающих, их физиологическая роль требует дальнейшего изучения. Возможно, некоторые из этих фрагментов являются артефактами, возникающими в процессе подготовки образцов [7].

Обширный набор клеток, способных вырабатывать исследуемый гормон, а также факт существования рецепторов к нему почти во всех тканях свидетельствуют о том, что пролактин работает параллельно и как гормон, и как цитокин. Это указывает на его многофункциональность.

циональность. Кроме того, ряд исследований [8] показывает, что пролактин образуется адипоцитами, расположенными в жировых отложениях организма. Тот факт, что адипоциты способны вырабатывать указанный гормон, был случайно обнаружен при анализе в отдельно взятой культуре клеток молочной железы. Синтез пролактина в железистых клетках был значительно ниже по сравнению с адипоцитами (в 10–15 раз). Снижение его синтеза в жировых клетках в подкожной жировой клетчатке и на внутренних органах наблюдалось у пациентов с морбидным ожирением, по сравнению с людьми с нормальной массой тела. Анализ выработки данного гормона висцеральными клетками у мужчин и женщин с ожирением показал более высокий уровень у первых. Кроме того, способность жировых клеток к продукции пролактина присуща исключительно человеку; у лабораторных животных, таких как мыши и крысы, подобное явление не наблюдалось [9].

Выделяют две группы регуляторов секреции пролактина: подавляющие (дофамин, соматостатин, гамма-аминомасляная кислота (ГАМК), гастрин, гастрин-рилизинг-пептид, гистидил-пролин-дикетопиперазин, гонадотропин-связывающий белок) и стимулирующие (тиреотропин-рилизинг-гормон (ТРГ), нейротензин, меланоцит-стимулирующий гормон, окситоцин, серотонин, гонадотропин-рилизинг-гормон, вазоактивный интестинальный пептид, опиоиды (энкефалин, бета-эндорфин, метэнкефалин), ацетилхолин, бомбезин, 27-аминокислотный пептид-гистидин-изолейцин, субстанция Р, ангиотензин II). ТРГ стимулирует деятельность тиреотрофов и способствует выработке тиреотропного гормона, но не влияет прямо на выделение пролактина. Тем не менее в определенных ситуациях ТРГ может вызывать секрецию пролактина лактотрофами без сопутствующего увеличения производства тиреотропного гормона тиреотрофами. Дофамин является важным регулятором секреции пролактина, выполняющим функцию ингибитора его выделения. Он синтезируется в нейронах

аркуатного ядра гипоталамуса и доставляется через портальную систему гипофиза к лактотрофным клеткам аденоhipофиза, где связывается с D2-дофаминовыми рецепторами на их поверхности. Активация этих рецепторов приводит к ингибированию высвобождения пролактина из лактотрофных клеток. Дополнительно было установлено, что секреция исследуемого гормона также угнетается под воздействием другого нейромедиатора – ГАМК.

Стимулами для активной выработки пролактина у мужчин являются ночной сон, особенно глубокий фазовый сон, интенсивные тренировки, хронический стресс, потребление большого количества белка перед сном также может повысить концентрацию пролактина утром. У женщин резко возрастает уровень пролактина во время лактации, перед овуляцией и после нее наблюдаются колебания уровня данного гормона. Для обоих полов к повышению концентрации пролактина приводит острый и хронический стресс, недостаточная функция щитовидной железы, прием некоторых лекарств (например, антидепрессантов). Наиболее вероятно, что именно указанные факторы вызывают всплеск данного гормона, нежели снижение дофаминовой ингибиции. Несмотря на то, что некоторые соединения были идентифицированы как стимуляторы выделения пролактина у человека, их конкретная функция в качестве эндогенных активаторов нуждается в дальнейшем исследовании [10, 11].

Пролактиновые рецепторы

Рецептор пролактина (ПР) – это одиночный, связанный с мембранный белок, который принадлежит к 1-му классу суперсемейства рецепторов цитокинов, сопряженных с тирозинкиназой Janus 2 [12]. Каждый рецептор содержит внеклеточный, трансмембранный и внутриклеточный домен. Ген, кодирующий человеческий ПР, расположен в 5-й хромосоме и содержит 11 экзонов. Транскрипционная регуляция данного гена осуществляется тремя различными тканеспецифичными промоторными областями: промотор I специфичен для гонад,

промотор II – для печени, а промотор III является «общим» и присутствует как в гонадных, так и в негонадных тканях [13]. Многочисленные изоформы ПР были описаны в различных тканях. Эти изоформы являются результатами транскрипции, начинающейся с альтернативных сайтов инициации различных промоторов ПР, а также альтернативного сплайсинга не-кодирующих и кодирующих экзонных транскриптов. Хотя изоформы различаются по длине и составу цитоплазматических доменов, их внеклеточные домены идентичны. У крыс описаны три основные изоформы: короткая (291 аминокислота), средняя (393 аминокислоты) и длинная (591 аминокислота) [14].

Активация ПР осуществляется на внеклеточном и внутриклеточном доменах. На этапе активации внеклеточного домена происходит димеризация, индуцированная лигандами. Внеклеточный домен может быть далее разделен на NH₂-терминальный D1 и мембранный-проксимальный D2 субдомены. Как D1, так и D2 демонстрируют аналогии с молекулой фибронектина III типа, которая управляет взаимодействиями «рецептор–лиганд» в большинстве рецепторов цитокинов. Активация ПР включает лиганд-индуцированную последовательную его димеризацию. Каждая молекула пролактина содержит два сайта связывания. На первом этапе активации внеклеточного домена первый сайт связывания пролактина взаимодействует с молекулой ПР. Образование этого начального комплекса «гормон–рецептор» является предпосылкой для взаимодействия второго сайта связывания на той же молекуле пролактина со вторым ПР [15]. Мутация второго сайта связывания пролактина пагубна для активации данного рецептора, которая может быть инициирована только при образовании тримерного комплекса – 2 рецептора и 1 гормон.

Активация внутриклеточного домена приводит к активации Jak2 и фосфорилированию рецептора:

1. Трансмембранные и внутриклеточные домены. Роль трансмембранного домена длиной в 24 аминокислоты в активации рецепто-

ров пролактина неизвестна. Внутриклеточный домен играет ключевую роль в инициации механизмов передачи сигналов, связанных с ПР. Внутриклеточные домены различных изоформ ПР различаются по длине и составу и показывают малое сходство последовательностей с другими рецепторами цитокинов. Однако есть два относительно консервативных региона, называемые box 1 и box 2. Box 1 представляет собой проксимальный к мембране, богатый пролином участок, необходимый для консенсусного сворачивания молекулы, распознаваемой трансдуцирующими молекулами. Box 2 менее консервативен и отсутствует в короткой изоформе.

2. Активация Jak2. Хотя внутриклеточный домен рецептора пролактина лишен какой-либо внутренней ферментативной активности, лиганд-опосредованная активация приводит к фосфорилированию тирозина многочисленных клеточных белков, включая сам рецептор. Мембранный-проксимальная область внутриклеточного домена конститутивно (т. е. не индуцируется связыванием лигандом) связана с тирозинкиназой, называемой Jak2 [16]. Фосфорилирование Jak2 происходит в течение 1 мин после связывания пролактина. На основании экспериментальных данных выделяются два главных условия для активации Jak2: наличие участка box 1, богатого пролином, во внутриклеточном домене; гомодимерная стехиометрия димеров, индуцированных лигандом. Ассоциация Jak2 с рецепторами пролактина может выглядеть следующим образом: box1 внутриклеточного домена принимает типичную укладку SH3 (домен гомологии киназы SRC 3), но в последовательности Jak2 не обнаружено соответствующей области SH3, что подразумевает либо присутствие белка-адаптера, либо механизм, отличный от хорошо известного связывания SH3–SH3. Активация Jak2 происходит путем трансфосфорилирования при димеризации рецептора, что сближает две молекулы Jak2. Эксперименты с химерными рецепторами показывают, что простое сопоставление областей box 1 не гарантирует активацию Jak2.

3. Фосфорилирование ПР. Киназы Jak2 трансфосфорилируют друг друга и участвуют

в фосфорилировании остатков Туг самого ПР. Фосфотирозины являются потенциальными точками связывания/стыковки для молекул-посредников, содержащих домены SH2. Хотя фосфорилирование Jak2 происходит во всех активных изоформах, фосфорилирование Туг самого рецептора не происходит при активации короткой формы, несмотря на наличие четырех остатков Туг в ее внутриклеточном домене. Некоторые клеточные функции, такие как пролиферация, опосредованная короткой формой пролактиновых рецепторов, могут осуществляться без фосфорилирования ПР. Длинная форма также содержит многочисленные остатки Туг, многие из которых фосфорилируются при активации ПР.

Сигнальные пути, связанные с ПР:

1. STAT-белки. Основным посредником в передаче сигналов рецепторов цитокинов является семейство белков-трансдукторов и активаторов транскрипции (STAT) [17]. В настоящее время оно состоит из 8 членов. Четыре из них, STAT1, STAT3 и особенно STAT5a и STAT5b, были идентифицированы как молекулы-трансдукторы пролактиновых рецепторов [18]. STAT содержит 5 консервативных особенностей доменов: домен связывания ДНК, SH3-подобный домен, SH2-подобный домен, NH₂- и COOH-концевой трансактивирующий домен. Согласно консенсусной модели активации STAT, фосфорилированный остаток Туг-активированного рецептора цитокинов взаимодействует с доменом SH2 STAT. Затем он, будучи состыкованным с рецептором, фосфорилируется рецептор-ассоциированной Jak-киназой. Фосфорилированный STAT диссоциирует от рецептора и гетеро- или гомодимеризуется через свои остатки фосфотирозина с доменом SH2 другой фосфорилированной молекулы STAT. Наконец, димер STAT транслоцируется в ядро и активирует участок связывания ДНК STAT в промоторе целевого гена. Консенсусный участок ДНК, распознаваемый гомо- или гетеродимерами STAT1, STAT3 и STAT5, называется GAS (последовательность, активированная γ-интерфероном). Он состоит из палиндром-

ной последовательности: TTCxxxGAA. Многочисленные промоторы содержат консенсусный мотив GAS, и было показано, что множественные цитокины активируют эти промоторы *in vitro* [19].

Из белков семейства STAT STAT5 (ранее известный как фактор молочной железы, MGF) признан наиболее важным трансдуктором длинных и промежуточных изоформ ПР. Он имеет две изоформы, STAT5a и STAT5b, кодируемые двумя разными генами, с 95%-й гомологией последовательностей и различиями только в COOH-концевом домене. Обе изоформы обладают Туг-694, который фосфорилируется Jak2. В дополнение к фосфорилированию Туг, активация STAT также включает фосфорилирование серина/треонина. Основное различие между этими изоформами заключается в их сайтах фосфорилирования серина/треонина. Протеинкиназа С (PKC)-α и казеинкиназа II были предложены как сериновые/треониновые киназы, активирующие STAT5. Новые данные указывают на то, что STAT5 может выполнять ингибиторную роль в регуляции транскрипции генов [19].

2. Другие сигнальные пути:

а) путь киназы Ras/Raf/MAP (группа мультифункциональных внутриклеточных сигнальных путей, содержащих одну из митоген-активируемых протеинкиназ и контролирующих транскрипцию генов). Хотя Jak/STAT являются наиболее важными путями, инициируемыми активацией рецепторов пролактина, результаты ряда исследований [19] также подразумевают активацию каскада киназы митоген-активируемого белка (MAP). Остатки фосфотирозина ПР могут служить сайтами стыковки для адаптерных белков (Shc/Grb2/SOS), соединяющих рецептор с каскадом Ras/Raf/MAPK;

б) другие киназы: c-src и Fyn. Несколько недавних отчетов указывают на вызванную пролактином активацию членов семейства киназ Src, c-src и Fyn [20]. Недавно было описано быстрое фосфорилирование Туг, вызванное пролактином, субстрата инсулинового рецептора-1 (IRS-1) и субъединицы фосфатидилинозитол

(PI) 3'-киназы. Как IRS-1, так и PI 3'-киназа, по-видимому, связаны с комплексом ПР. Было высказано предположение [20], что активация PI 3'-киназы, вызванная пролактином, опосредована Fyn.

3. Ингибиция сигнала пролактина-г: фосфатазы Туг и белки-ингибиторы. Поскольку активация рецепторов пролактина приводит к фосфорилированию Туг множества сигнальных молекул, ожидается, что инактивация сигнальных путей включает фосфатазы Туг. Экспериментальные данные [21] показывают, что SH2-содержащие Туг-фосфатазы SHP-1 и SHP-2 играют меньшую роль в подавлении сигнализации пролактина, чем в подавлении сигнализации гормона роста или других цитокинов. Недавно обнаруженная грань сигнализации рецепторов цитокинов – это идентификация семейств белков, содержащих SH2, ингибирующих пути Jak/STAT.

Действие пролактина на физиологические системы человека и животных

У женщин во время беременности пролактин вместе с такими гормонами, как эстроген, прогестерон и кортизол, действует на железистую ткань молочных желез, подготавливая ее к предстоящей лактации. В этот период лактация отсутствует из-за блокирующего влияния эстрогена и прогестерона. Снижение уровней данных гормонов после родов приводит к усилению влияния пролактина на ПР и активации лактогенеза, синтеза белков и липидов молока [22]. Пролактин влияет на активность желтого тела и выработку им прогестерона, синхронизацию овуляции и созревания фолликула, формирует «родительское поведение», настроение после родов. Он также контролирует количество, состав, водно-солевой обмен амниотической жидкости, синтез фосфолипидов в легочной ткани и липазы в печени плода, способствует внутриутробному созреванию нейроэндокринной системы и образованию миelinовой оболочки нервов. Пролактин увеличивает инсулинерезистентность в тканях матери, способствуя поступлению глюкозы в кровь плода; влияет на транспорт ионов K^+ и

Na^+ в эпителиальных клетках молочных желез и кишечника; активно воздействует на обмен Ca^{2+} , усиливая всасывание в кишечнике, используя его запасы для синтеза молока и укрепления скелета плода.

У мужчин пролактин совместно с тестостероном и лютеинизирующим гормоном обеспечивает функциональную активность яичек, добавочных желез, регулирует половую функцию, сперматогенез (усиливает подвижность сперматозоидов после эякуляции и взаимодействие с яйцеклеткой). Он способен увеличивать уровень тестостерона в крови.

Пролактин в высоких концентрациях через гипоталамус блокирует выделение гонадотропинов гипофизом, тем самым угнетая синтез половых гормонов. Кроме половых эффектов исследуемого гормона, выделяют его влияние на другие системы организма [23–28]. Отмечено его трофическое воздействие на Т- и В-лимфоциты, активность интерлейкинов, иммуноглобулинов, интерферонов. При отторжении трансплантата уже на ранних стадиях концентрация пролактина в крови резко возрастает. Известно, что аналоги дофамина блокируют выработку пролактина и снижают риски отторжения при трансплантации. Ряд работ демонстрирует влияние исследуемого гормона на метаболический гомеостаз, жировой и углеводный обмены [26], рост волос, состояние костей и кожи [27]. Он увеличивает уровень глюкозы и секрецию инсулина, повышает аппетит, оказывая влияние на синтез лептина, дифференцировку адипоцитов, что, в свою очередь, приводит к увеличению массы тела, у беременных усиливает лептинерезистентность [28].

Некоторые авторы выделяют гиперпролактинемию как фактор развития артериальной гипертензии в детском возрасте [24]. Гиперпролактинемия у мужчин негативно влияет на либидо, сперматогенез, эрекцию и эякуляцию, вызывает воспаление и опухоли предстательной железы. У женщин – является одной из причин дисменореи, предменструального синдрома, менструальной мигрени, усиливая клеточную пролиферацию и васкуляризацию в

тканях, способствует развитию рака молочной железы и метастазированию, подавляя овуляцию, ведет к бесплодию [23, 25].

Выявлено влияние пролактина на психоэмоциональную сферу, адаптацию и стресс, на синтез и метаболизм таких нейромедиаторов, как серотонин, ГАМК, опиоидные пептиды, ацетилхолин. Изучаемый гормон обладает эффектом анксиолитика, тормозит катаболические реакции, вызванные стрессом, что имеет большое значение в последнем триместре беременности и во время лактации, снижает восприимчивость к стрессорным воздействиям, тем самым блокирует негативное влияние глюкокортикоидов на плод. Пролактин регулирует суточные ритмы сна и бодрствования, наступление фазы быстрого сна. При повышении его уровня наблюдаются депрессивные расстройства, утомляемость, слабость, нарушения сна, ухудшение памяти и уменьшение либидо, а при снижении – нарушение стрессоустойчивости, ухудшение психоэмоционального состояния, баланса серотонин-дофаминергического контура, иммунодефицитного статуса. Установлено, что пролактин является нейротрансмиттером, контролирующим вегетативные и эндокринные функции организма, обеспечивает устойчивость к эмоциональному стрессу за счет поддержания баланса ключевых стресс-гормонов [29–31]. Показано его положительное действие на органы-марке-

ры стресса, заключающееся в достоверном снижении гипертрофии надпочечников, инволюции тимуса, уменьшении количества язв в желудке при моделировании стресса у крыс [32].

Известно, что при стрессе активация гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы приводит к угнетению иммунитета. Однако одновременно с увеличением уровней глюкокортикотропного гормона и глюкокортикоидов возрастает секреция пролактина, который, в свою очередь, способен стимулировать гуморальный и клеточный иммунный ответ за счет повышения фагоцитарной активности макрофагов, выделения цитокинов, усиления пролиферации иммунокомпетентных клеток, оказывая иммунопротективный эффект. Такой иммунологический ответ связан с наличием рецепторов к пролактину во всех тканях организма. Имеются научные данные о его участии в воспалительных, травматических и болевых реакциях [22, 33].

Таким образом, многочисленные исследования указывают на то, что пролактин не только регулирует половую сферу, но и воздействует на различные функциональные системы организма человека. Учитывая плеiotропность пролактина, которая проявляется как в положительных, так и негативных влияниях на различные системы и органы, нерешенными остаются вопросы о возможности использования данного гормона в терапевтических целях.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Phillipps H.R., Yip S.H., Grattan D.R. Patterns of Prolactin Secretion // Mol. Cell. Endocrinol. 2020. Vol. 502. Art. № 110679. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2019.110679>
2. Zaidi M., Yuen T., Kim S.-M. Pituitary Crosstalk with Bone, Adipose Tissue and Brain // Nat. Rev. Endocrinol. 2023. Vol. 19, № 12. P. 708–721. <https://doi.org/10.1038/s41574-023-00894-5>
3. Baumbach W.R., Bingham B., Zysk J.R. Molecular Biology of Growth // Molecular Endocrinology: Genetic Analysis of Hormones and Their Receptors / ed. by G. Rumsby, S.F. Farrow. London: BIOS Scientific Publishers, 1997. P. 157–177.
4. Chasselloup F., Bernard V., Chanson P. Prolactin: Structure, Receptors, and Functions // Rev. Endocr. Metab. Disord. 2024. Vol. 25, № 6. P. 953–966. <https://doi.org/10.1007/s11154-024-09915-8>

5. Perimenis P., Bouckenoghe T., Delplanque J., Moitrot E., Eury E., Lobbens S., Gosset P., Devisme L., Duvillie B., Abderrahmani A., Storme L., Fontaine P., Froguel P., Vambergue A. Placental Antiangiogenic Prolactin Fragments Are Increased in Human and Rat Maternal Diabetes // *Biochem. Biophys. Acta.* 2014. Vol. 1842, № 9. P. 1783–1793. <https://doi.org/10.1016/j.bbadi.2014.06.026>
6. Rana M., Jain S., Choubey P. Prolactin and Its Significance in the Placenta // *Hormones* (Athens). 2022. Vol. 21, № 2. P. 209–219. <https://doi.org/10.1007/s42000-022-00373-y>
7. Rana M., Basu-Modak S. Immunohistochemical Analysis of Heme Oxygenases, Prolactin and VEGF in the Mouse Placenta // *Int. J. Sci. Res.* 2016. Vol. 5, № 11. P. 712–716.
8. Коншин Д.А., Мокашеева Ек.Н., Мокашеева Е.Н. Избранные вопросы патологии гипоталамо-гипофизарной системы // *Eur. J. Natur. History.* 2022. № 3. С. 32–37.
9. Brandebourg T., Hugo E., Ben-Jonathan A. Adipocyte Prolactin: Regulation of Release and Putative Functions // *Diabetes Obes. Metab.* 2007. Vol. 9, № 4. P. 464–476. <https://doi.org/10.1111/j.1463-1326.2006.00671.x>
10. Петров Ю.А., Палиева Н.В., Аллахяров Д.З. Синдром гиперпролактинемии у женщин: патогенез развития репродуктивных нарушений и особенности течения беременности // Соврем. проблемы науки и образования. 2021. № 6. <https://doi.org/10.17513/spno.31212>
11. Тюзиков И.А., Греков Е.А., Смирнов А.В. Андрологические аспекты нарушений секреции пролактина // *Андрология и генит. хирургия.* 2023. Т. 24, № 3. С. 33–41. <https://doi.org/10.17650/2070-9781-2023-24-3-33-41>
12. Clapp C., Thebault S., Macotela Y., Moreno-Carranza B., Triebel J., Martínez de la Escalera G. Regulation of Blood Vessels by Prolactin and Vasoinhibins // *Recent Advances in Prolactin Research* / ed. by M. Diakonova. Cham: Springer, 2015. P. 83–95. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12114-7_4
13. Hu Z., Zhuang L., Dufau M.L. Multiple and Tissue Specific Promoter Control of Gonadal and Non-Gonadal Prolactin Receptor Gene Expression // *J. Biol. Chem.* 2016. Vol. 271, № 17. P. 10242–10246. <https://doi.org/10.1074/jbc.271.17.10242>
14. Ali S., Pellegrini I., Kelly P.A. A Prolactin-Dependent Immune Cell Line (Nb2) Expresses a Mutant Form of Prolactin Receptor // *J. Biol. Chem.* 1991. Vol. 266, № 30. P. 20110–20117.
15. Zhang C., Nygaard M., Haxholm G.W., Boutillon F., Bernadet M., Hoos S., England P., Broutin I., Kragelund B.B., Goffin V. A Residue Quartet in the Extracellular Domain of the Prolactin Receptor Selectively Controls Mitogen-Activated Protein Kinase Signaling // *J. Biol. Chem.* 2015. Vol. 290, № 19. P. 11890–11904. <https://doi.org/10.1074/jbc.M115.639096>
16. Bouilly J., Sonigo C., Auffret J., Gibori G., Binart N. Prolactin Signaling Mechanisms in Ovary // *Mol. Cell. Endocrinol.* 2012. Vol. 356, № 1–2. P. 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2011.05.004>
17. Reich N.C. STATs Get Their Move On // *JAKSTAT.* 2013. Vol. 2, № 4. Art. № e27080. <https://doi.org/10.4161/jkst.27080>
18. Yang X., Friedl A. A Positive Feedback Loop Between Prolactin and STAT5 Promotes Angiogenesis // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2015. Vol. 846. P. 265–280. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12114-7_12
19. Halim C.E., Deng S., Ong M.S., Yap C.T. Involvement of STAT5 in Oncogenesis // *Biomedicines.* 2020. Vol. 8, № 9. Art. № 316. <https://doi.org/10.3390/biomedicines8090316>
20. Watkin H., Richert M.M., Lewis A., Terrell K., McManaman J.P., Anderson S.M. Lactation Failure in Src Knockout Mice Is Due to Impaired Secretory Activation // *BMC Dev. Biol.* 2008. Vol. 8. Art. № 6. <https://doi.org/10.1186/1471-213x-8-6>
21. Fresno Vara J.A., Carretero M.V., Gerónimo H., Ballmer-Hosser K., Martín-Pérez J. Stimulation of c-Src by Prolactin is Independent of Jak2 // *J. Biochem.* 2000. Vol. 345. P. 17–24. <https://doi.org/10.1042/0264-6021:3450017>
22. Cabrera-Reyes E.A., Limón-Morales O., Rivero-Segura N.A., Camacho-Arroyo I., Cerdón M. Prolactin Function and Putative Expression in the Brain // *Endocrine.* 2017. Vol. 57, № 2. P. 199–213. <https://doi.org/10.1007/s12020-017-1346-x>
23. Адамян Л.В., Ярмолинская М.И., Суслова Е.В. Синдром гиперпролактинемии: от теории к практике // Проблемы репродукции. 2020. Т. 26, № 2. С. 27–33. <https://doi.org/10.17116/repro20202602127>
24. Каладзе Н.Н., Ревенко Н.А. Сердечно-сосудистые эффекты пролактина у детей с артериальной гипертензией // Тавр. мед.-биол. вестн. 2015. Т. 18, № 1. С. 61–64.
25. Bernard V., Young J., Binart N. Prolactin – a Pleiotropic Factor in Health and Disease // *Nat. Rev. Endocrinol.* 2019. Vol. 15, № 6. P. 356–365. <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0194-6>
26. Pircchio R., Graziadio C., Colao A., Pivonello R., Auriemma R.S. Metabolic Effects of Prolactin // *Front. Endocrinol. (Lausanne).* 2022. Vol. 13. Art. № 1015520. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.1015520>
27. Macotela Y., Ruiz-Herrera X., Vázquez-Carrillo D.I., Ramírez-Hernández G., Martínez de la Escalera G., Clapp C. The Beneficial Metabolic Actions of Prolactin // *Front. Endocrinol. (Lausanne).* 2022. Vol. 13. Art. № 1001703. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.1001703>
28. Lopez-Vicchi F., De Winne C., Brie B., Sorianello E., Ladyman S.R., Becu-Villalobos D. Metabolic Functions of Prolactin: Physiological and Pathological Aspects // *J. Neuroendocrinol.* 2020. Vol. 32, № 11. Art. № e12888. <https://doi.org/10.1111/jne.12888>

29. Paragliola R.M., Binart N., Salvatori R. Prolactin // The Pituitary / ed. by S. Melmed. London: Academic Press, 2022. P. 131–172. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99899-4.00025-1>
30. Fiala L., Lenz J., Sajdlova R. Effect of Increased Prolactin and Psychosocial Stress on Erectile Function // Andrologia. 2021. Vol. 53, № 4. Art. № e14009. <https://doi.org/10.1111/and.14009>
31. Krysiak R., Kowalcze K., Okopień B. Sexual Function and Depressive Symptoms in Men with Hypoprolactinaemia Secondary to Overtreatment of Prolactin Excess: A Pilot Study // Endocrinol. Diabetes Nutr. (Engl. Ed.). 2022. Vol. 69, № 4. P. 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.endien.2021.03.004>
32. Юматов Е.А., Кашина Ю.В., Чередник И.Л. Психофизиология эмоций, эмоционального стресса и адаптации студентов медицинских университетов: моногр. М.: Спутник+, 2024. 265 с.
33. Лясникова М.Б., Белякова Н.А., Цветкова И.Г., Родионов А.А., Ларева А.В. Риски развития выраженного алиментарно-конституционального ожирения и метаболических нарушений: интервенционное сравнительное исследование // Кубан. науч. мед. вестн. 2023. Т. 30, № 1. С. 49–57. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2023-30-1-49-57>

References

1. Phillipps H.R., Yip S.H., Grattan D.R. Patterns of Prolactin Secretion. *Mol. Cell. Endocrinol.*, 2020, vol. 502. Art. no. 110679. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2019.110679>
2. Zaidi M., Yuen T., Kim S.-M. Pituitary Crosstalk with Bone, Adipose Tissue and Brain. *Nat. Rev. Endocrinol.*, 2023, vol. 19, no. 12, pp. 708–721. <https://doi.org/10.1038/s41574-023-00894-5>
3. Baumbach W.R., Bingham B., Zysk J.R. Molecular Biology of Growth. Rumsby G., Farrow S.F. (eds.). *Molecular Endocrinology: Genetic Analysis of Hormones and Their Receptors*. London, 1997, pp. 157–177.
4. Chasselong F., Bernard V., Chanson P. Prolactin: Structure, Receptors, and Functions. *Rev. Endocr. Metab. Disord.*, 2024, vol. 25, no. 6, pp. 953–966. <https://doi.org/10.1007/s11154-024-09915-8>
5. Perimenis P., Bouckenoghe T., Delplanque J., Moitrot E., Eury E., Lobbens S., Gosset P., Devisme L., Duvillie B., Abderrahmani A., Storme L., Fontaine P., Froguel P., Vambergue A. Placental Antiangiogenic Prolactin Fragments Are Increased in Human and Rat Maternal Diabetes. *Biochem. Biophys. Acta*, 2014, vol. 1842, no. 9, pp. 1783–1793. <https://doi.org/10.1016/j.bbadi.2014.06.026>
6. Rana M., Jain S., Choubey P. Prolactin and Its Significance in the Placenta. *Hormones (Athens)*, 2022, vol. 21, no. 2, pp. 209–219. <https://doi.org/10.1007/s42000-022-00373-y>
7. Rana M., Basu-Modak S. Immunohistochemical Analysis of Heme Oxygenases, Prolactin and VEGF in the Mouse Placenta. *Int. J. Sci. Res.*, 2016, vol. 5, no. 11, pp. 712–716.
8. Konyashin D.A., Mokasheva Ek.N., Mokasheva È.N. Izbrannye voprosy patologii gipotalamo-gipofizarnoi sistemy [Selected Issues of the Pathology of the Hypothalamo-Pituitary System]. *Eur. J. Nat. Hist.*, 2022, no. 3, pp. 32–37.
9. Brandebourg T., Hugo E., Ben-Jonathan A. Adipocyte Prolactin: Regulation of Release and Putative Functions. *Diabetes Obes. Metab.*, 2007, vol. 9, no. 4, pp. 464–476. <https://doi.org/10.1111/j.1463-1326.2006.00671.x>
10. Petrov Yu.A., Palieva N.V., Allakhayarov D.Z. Sindrom giperprolaktinemii u zhenschchin: patogenet razvitiya reproduktivnykh narusheniy i osobennosti techeniya beremennosti [Hyperprolactinemia Syndrome in Women: Pathogenesis of the Development of Reproductive Disorders and Features of the Course of Pregnancy]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2021, no. 6. <https://doi.org/10.17513/spno.31212>
11. Tyuzikov I.A., Grekov E.A., Smirnov A.V. Andrological Aspects of Prolactin Secretion Disorders. *Andrologiya i genital'naya khirurgiya*, 2023, vol. 24, no. 3, pp. 33–41 (in Russ.). <https://doi.org/10.17650/2070-9781-2023-24-3-33-41>
12. Clapp C., Thebault S., Macotela Y., Moreno-Carranza B., Triebel J., Martínez de la Escalera G. Regulation of Blood Vessels by Prolactin and Vasoinhibins. Diakonova M. (ed.). *Recent Advances in Prolactin Research*. Cham, 2015, pp. 83–95. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12114-7_4
13. Hu Z., Zhuang L., Dufau M.L. Multiple and Tissue Specific Promoter Control of Gonadal and Non-Gonadal Prolactin Receptor Gene Expression. *J. Biol. Chem.*, 2016, vol. 271, no. 17, pp. 10242–10246. <https://doi.org/10.1074/jbc.271.17.10242>
14. Ali S., Pellegrini I., Kelly P.A. A Prolactin-Dependent Immune Cell Line (Nb2) Expresses a Mutant Form of Prolactin Receptor. *J. Biol. Chem.*, 1991, vol. 266, no. 30, pp. 20110–20117.
15. Zhang C., Nygaard M., Haxholm G.W., Boutillon F., Bernadet M., Hoos S., England P., Broutin I., Kragelund B.B., Goffin V. A Residue Quartet in the Extracellular Domain of the Prolactin Receptor Selectively Controls Mitogen-Activated Protein Kinase Signaling. *J. Biol. Chem.*, 2015, vol. 290, no. 19, pp. 11890–11904. <https://doi.org/10.1074/jbc.M115.639096>
16. Bouilly J., Sonigo C., Auffret J., Gibori G., Binart N. Prolactin Signaling Mechanisms in Ovary. *Mol. Cell. Endocrinol.*, 2012, vol. 356, no. 1–2, pp. 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2011.05.004>

17. Reich N.C. STATs Get Their Move On. *JAKSTAT*, 2013, vol. 2, no. 4. Art. no. e27080. <https://doi.org/10.4161/jkst.27080>
18. Yang X., Friedl A. A Positive Feedback Loop Between Prolactin and STAT5 Promotes Angiogenesis. *Adv. Exp. Med. Biol.*, 2015, vol. 846, pp. 265–280. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12114-7_12
19. Halim C.E., Deng S., Ong M.S., Yap C.T. Involvement of STAT5 in Oncogenesis. *Biomedicines*, 2020, vol. 8, no. 9. Art. no. 316. <https://doi.org/10.3390/biomedicines8090316>
20. Watkin H., Richert M.M., Lewis A., Terrell K., McManaman J.P., Anderson S.M. Lactation Failure in Src Knockout Mice Is Due to Impaired Secretory Activation. *BMC Dev. Biol.*, 2008, vol. 8. Art. no. 6. <https://doi.org/10.1186/1471-213x-8-6>
21. Fresno Vara J.A., Carretero M.V., Gerónimo H., Ballmer-Hofer K., Martín-Pérez J. Stimulation of c-Src by Prolactin Is Independent of Jak2. *Biochem. J.*, 2000, vol. 345, no. 1, pp. 17–24. <https://doi.org/10.1042/0264-6021.345.0017>
22. Cabrera-Reyes E.A., Limón-Morales O., Rivero-Segura N.A., Camacho-Arroyo I., Cerdón M. Prolactin Function and Putative Expression in the Brain. *Endocrine*, 2017, vol. 57, no. 2, pp. 199–213. <https://doi.org/10.1007/s12020-017-1346-x>
23. Adamyan L.V., Yarmolinskaya M.I., Suslova E.V. Hyperprolactinemia Syndrome: From Theory to Practice. *Problemy reproduktsii*, 2020, vol. 26, no. 2, pp. 27–33 (in Russ.). <https://doi.org/10.17116/repro20202602127>
24. Kaladze N.N., Revenko N.A. Serdechno-sosudistye effekty prolaktina u detey s arterial'noy gipertenziey [Cardiovascular Effect of Prolactin in Children with Arterial Hypertension]. *Tavricheskiy mediko-biologicheskiy vestnik*, 2015, vol. 18, no. 1, pp. 61–64.
25. Bernard V., Young J., Binart N. Prolactin – a Pleiotropic Factor in Health and Disease. *Nat. Rev. Endocrinol.*, 2019, vol. 15, no. 6, pp. 356–365. <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0194-6>
26. Pirchio R., Graziadio C., Colao A., Pivonello R., Auriemma R.S. Metabolic Effects of Prolactin. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*, 2022, vol. 13. Art. no. 1015520. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.1015520>
27. Macotela Y., Ruiz-Herrera X., Vázquez-Carrillo D.I., Ramírez-Hernandez G., Martínez de la Escalera G., Clapp C. The Beneficial Metabolic Actions of Prolactin. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*, 2022, vol. 13. Art. no. 1001703. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.1001703>
28. Lopez-Vicchi F., De Winne C., Brie B., Sorianello E., Ladyman S.R., Becu-Villalobos D. Metabolic Functions of Prolactin: Physiological and Pathological Aspects. *J. Neuroendocrinol.*, 2020, vol. 32, no. 11. Art. no. e12888. <https://doi.org/10.1111/jne.12888>
29. Paragliola R.M., Binart N., Salvatori R. Prolactin. Melmed S. (ed.). *The Pituitary*. London, 2022, pp. 131–172. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99899-4.00025-1>
30. Fiala L., Lenz J., Sajdlova R. Effect of Increased Prolactin and Psychosocial Stress on Erectile Function. *Andrologia*, 2021, vol. 53, no. 4. Art. no. e14009. <https://doi.org/10.1111/and.14009>
31. Krysiak R., Kowalcze K., Okopień B. Sexual Function and Depressive Symptoms in Men with Hypoprolactinaemia Secondary to Overtreatment of Prolactin Excess: A Pilot Study. *Endocrinol. Diabetes Nutr. (Engl. Ed.)*, 2022, vol. 69, no. 4, pp. 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.endien.2021.03.004>
32. Yumatov E.A., Kashina Yu.V., Cherednik I.L. *Psikhofiziologiya emotsiy, emotsiional'nogo stressa i adaptatsii studentov meditsinskikh universitetov* [Psychophysiology of Emotions, Emotional Stress and Adaptation of Medical University Students]. Moscow, 2024. 265 p.
33. Lyasnikova M.B., Belyakova N.A., Tsvetkova I.G., Rodionov A.A., Lareva A.V. Risk of Developing Severe Alimentary-Constitutional Obesity and Metabolic Disorders: Interventional Comparative Study. *Kubanskiy nauchnyy meditsinskiy vestnik*, 2023, vol. 30, no. 1, pp. 49–57 (in Russ.). <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2023-30-1-49-57>

Поступила в редакцию 17.03.2025 / Одобрена после рецензирования 16.06.2025 / Принята к публикации 19.06.2025.
Submitted 17 March 2025 / Approved after reviewing 16 June 2025 / Accepted for publication 19 June 2025.



Журнал медико-биологических исследований. 2025. Т. 13, № 4. С. 501–507.
Journal of Medical and Biological Research, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 501–507.



Краткое сообщение
УДК 616-092.12:612.13
DOI: 10.37482/2687-1491-Z269

Анализ гемодинамических, антропометрических параметров и адаптационного потенциала системы кровообращения у старших школьников г. Владикавказа

Виктория Александровна Беляева* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8126-5275>

*Институт биомедицинских исследований – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук» (с. Михайловское, Пригородный р-н, Республика Северная Осетия – Алания, Россия)

Аннотация. Проанализированы основные гемодинамические и антропометрические показатели учеников старших классов г. Владикавказа с учетом гендерных различий и адаптационного потенциала системы кровообращения. Антропометрические параметры большинства обследуемых соответствовали норме, однако отношение обхвата талии к длине тела у мальчиков было ниже, чем у девочек, что соответствовало более низкому содержанию абдоминального жира. Установлено, что на фоне снижения резервов адаптации к концу учебного года адаптационный потенциал системы кровообращения у большинства школьников (68 %) соответствовал состоянию напряжения адаптации (2,23 [2,03; 2,39] балла). Мобилизация функциональных резервов организма у мальчиков реализовывалась преимущественно за счет повышения систолического артериального давления (до 125,0 [118,0; 130,5] мм рт. ст.), у девочек – частоты сердечных сокращений (до 87,15 [82,57; 96,97] уд./мин).

Ключевые слова: гемодинамические параметры, индекс массы тела, адаптационный потенциал системы кровообращения, функциональные резервы, индекс центрального ожирения, старшие школьники

Для цитирования: Беляева, В. А. Анализ гемодинамических, антропометрических параметров и адаптационного потенциала системы кровообращения у старших школьников г. Владикавказа / В. А. Беляева // Журнал медико-биологических исследований. – 2025. – Т. 13, № 4. – С. 501-507. – DOI 10.37482/2687-1491-Z269.

© Беляева В.А., 2025

Ответственный за переписку: Виктория Александровна Беляева, адрес: 363110, Республика Северная Осетия – Алания, Пригородный р-н, с. Михайловское, ул. Вильямса, д. 1; e-mail: pursh@inbox.ru

Brief communication

Analysis of Haemodynamic and Anthropometric Parameters and Adaptive Potential of the Circulatory System in High School Students (Vladikavkaz)

Victoria A. Belyayeva* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8126-5275>

*Institute of Biomedical Investigations – the Affiliate of Vladikavkaz Scientific Centre of Russian Academy of Sciences (Mikhaylovskoye Settlement, Prigorodny District, Republic of North Ossetia – Alania, Russia)

Abstract. The paper analysed key haemodynamic and anthropometric parameters of high school students living in Vladikavkaz taking into account sex-related differences and the adaptive potential of the circulatory system. The anthropometric parameters of most schoolchildren were within the norm, but the waist-to-height ratio was lower in boys than in girls, which corresponded to a higher content of abdominal fat in the latter. It was found that, with decreased adaptive reserves by the end of the school year, the adaptive potential in most schoolchildren (68 %) could be classified as adaptive stress (2.23 [2.03; 2.39] points). The body's functional reserves in boys were mobilized primarily through an increase in systolic pressure (125.0 [118.0; 130.5] mmHg), while in girls, in heart rate (up to 87.15 [82.57; 96.97] bpm).

Keywords: *haemodynamic parameters, body mass index, adaptive potential of the circulatory system, functional reserves, waist-to-height ratio, high school students*

For citation: Belyayeva V.A. Analysis of Haemodynamic and Anthropometric Parameters and Adaptive Potential of the Circulatory System in High School Students (Vladikavkaz). *Journal of Medical and Biological Research*, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 501–507. DOI: 10.37482/2687-1491-Z269

Современные учебные программы, направленные на получение большого количества информации в сжатые сроки, вызывают хроническое переутомление у школьников, что в совокупности с гиподинамией способствует возникновению различных гемодинамических нарушений и снижению резервов адаптации. Для учащихся старших классов, организм которых проходит период полового созревания и существенного изменения всех физиологических систем, такие нагрузки зачастую оказываются чрезмерными. Значимость проблемы возрастает на фоне того, что среди подростков массово

распространены несоблюдение режима дня, сокращение продолжительности сна, питание ультраобработанными продуктами (фастфуд и др.), увлечение гаджетами. Все эти факторы существенно повышают кардиометаболические риски [1, 2]. Ранний скрининг на основе антропометрических и гемодинамических параметров позволяет предотвращать возникновение кардиометаболических заболеваний путем выявления подростков группы риска и проведения профилактических мероприятий [3, 4].

Цель работы состояла в исследовании основных гемодинамических и антропометри-

Corresponding author: Victoria Belyayeva, address: ul. Vil'yamsa 1, s. Mikhaylovskoe, 363110, Prigorodnyy r-n, Respublika Severnaya Osetiya – Alaniya, Russia; e-mail: pursh@inbox.ru

ческих параметров, а также адаптационного потенциала (АП) системы кровообращения школьников с учетом гендерных различий.

В весенний период 2023 года были обследованы обучающиеся 9-го класса школы № 46 г. Владикавказа (81 чел.: 37 девочек, 44 мальчика) в возрасте 16,1 [15,4; 16,7] года, родители или законные представители которых подписали добровольное информированное согласие. Исследование проведено с учетом конфиденциальности сведений об участниках, все проводимые процедуры соответствовали Хельсинкской декларации (редакция 2013 года) и были одобрены этическим комитетом Института биомедицинских исследований Владикавказского научного центра Российской академии наук (протокол № 3 от 20.02.2022).

Замеры проводились в отдельном помещении с комфортной температурой (20–22 °C) в отсутствие посторонних раздражителей в первой половине дня с предварительным покойем в течение 5–7 мин. Артериальное давление (АД, мм рт. ст.) и частоту пульса (ЧСС, уд./мин) измеряли двукратно в положении сидя, с помощью электронного автоматического сфигмоманометра BC 52 (Mabis Healthcare Inc., Германия) после 10 мин покоя. По разнице систолического (САД) и диастолического (ДАД) определялось пульсовое давление (ПАД, мм рт. ст.). Среднее артериальное давление рассчитывалось по формуле $AД_{ср} = ПАД/3 + ДАД$. На основании длины (h , м) и массы (m , кг) тела вычислялись индекс массы тела школьников по формуле ИМТ = m/h^2 , а также индексы WHtR (отношение обхвата талии к длине тела) и WAR (отношение обхвата талии к обхвату руки), характеризующие центральное ожирение. АП системы кровообращения определялся по формуле Р.М. Баевского и оценивался по шкале: ≤2,10 балла – удовлетворительная адап-

тация; 2,11–3,2 балла – напряжение адаптации; 3,21–4,30 балла – неудовлетворительная адаптация; ≥4,31 балла – срыв адаптации.

Статистический анализ данных проводился в компьютерной программе Statistica v. 10.0. Характер распределения исследуемых параметров проверялся с помощью теста Шапиро–Уилка, по результатам которого дальнейший анализ выполнялся с использованием U -критерия Манна–Уитни. Параметры представлены в виде медианы, 1-го и 3-го квартилей – $Me [Q_1; Q_3]$. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Установлено, что значения САД у мальчиков, ЧСС и АП системы кровообращения как у мальчиков, так и у девочек выше нормы, остальные показатели находились в ее пределах согласно классификации Всемирной организации здравоохранения (см. таблицу).

Выявлены значимые гендерные различия гемодинамических параметров. САД, ПАД были более высокими у мальчиков, а ЧСС – у девочек. В пубертатный период у подростков могут возникать подъемы АД вследствие выраженной диспропорции между увеличением объема сердца и емкостью сосудистой сети, что зачастую фиксируется у рослых обследуемых. Высокая активность эндокринных желез в этом возрасте усугубляет ситуацию и может вызывать повышение АД. САД при этом может возрастать до 140–160 мм рт. ст., а ДАД оставаться в пределах нормы¹. Частые эпизоды подъема АД на фоне повышенной утомляемости, головных болей и головокружения могут свидетельствовать о нейроциркуляторной дистонии. Высокорослые подростки с отягощенной наследственностью по артериальной гипертензии и периодическими подъемами АД составляют группу особого контроля. В нашем исследовании было отмечено более высокое ПАД у мальчиков. Необходимо иметь в виду,

¹Шарапов А.Н., Безобразова В.Н., Догадкина С.Б., Кмитъ Г.В., Рублева Л.В., Ермакова И.В., Сельверова Н.Б., Соколов Е.В. Подростковый возраст: особенности развития сердечно-сосудистой, дыхательной, эндокринной систем и адаптации к различным нагрузкам в условиях учебного процесса: метод. пособие для педагогов и психологов. М.: НИИ школ. технологий, 2017. 32 с.

Основные антропометрические, гемодинамические параметры и АП системы кровообращения у старших школьников г. Владикавказа, Me [Q_1 ; Q_3]

Key anthropometric and haemodynamic parameters and adaptive potential of the circulatory system in high school students living in Vladikavkaz, Me [Q_1 ; Q_3]

Параметр	Девочки (n = 37)	Мальчики (n = 44)	p
Длина тела, см	167,0 [163,0; 170,0]	180,0 [174,5; 183,0]	0,000
Обхват талии, см	67,0 [63,0; 70,0]	74,0 [70,0; 80,0]	0,000
WHR, у. е.	0,38 [0,37; 0,39]	0,35 [0,34; 0,36]	0,000
Обхват руки, см	25,0 [23,0; 26,5]	29,0 [25,5; 30,0]	0,001
WAR, у. е.	2,73 [2,58; 2,85]	2,70 [2,59; 2,86]	0,348
Масса тела, кг	55,0 [52,0; 60,0]	70,0 [60,0; 75,0]	0,000
ИМТ, у. е.	20,31 [18,78; 21,55]	21,87 [18,75; 24,02]	0,112
ЧСС, уд./мин	87,15 [82,57; 96,97]	82,30 [78,19; 88,79]	0,005
САД, мм рт. ст.	115,0 [110,0; 123,0]	125,0 [118,0; 130,5]	0,000
ДАД, мм рт. ст.	78,0 [71,0; 83,0]	76,5 [70,5; 81,5]	0,390
ПАД, мм рт. ст.	37,0 [35,0; 40,0]	50,0 [42,0; 56,5]	0,000
АД _{ср} , мм рт. ст.	89,6 [86,0; 95,0]	92,8 [86,8; 97,0]	0,265
АП, баллы	2,19 [2,04; 2,36]	2,26 [2,00; 2,42]	0,541

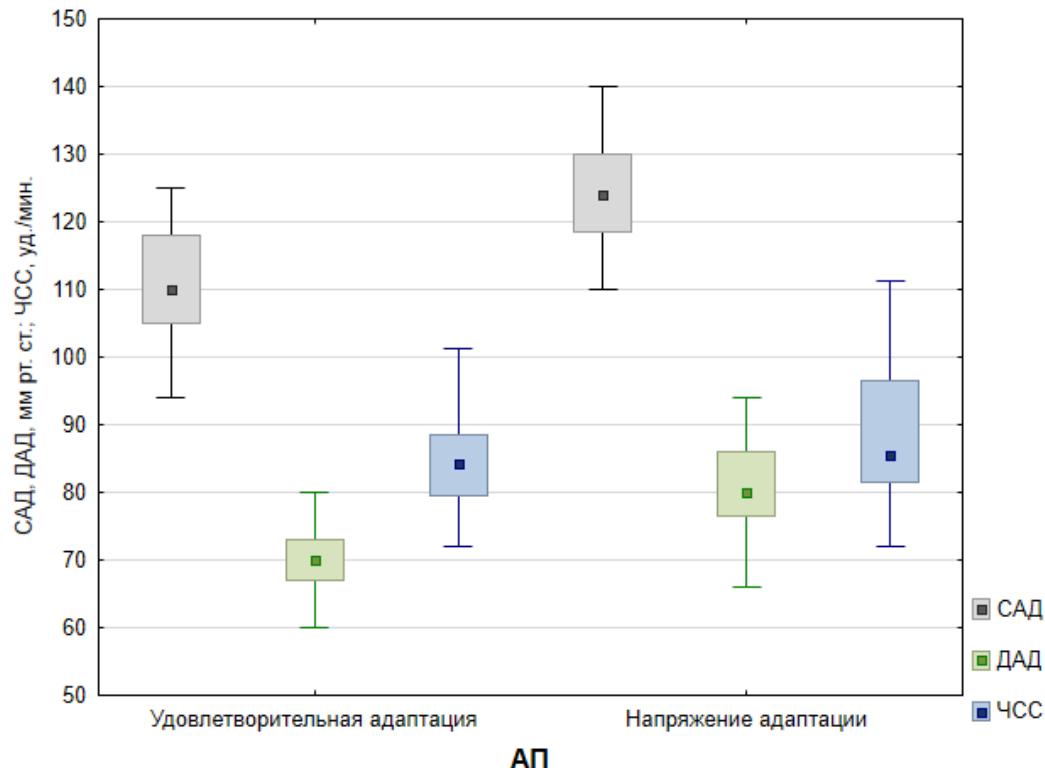
Примечание. Полужирным начертанием выделены статистически значимые различия между параметрами у девочек и мальчиков.

что этот показатель является независимым предиктором сердечно-сосудистых рисков [5].

Как мальчики, так и девочки в подавляющем большинстве (87 %) имели нормальный ИМТ. Несмотря на то, что данный показатель является надежным инструментом оценки жироотложения у детей [6, 7], его применение имеет ряд ограничений, т. к. при одинаковых ИМТ соотношение жировой и мышечной массы может отличаться [8]. WHtR же учитывает распределение абдоминального жира, поэтому этот индекс предпочтительнее в качестве предиктора кардиометаболических рисков [9, 10]. В нашем исследовании WHtR у мальчиков ниже, чем у девочек, т. е. у них содержание абдоминального жира было несколько ниже, чем у девочек, но WHtR соответствовал норме в обеих группах. Это согласуется с имеющимися данными о том, что для девочек пубертатного возраста характерны более высокий уровень жира в организме, меньшая мышечная масса и

меньшая гидратация организма [11]. На фоне снижения резервов адаптации к концу учебного года АП системы кровообращения как у мальчиков, так и у девочек соответствовал состоянию напряжения адаптации. Не выявлено школьников с неудовлетворительной адаптацией или срывом адаптации, т. к. максимальное значение АП системы кровообращения по всей выборке не превышало 3,19 балла. Установлено, что школьники с напряжением адаптации (68 %) отличались более высокими САД (p = 0,000), ДАД (p = 0,000) и ЧСС (p = 0,037) по сравнению с испытуемыми с удовлетворительной адаптацией (32 %) (см. рисунок).

Переход к донозологическим состояниям требует мобилизации функциональных резервов организма и реализуется путем активизации функционирования сердечно-сосудистой системы за счет повышения САД и ЧСС. Полученные нами данные подтверждаются результатами исследования [12]. У маль-



Гемодинамические показатели (ЧСС, САД, ДАД) старших школьников г. Владикавказа с разными уровнями АП системы кровообращения: ■ – медиана, □ – квартили, ┌ – min-max

Haemodynamic parameters (heart rate variability, systolic and diastolic pressure) in high school students of Vladikavkaz with different levels of adaptive potential of the circulatory system: ■ – median, □ – quartiles, ┌ – min-max

чиков активизация достигалась в большей мере за счет повышения САД (до 125,0 [118,0; 130,5] мм рт. ст.), у девочек – ЧСС (до 87,15 [82,57; 96,97] уд./мин). АП организма складывается из соотношения между адаптационными резервами и характеристиками действующего фактора (интенсивностью, продолжительностью и т. п.) [13].

Таким образом, у 87 % школьников ИМТ соответствовал норме. WHtR у мальчиков был ниже, чем у девочек, что свидетельствует о бо-

лее высоком содержании абдоминального жира у последних. АП системы кровообращения большинства школьников (68 %) находился в состоянии напряжения адаптации, что сопровождалось компенсаторным повышением ЧСС у девочек и САД у мальчиков. Причиной этого может служить вегетативная нестабильность в период полового созревания на фоне высокой учебной нагрузки. Повышение АД у старших школьников может расцениваться как предболезнь и требует дополнительного обследования.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Petridi E., Karatzi K., Magriplis E., Charidemou E., Philippou E., Zampelas A. The Impact of Ultra-Processed Foods on Obesity and Cardiometabolic Comorbidities in Children and Adolescents: A Systematic Review // Nutr. Rev. 2024. Vol. 82, № 7. P. 913–928. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuad095>
2. Sehn A.P., de Castro Silveira J.F., Brand C., Lemes V.B., Borfe L., Tornquist L., Pfeiffer K.A., Renner J.D.P., Andersen L.B., Burns R.D., Reuter C.P. Screen Time, Sleep Duration, Leisure Physical Activity, Obesity, and Cardiometabolic Risk in Children and Adolescents: A Cross-Lagged 2-Year Study // BMC Cardiovasc. Disord. 2024. Vol. 24, № 1. Art. № 525. <https://doi.org/10.1186/s12872-024-04089-2>
3. Xie L., Kim J., Almundo J.P., Clark J., Sunil Mathew M., Cartwright B.R., Barlow S.E., Lipshultz S.E., Messiah S.E. Anthropometry for Predicting Cardiometabolic Disease Risk Factors in Adolescents // Obesity (Silver Spring). 2024. Vol. 32, № 8. P. 1558–1567. <https://doi.org/10.1002/oby.24090>
4. Meng Y., Mynard J.P., Smith K.J., Juonala M., Urbina E.M., Niiranen T., Daniels S.R., Xi B., Magnussen C.G. Pediatric Blood Pressure and Cardiovascular Health in Adulthood // Curr. Hypertens. Rep. 2024. Vol. 26, № 11. P. 431–450. <https://doi.org/10.1007/s11906-024-01312-5>
5. Jin H., Fang S., An S., Ding Y. Association of Pulse Pressure Index with Mortality in Patients with Hypertension: Results from NHANES 1999–2018 // J. Clin. Hypertens. (Greenwich). 2025. Vol. 27, № 1. Art. № e70004. <https://doi.org/10.1111/jch.70004>
6. Баирова Т.А., Бальжиева В.В., Аюрова Ж.Г., Михалевич И.М., Парамонов А.И., Рычкова Л.В. Соотношение талии к росту – важный антропометрический дискриминатор метаболических нарушений у подростков с избыточной массой тела и ожирением: пилотное исследование // Педиатрия им. Г.Н. Сперанского. 2022. Т. 101, № 5. С. 32–42. <https://doi.org/10.24110/0031-403X-2022-101-5-32-42>
7. Sigurðardóttir B., Gribsholt S.B., Bjerregaard L.G., Bruun J.M. Review of Impacts of Using Body Mass Index as a Screening Tool in School Children: A Scoping Review // Clin. Obes. 2024. Vol. 14, № 3. Art. № e12639. <https://doi.org/10.1111/cob.12639>
8. Pinto A.A., Bim M.A., Moreno Y.M.F., de Lima L.R.A., Silva A.M., Pelegrini A. Agreement Between Body Mass Index and Body Fat in Adolescents with Different Physical Activity Levels // Res. Q. Exerc. Sport. 2023. Vol. 94, № 2. P. 454–459. <https://doi.org/10.1080/02701367.2021.2007211>
9. Ukegbu T.E., Wylie-Rosett J., Groisman-Perelstein A.E., Diamantis P.M., Rieder J., Ginsberg M., Lichtenstein A.H., Matthan N.R., Shankar V. Waist-to-Height Ratio Associated Cardiometabolic Risk Phenotype in Children with Overweight/Obesity // BMC Public Health. 2023. Vol. 23, № 1. Art. № 1549. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16418-9>
10. Eslami M., Pourghazi F., Khazdouz M., Tian J., Pourrostami K., Esmaeili-Abdar Z., Ejtahed H.-S., Qorbani M. Optimal Cut-Off Value of Waist Circumference-to-Height Ratio to Predict Central Obesity in Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis of Diagnostic Studies // Front. Nutr. 2023. Vol. 9. Art. № 985319. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.985319>
11. Kobylińska M., Antosik K., Decyk A., Kurowska K., Skiba D. Body Composition and Anthropometric Indicators in Children and Adolescents 6–15 Years Old // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2022. Vol. 19, № 18. Art. № 11591. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811591>
12. Мартусевич А.К., Разумовский А.В., Дмитриченков А.В., Исаева Л.И. Возможности восстановления адаптационного потенциала организма при донозологических состояниях // Соврем. проблемы науки и образования. 2016. № 3. Ст. № 108. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=24652> (дата обращения: 07.10.2025).
13. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Введение в донозологическую диагностику. М.: Слово, 2008. 176 с.

References

1. Petridi E., Karatzi K., Magriplis E., Charidemou E., Philippou E., Zampelas A. The Impact of Ultra-Processed Foods on Obesity and Cardiometabolic Comorbidities in Children and Adolescents: A Systematic Review. *Nutr. Rev.*, 2024, vol. 82, no. 7, pp. 913–928. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuad095>

2. Sehn A.P., de Castro Silveira J.F., Brand C., Lemes V.B., Borfe L., Tornquist L., Pfeiffer K.A., Renner J.D.P., Andersen L.B., Burns R.D., Reuter C.P. Screen Time, Sleep Duration, Leisure Physical Activity, Obesity, and Cardiometabolic Risk in Children and Adolescents: A Cross-Lagged 2-Year Study. *BMC Cardiovasc. Disord.*, 2024, vol. 24, no. 1. Art. no. 525. <https://doi.org/10.1186/s12872-024-04089-2>
3. Xie L., Kim J., Almazdoz J.P., Clark J., Sunil Mathew M., Cartwright B.R., Barlow S.E., Lipshultz S.E., Messiah S.E. Anthropometry for Predicting Cardiometabolic Disease Risk Factors in Adolescents. *Obesity (Silver Spring)*, 2024, vol. 32, no. 8, pp. 1558–1567. <https://doi.org/10.1002/oby.24090>
4. Meng Y., Mynard J.P., Smith K.J., Juonala M., Urbina E.M., Niiranen T., Daniels S.R., Xi B., Magnussen C.G. Pediatric Blood Pressure and Cardiovascular Health in Adulthood. *Curr. Hypertens. Rep.*, 2024, vol. 26, no. 11, pp. 431–450. <https://doi.org/10.1007/s11906-024-01312-5>
5. Jin H., Fang S., An S., Ding Y. Association of Pulse Pressure Index with Mortality in Patients with Hypertension: Results from NHANES 1999–2018. *J. Clin. Hypertens. (Greenwich)*, 2025, vol. 27, no. 1. Art. no. e70004. <https://doi.org/10.1111/jch.70004>
6. Bairova T.A., Balzhieva V.V., Ayurova Zh.G., Mikhalevich I.M., Paramonov A.I., Rychkova L.V. Waist-to-Height Ratio Is an Important Anthropometric Discriminator of Metabolic Disorders in Overweight and Obese Adolescents: A Pilot Study. *Pediatr. n.a. G.N. Speransky*, 2022, vol. 101, no. 5, pp. 32–42 (in Russ.). <https://doi.org/10.24110/0031-403X-2022-101-5-32-42>
7. Sigurðardóttir B., Gribsholt S.B., Bjerregaard L.G., Bruun J.M. Review of Impacts of Using Body Mass Index as a Screening Tool in School Children: A Scoping Review. *Clin. Obes.*, 2024, vol. 14, no. 3. Art. no. e12639. <https://doi.org/10.1111/cob.12639>
8. Pinto A.A., Bim M.A., Moreno Y.M.F., de Lima L.R.A., Silva A.M., Pelegrini A. Agreement Between Body Mass Index and Body Fat in Adolescents with Different Physical Activity Levels. *Res. Q. Exerc. Sport*, 2023, vol. 94, no. 2, pp. 454–459. <https://doi.org/10.1080/02701367.2021.2007211>
9. Ukegbu T.E., Wylie-Rosett J., Groisman-Perelstein A.E., Diamantis P.M., Rieder J., Ginsberg M., Lichtenstein A.H., Matthan N.R., Shankar V. Waist-to-Height Ratio Associated Cardiometabolic Risk Phenotype in Children with Overweight/Obesity. *BMC Public Health*, 2023, vol. 23, no. 1. Art. no. 1549. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16418-9>
10. Eslami M., Pourghazi F., Khazdouz M., Tian J., Pourrostami K., Esmaeili-Abdar Z., Ejtahed H.-S., Qorbani M. Optimal Cut-Off Value of Waist Circumference-to-Height Ratio to Predict Central Obesity in Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis of Diagnostic Studies. *Front. Nutr.*, 2023, vol. 9. Art. no. 985319. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.985319>
11. Kobylińska M., Antosik K., Decyk A., Kurowska K., Skiba D. Body Composition and Anthropometric Indicators in Children and Adolescents 6–15 Years Old. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, vol. 19, no. 18. Art. no. 11591. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811591>
12. Martusevich A.K., Razumovskiy A.V., Dmitrochenkov A.V., Isaeva L.I. Vozmozhnosti vosstanovleniya adaptatsionnogo potentsiala organizma pri donozologicheskikh sostoyaniyakh [Possibilities of the Restoration of Organism Adaptation Potential at Prenosological Disorders]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2016, no. 3. Art. no. 108. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=24652> (accessed: 7 October 2025).
13. Baevskiy R.M., Berseneva A.P. *Vvedenie v donozologicheskuyu diagnostiku* [Introduction to Prenosological Diagnosis]. Moscow, 2008. 176 p.

Поступила в редакцию 13.10.2025 / Одобрена после рецензирования 18.11.2025 / Принята к публикации 20.11.2025.
Submitted 13 October 2025 / Approved after reviewing 18 November 2025 / Accepted for publication 20 November 2025.

**УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ в 2025 году**

№ 1

Андреева А.В., Левицкий С.Н., Бебякова Н.А. К 110-летию со дня рождения выдающегося паразитолога профессора Елизаветы Владимировны Сороченковой

Байгужин П.А., Сашенков С.Л. Реактивность нервной системы у студенток при когнитивной нагрузке на фоне умственного и физического утомления

Захихин А.Л., Агафонов Ю.В., Долгих О.В., Башилова Е.Н. Особенности организации интерстициального компонента мышечной ткани желчного пузыря морских свинок

Ишекова Н.И., Ишеков А.Н., Горянная Н.А., Шаренкова Л.А. Гендерные особенности психофункционального состояния пациентов после эндопротезирования тазобедренного сустава на фоне реабилитации

Калашникова М.В., Саркисян Н.С., Куличенко А.Н. Фактор фон Виллебранда как маркер воспаления и гемостаза (обзор)

Кальсинна В.В. Психофизиологические компоненты функциональной готовности спортсменов с поражением опорно-двигательного аппарата при разной направленности тренировочного процесса

Левицкий С.Н., Гагарина Т.Ю., Давыдова Н.Г. Ангидротическая эктодермальная дисплазия у ребенка, обусловленная редкой мутацией в гене *EDA* (клинический случай)

Леонова Е.А., Бахова А.А., Чередник И.Л., Кашина Ю.В., Арделян А.Н. Современные взгляды на нейропептид окситоцин. Часть 1. Структура, синтез, выведение, регуляция, ингибирование и метаболизм окситоцина. Окситоциновые рецепторы (обзор)

Макарова О.А., Изатулина В.Г., Карабинская О.А. Морфофункциональные изменения в щитовидной железе половозрелых самцов крыс при отравлении уксусной кислотой

Межевова И.В., Филиппова С.Ю., Чембарова Т.В., Гненная Н.В., Новикова И.А., Гончарова А.С., Саяпин Ю.А., Гусаков Е.А., Тупаева И.О., Красникова Т.А., Димитриади С.Н., Шапошников А.В. Цитостатическое действие нового вещества трополонового ряда на культуру рака кишечника SW620

Мякишева Ю.В., Федосейкина И.В., Михайлюк Н.А. Оценка профессионального риска развития нарушений здоровья у работников нефтеперерабатывающего предприятия г. Салмара

Товмасян Л.А., Севрюкова Г.А. Особенности регионарного кровообращения у иностранных студентов на фоне локального холодового воздействия

Шатыр Ю.А., Срослова Г.А., Назаров Н.О., Глушаков Р.И. Современные представления о регулировании активности тиреоидных гормонов и механизме их действия на клеточном уровне (обзор)

№ 2

Воронцова А.С., Воробьева Н.А., Воробьева А.И., Абрамов А.А., Харькова О.А. Особенности фолатного обмена у этнических русских – уроженцев Архангельской области

Галашина Е.А., Афанасьева Г.А. Патогенетическая роль маркеров костного метаболизма в развитии остеодефицитных состояний (обзор)

Горелик В.В., Филиппова С.Н., Кастьро И.В. Использование современных экспресс-технологий в школе для повышения уровня физического здоровья детей 10–12 лет

Гудков А.Б., Коробицына Е.В., Попова О.Н., Никанов А.Н., Колмогоров С.В., Ермолин С.П. Гендерные особенности гемодинамики при воздействии холода на кисть у лиц юношеского возраста

Зинченко О.В., Антонов В.А., Шаронов Д.С., Кочкалда Ю.И., Иваненко Г.А., Пак В.А.,

Сентябрев Н.Н., Камчатников А.Г. Молекулярно-генетические и биохимические маркеры для оценки физических способностей спортсменов

Крючкова Н.Ю., Новикова И.И. Характеристика условий труда и заболеваемость средних медицинских работников на примере г. Омска
Латышевская Н.И., Севрюкова Г.А., Левченко Н.В., Тихонова Е.Н. Адаптация студентов медицинского колледжа к условиям обучения при разных образовательных стандартах
Леонова Е.А., Бахова А.А., Чередник И.Л., Кашина Ю.В., Арделян А.Н. Современные взгляды на нейропептид окситоцин. Часть II. Окситоцин в процессе эволюции. Роль окситоцина в поведенческих и соматовегетативных функциях человека и животных (обзор)

Михайлова С.В., Хрычева Т.В. Адаптивные возможности и компонентный состав тела студентов с различным уровнем двигательной активности

Никитина А.Р., Зиякаева К.Р., Каюмова А.Ф., Шамратова В.Г. Оптические и морфометрические характеристики нейтрофилов крови крыс в условиях воздействия медно-цинковой колчеданной руды

Николаев А.А., Логинов П.В., Памешова А.К. Исследование экзогенных воздействий на сперматогенез крыс по уровню средних молекул
Шутский Н.А., Кашутин С.Л., Феленко Н.С., Мизгирёв Д.В., Овчаренко И.А. Соотношение содержания морфологических вариантов мононуклеотидов при регенерации дермы у крыс после отморожения

Яковенко С.В., Корчин В.И. Оценка статуса витамина D у беременных с избыточной массой тела, проживающих в условиях высоких широт

№ 3

Булашева Е.Н., Шалабодов А.Д., Ральченко И.В. Влияние закаливающих процедур на адаптацию иммунной и эндокринной систем к холоду у детей дошкольного возраста

Гафиятуллина Г.Ш., Евдокимова Г.Б., Пузикова О.З., Галущенко О.В. Роль неонатального скрининга на иммунодефицитные состояния в оценке состояния здоровья детей (обзор)

Гераськин И.В., Дерюгина А.В., Военнов О.В., Гераськин В.А., Гераськина Н.В. Особенности влияния динамики фетального гемоглобина на содержание кислорода в крови доношенных и недоношенных новорожденных

Зубаткина О.В., Круглов С.Д. Внутриклеточный пул низко- и среднемолекулярных веществ как неспецифический интегративный показатель иммунометаболизма

Зябышева В.Н., Типисова Е.В. Индивидуально-типологические изменения дофаминергической и глюкокортикоидной активности у женщин-северянок в период минимального светового дня

Кострова Г.Н., Бебякова Н.А., Хромова А.В., Попова Ю.А., Мурашкина А.А., Пантелейева А.В. Современные маркеры эндотелиальной дисфункции (обзор)

Макарова О.А., Васильева Л.С. Экспериментальное исследование возможности коррекции гепатотоксического действия тиамазола даларгином

Пятин В.Ф., Мякишева Ю.В., Павлов А.Ф., Бочарова А.П. Нейрофизиологические и психофизиологические характеристики кибер-спортсменов во время соревновательной активности (обзор)

Семилетова В.А. Зависимость параметров вызванных потенциалов на вспышку от психофизиологических характеристик здорового человека 18–20 лет

Солонин Ю.Г. Возрастная динамика морфофункционального и физиологического статуса организма у взрослых жительниц Республики Коми

Хорсева Н.И., Григорьев П.Е. Эффекты воздействий электромагнитных полей радиочастотного и миллиметрового диапазонов на нервную систему: когнитивные процессы и психоэмоциональное состояние (обзор)

№ 4

Балберова О.В., Быков Е.В. Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма у спортсменов, специализирующихся в беге на разные дистанции

Беляева В.А. Анализ гемодинамических, антропометрических параметров и адаптаци-

онного потенциала системы кровообращения у старших школьников г. Владикавказа

Ишунина Т.А., Луценко Ю.Д., Олейникова А.В., Миронов С.Ю., Прусаченко А.В. Уровень тромбоцитов как возможный предиктор успешности обучения студентов в высших учебных заведениях

Кальдинова О.В., Долецкий А.Н. Ароматерапия как метод воздействия на когнитивные функции и эмоциональное состояние человека (обзор)

Кашина Ю.В., Арделян А.Н., Манилюва О.Ю., Коловская В.О., Чередник И.Л., Андреева С.К., Бранчукова П.В. Актуальные аспекты физиологических особенностей пролактина (обзор)

Корюкалов Ю.И., Попова Т.В., Коурова О.Г. Влияние практики релаксации на синхронизацию нейронов коры головного мозга человека

при развитии утомления во время локальной работы мышц

Мальцев В.П., Говорухина А.А., Литовченко О.Г. Нейродинамические и нейровегетативные особенности студентов с разным уровнем функционального состояния центральной нервной системы

Поскотинова Л.В., Уханова А.В. Вариационный размах кардиоинтервалов при фиксированном темпе дыхания у юношей и девушек Арктической зоны Российской Федерации (на примере Архангельской области)

Сочилин А.В., Садеков Д.Р., Котов В.С. Экологогигиеническая оценка состояния окружающей среды в районе размещения горящего террикона Донецкого каменноугольного бассейна

Тишутин Н.А., Рубченя И.Н. Связь показателей постурального баланса при выполнении двойных задач с игровым амплуа футболистов

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.

Формат А4. Поля: правое, левое – 25 мм; верхнее, нижнее – 20 мм. Абзацный отступ – 10 мм. Межстрочный интервал – полуторный. Порядковые номера страниц проставляются посередине верхнего поля страницы арабскими цифрами.

Times New Roman. Размер кегля (символов) – 14 пт; аннотации, ключевых слов – 12 пт.

Максимальный объем статей: научных статей – 10–15 страниц, обзорных статей – до 20 страниц, кратких сообщений – 4–6 страниц. 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 количество монографий; рабочий адрес с почтовым индексом; тел./факсы (служебный, домашний, мобильный), e-mail.

Параметры страницы

Форматирование основного текста

Шрифт

Объем статьи

Сведения об авторе

ORCID

Индекс УДК

Заглавие

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.

Располагается отдельной строкой слева перед заглавием статьи. Индекс УДК (универсальная десятичная классификация книг) должен соответствовать заявленной теме, проставляется научной библиотекой.

Помещается перед текстом статьи на русском и английском языках. Используется не более 11 слов.

Аннотация

Предоставляется на русском и английском языках. Аннотация должна быть:

- 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).

Авторы статей в разделах «Научная жизнь» и «Краткие сообщения» предоставляют аннотацию объемом 50–100 слов.

Ключевые слова

После аннотации указывается до 6–8 ключевых слов (словосочетаний), несущих в тексте основную смысловую нагрузку.

Примечания и комментарии

Примечания, комментарии, ссылки на нормативные документы, сайты (если это не книга, сборник, статья и т. п. в электронном виде) даются в виде подстрочных сносок (внизу страницы). Маркер сноски – арабская цифра (нумерация сквозная).

Библиографические ссылки

Библиографические ссылки на использованную литературу оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008 (п. 7 «Затекстовая библиографическая ссылка»).

- Подпункт 7.4.1 – ссылка на текст.

Например, в тексте: Общий список справочников по терминологии, охватывающий время не позднее середины XX века, дает работа библиографа И.М. Кауфмана [59];

в списке литературы: 59. Кауфман И.М. Терминологические словари: библиография. М., 1961.

- Подпункт 7.4.2 – ссылка на фрагмент текста.

Например, в тексте: [10, с. 81], [10, с. 106] и т. д.;

в списке литературы: 10. Бердяев Н.А. Смысл истории. М., 1990. 175 с.

Рисунки, схемы, диаграммы

Принимается не более 4 рисунков. Рисунки, схемы, диаграммы приводятся в тексте статьи и предоставляются отдельным файлом. Электронную версию рисунка следует сохранять в форматах *.tiff, *.tif (300 dpi). Иллюстрации должны быть четкими. В тексте статьи следует дать ссылку на конкретный рисунок, например (*рис. 2*). 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.

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) 21-61-00 (18-20); 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_heskikh-issledovaniy/

Свободная цена.