

Научный  
рецензируемый  
журнал

Издаётся с 2013 года

Выходит 4 раза в год

# ЖУРНАЛ медико-биологических исследований

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-67709  
выдано 10 ноября 2016 года  
Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий  
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)  
Подписной индекс журнала – 82797

Главный редактор **А.О. Марьяндышев**

## Редакционная коллегия:

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

## Редакционный совет:

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

Том 11, № 4  
2023

## СОДЕРЖАНИЕ

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Бебякова Н.А., Левицкий С.Н., Давыдова Н.Г., Галиева А.С.** Взаимосвязь полиморфизмов генов ренин-ангиотензиновой системы с показателями интенсивности кариеса зубов..... 381
- Стрекаловская М.Ю.** Аутосенсibilизация при злокачественных новообразованиях..... 391
- Огуй В.О., Сазонова Е.А., Быков Е.В.** Влияние авторского метода виброакустического массажа поющими чашами на ста-токинетическую устойчивость..... 398
- Кругликова Е.В., Айзман Р.И.** Суточное потребление жиров и параметры липидного профиля крови у студентов вуза на первом-втором годах обучения..... 408
- Мальцев В.П., Говорухина А.А., Мальков О.А.** Взаимо-связь полиморфизма C825T гена *GNB3* с морфологическими факторами нарушения соматического здоровья у студентов северного вуза..... 418
- Нестерова Е.В., Бичкаева Ф.А., Шенгоф Б.А.** Анализ содер-жания катехоламинов и параметров липидного обмена у аборигенного и местного европеоидного населения Арктической зоны Российской Федерации..... 429

### КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

- Борчев К.Ф.** Связь степени поражения легочной ткани с функ-циональными возможностями пациентов, переболевших коро-навирусной пневмонией..... 440

# СОДЕРЖАНИЕ

Индексируется в: Размещается в:

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
**eLIBRARY.RU**

**РУКОНТ**

INFOBASE INDEX

**CYBERLENINKA**

**Crossref**

Издательский  
дом  
**ЛАНЬ**  
www.e.lanbook.com  
электронно-библиотечная система

*Редакторы:*

А.В. Крюкова, М.Г. Аверина

*Ведущие редакторы:*

И.В. Кузнецова, А.В. Крюкова

*Переводчик*

С.В. Бирюкова

*Документовед*

Е.В. Андреева

*Верстка*

Е.Б. Красновой

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

*Адрес редакции:*

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

Тел.: +7(8182) 21-61-21

E-mail: [vestnik@narfu.ru](mailto:vestnik@narfu.ru);

[vestnik.med@narfu.ru](mailto:vestnik.med@narfu.ru)

Выход в свет 30.11.2023.

Бумага писчая. Формат 84×108 1/16

Усл. печ. л. 13,23. Уч.-изд. л. 10,82.

Тираж 250 экз. Заказ № 8453.

*Адрес типографии:*

Издательский дом

имени В.Н. Булатова САФУ

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

Свободная цена

© САФУ имени М.В. Ломоносова, 2023

## ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

**Чашин М.В., Агабеков А.И., Кайк Е.А., Гудков А.Б., Попова О.Н.** Гигиеническая характеристика загрязнения воздуха рабочей зоны сварочного производства в судостроении (на примере верфей Санкт-Петербурга)..... 451

## МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Баянова А.Е., Жданова Е.В., Лукьянова Е.Г.** Критерии напряжения механизмов адаптации у здоровых мужчин, работающих вахтовым методом в условиях Крайнего Севера..... 462

## НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

**Пятин В.Ф., Мякишева Ю.В., Громова Д.С., Павлов А.Ф.** Экспериментальные способы изучения нейрофизиологических особенностей киберспортсменов (обзор)..... 471

**Иванова Е.С., Нигматуллина Р.Р., Безбрызгов А.В.** Механизмы влияния серотонина на физическую работоспособность: описательный обзор..... 483

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

**Файнштейн Д.В., Севрюкова Г.А., Долецкий А.Н., Клаучек С.В.** Модификация методики исследования функции внешнего дыхания с учетом особенностей его выполнения у хронических канюленосителей..... 492

Указатель статей, опубликованных в 2023 году..... 498

К сведению авторов..... 501

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

Subscriptional index of the journal – 82797

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

*Editorial Board:*

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

*Editorial Council:*

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

**Vol. 11, no. 4**

**2023**

**CONTENTS**

**BIOLOGICAL SCIENCES**

- Bebyakova N.A., Levitskiy S.N., Davydova N.G., Galieva A.S.** Relationship Between Gene Polymorphisms of the Renin-Angiotensin System and Dental Caries Experience..... 381
- Strekalovskaya M.Yu.** Autosensitization in Malignant Neoplasms..... 391
- Oguy V.O., Sazonova E.A., Bykov E.V.** Influence of the Author's Method of Vibroacoustic Massage with Singing Bowls on the Results of Stabilometry..... 398
- Kruglikova E.V., Ayzman R.I.** Daily Fat Intake and Lipid Metabolism Parameters in the Blood of University Students in the First and Second Years of Study..... 408
- Mal'tsev V.P., Govorukhina A.A., Mal'kov O.A.** Association Between the C825T Polymorphism of the *GNB3* Gene and Morphological Factors of Somatic Disorders in Students of a Northern University..... 418
- Nesterova E.V., Bichkaeva F.A., Shengof B.A.** Analysis of Catecholamine Content and Lipid Metabolism Parameters in the Indigenous and Local Russian Population of the Arctic Zone of the Russian Federation..... 429

**CLINICAL MEDICINE**

- Borchev K.F.** Association Between the Degree of Lung Tissue Damage and Functional Capacity in Patients After COVID-19 Pneumonia..... 440

# CONTENTS

Indexed in:



Included in:



*Editors:*

A.V. Kryukova, M.G. Averina

*Managing Editors:*

I.V. Kuznetsova, A.V. Kryukova

*Translator*

S.V. Biryukova

*Document Manager*

E.V. Andreyeva

*Make-up by*

E.B. Krasnova

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

*Editorial office address:*

nab. Severnoy Dviny 17, room 1336,  
Arkhangelsk, 163002

Phone: +7 (8182) 21-61-21

E-mail: [vestnik@narfu.ru](mailto:vestnik@narfu.ru);  
[vestnik.med@narfu.ru](mailto:vestnik.med@narfu.ru)

Publication date 30.11.2023.

Writing paper. Format 84x108 1/16.

Conv. printer's sh. 13.23.

Acad. publ. sh. 10.82.

Circulation 250 copies. Order no. 8453.

*Printer's address:*

NArFU Publishing House named after V.N. Bulatov  
ul. Uritskogo 56, Arkhangelsk, 163060

Free price

© NArFU named after M.V. Lomonosov, 2023

## PREVENTIVE MEDICINE

- Chashchin M.V., Atabekov A.I., Kayk E.A., Gudkov A.B., Popova O.N.** Hygienic Characteristics of the Air Pollution in the Welding Working Area in Shipbuilding (the Case of St. Petersburg Shipyards)..... 451

## MEDICAL AND BIOLOGICAL SCIENCES

- Bayanova A.E., Zhdanova E.V., Luk'yanova E.G.** Criteria of the Strain on the Adaptive Mechanisms in Healthy Male Rotational Workers in the Far North..... 462

## REVIEW ARTICLES

- Pyatin V.F., Myakisheva Yu.V., Pavlov A.F.** Experimental Methods of Studying the Neurophysiological Features of Esports Players (Review)..... 471
- Ivanova E.S., Nigmatullina R.R., Bezbrayazov A.V.** Mechanisms of Serotonin Effects on Physical Performance: A Descriptive Review..... 483

## BRIEF COMMUNICATIONS

- Faynshteyn D.V., Sevriukova G.A., Doletskiy A.N., Klauchek S.V.** Modified Technique for Assessing External Respiration Function in Chronic Tracheostomy Patients..... 492
- Index of the Articles Published in 2023..... 498
- Information for Authors..... 501



Журнал медико-биологических исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 381–390.  
*Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 381–390.

Научная статья

УДК 575.224

DOI: 10.37482/2687-1491-Z158

## Взаимосвязь полиморфизмов генов ренин-ангиотензиновой системы с показателями интенсивности кариеса зубов

Наталья Александровна Бебякова\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9346-1898>

Сергей Николаевич Левицкий\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2588-620X>

Надежда Геннадьевна Давыдова\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0700-4261>

Александра Сергеевна Галиева\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7037-7730>

\*Северный государственный медицинский университет  
(г. Архангельск)

**Аннотация.** Данные о взаимосвязях состояния органов и тканей рта с функционированием системы гемодинамики интересны при изучении заболеваний тканей пародонта, их корреляций с общесоматической патологией, но зачастую исследования проводятся без учета молекулярно-генетических детерминант. **Цель** работы – установление взаимосвязи между полиморфизмами T704C, C521T гена ангиотензиногена (*AGT*), A1166C гена рецептора 1-го типа ангиотензина II (*AGT2R1*) и показателями интенсивности кариеса зубов у молодых жителей Европейского Севера России. **Материалы и методы.** Группа исследования состояла из 57 практически здоровых юношей и девушек (средний возраст – 18,2 года; доверительный интервал – 17,9–19,4 года), постоянно проживающих на территории Архангельской области. Проводили генотипирование изучаемых полиморфизмов методом пиросеквенирования, устанавливали частоты встречаемости аллелей и генотипов. Уровень ангиотензина II в плазме крови определяли иммуноферментным методом. Рассчитывали индекс КПУ (сумма кариозных, пломбированных и удаленных зубов) и выявляли степень интенсивности развития кариеса зубов у людей с наличием и отсутствием мутантных аллелей по каждому варианту генов. **Результаты.** Наличие мутантных аллелей вариантов генов *AGT* и *AGT2R1* в геноме молодых людей сопровождалось увеличением индекса КПУ, однако статистически значимое увеличение отмечено только в варианте T704C. Уровень ангиотензина II у молодых людей статистически значимо не различался по полу, но наблюдалась тенденция к его повышению при наличии в генотипе мутантных аллелей всех изучаемых генов. Среди носителей мутантного аллеля С варианта T704C гена *AGT* чаще встречались люди с декомпенсированной степенью интенсивности кариеса, а у носителей мутантного аллеля Т варианта C521T гена *AGT* наблюдалось увеличение частоты субкомпенсированной степени. У обладателей мутантного аллеля С варианта A1166C гена *AGT2R1* зарегистрирован рост частоты встречаемости компенсированной степени интенсивности кариеса при незначительном снижении частот субкомпенсированной и декомпенсированной степеней.

**Ответственный за переписку:** Левицкий Сергей Николаевич, адрес: 163069, г. Архангельск, просп. Троцкий, д. 51; e-mail: sergeylevitski@yandex.ru

**Ключевые слова:** кариес зубов, тонус кровеносных сосудов, полиморфизм генов, ренин-ангиотензиновая система, ген ангиотензиногена, ген рецептора 1-го типа ангиотензина II.

**Для цитирования:** Бебякова Н.А., Левицкий С.Н., Давыдова Н.Г., Галиева А.С. Взаимосвязь полиморфизмов генов ренин-ангиотензиновой системы с показателями интенсивности кариеса зубов // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 381–390. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z158>

Original article

## Relationship Between Gene Polymorphisms of the Renin-Angiotensin System and Dental Caries Experience

Natal'ya A. Bebyakova\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9346-1898>

Sergey N. Levitskiy\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2588-620X>

Nadezhda G. Davydova\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0700-4261>

Aleksandra S. Galieva\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7037-7730>

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

**Abstract.** When it comes to studying periodontal diseases and their correlation with general physical pathology, the relationship between the state of oral organs and tissues and the haemodynamic system is of interest; however, research is often conducted without taking into account molecular genetic determinants. The **purpose** of this article was to determine the relationship of the T704C and C521C polymorphisms of the angiotensinogen (*AGT*) gene and A1166C polymorphism of the angiotensin II receptor type 1 (*AGT2R1*) gene with dental caries experience in young people living in the European North of Russia. **Materials and methods.** The research included 57 healthy male and female subjects (mean age 18.2 years; confidence interval 17.9–19.4) permanently residing in the Arkhangelsk Region. The polymorphisms under study were genotyped by means of pyrosequencing; their allele and genotype frequencies were determined. Angiotensin II level in blood plasma was measured using enzyme-linked immunosorbent assay. Decay-missing-filled (DMF) index and forms of caries in subjects with and without mutant alleles for each gene variant were determined. **Results.** Young individuals with mutant *AGT* and *AGT2R1* gene alleles showed high DMF index; however, a statistically significant increase in DMF index was observed only in the case of the T704C polymorphism. Angiotensin II levels in young subjects did not differ statistically significantly by sex; however, a tendency was observed towards increased angiotensin II level in the presence of mutant alleles of all the genes under study in the genotype. Among the carriers of the mutant C allele of the T704C polymorphism of the *AGT* gene, subjects with the decompensated form of caries prevailed, while carriers of the mutant T allele of the C521T polymorphism of the *AGT* gene showed higher frequency of the subcompensated form of caries. Carriers of the mutant C allele of the A1166C polymorphism of the *AGT2R1* gene demonstrated increased frequency of the compensated form of caries with a slight decrease in the frequency of the subcompensated and decompensated forms.

---

**Corresponding author:** Sergey Levitskiy, address: prosp. Troitskiy 51, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: [sergeylevitski@yandex.ru](mailto:sergeylevitski@yandex.ru)

**Keywords:** dental caries, vascular tone, gene polymorphism, renin-angiotensin system, angiotensinogen gene, angiotensin II receptor type 1 gene.

**For citation:** Bebyakova N.A., Levitskiy S.N., Davydova N.G., Galieva A.S. Relationship Between Gene Polymorphisms of the Renin-Angiotensin System and Dental Caries Experience. *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 381–390. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z158>

Кариес зубов является одним из самых распространенных мультифакторных заболеваний стоматологического профиля. Установлена роль факторов окружающей среды, образа жизни (особенности диеты, вредные привычки и уровень гигиены полости рта) в формировании данной патологии, однако на индивидуальную предрасположенность к нему оказывают влияние и наследственные факторы. Так, проведенные исследования кариеса зубов у детей с помощью близнецового метода установили значительный вклад генетических маркеров в развитие этого заболевания, выявив границы наследуемости от 60 до 85 % [1, 2].

К настоящему времени в геноме человека обнаружены области (5q13.3, 13q31.1, 14q11.2, 14q 24.3 и Xq27), имеющие ассоциации со стоматологическими заболеваниями. На основе ассоциативных исследований изучено более 50 генов-кандидатов, которые принимают участие в формировании зубов и их поражении кариесом, например гены цитокиновой сети, металлопротеаз матрикса и семейства трансформирующего фактора роста бета (TGF- $\beta$ ) [3]. Современные экспериментальные и клинические исследования молекулярно-генетических аспектов развития кариеса зубов в основном направлены на изучение генов-кандидатов, непосредственно влияющих на риск развития кариеса: генов-регуляторов состава слюны и скорости слюноотделения (*MUC5B*, *CA6*, *AQP5*, *AMY1*, *PRH1* и *PRH2*, *LTF*), генов-регуляторов формирования эмали зубов, кодирующих белки матрикса эмали и калликреины (*AMBN*, *AMELX*, *ENAM*, *ESRRB*, *KLK4*, *MMP16*, *MMP20*, *TUFT1*, *TFIP11*), генов-регуляторов одонтогенеза, участвующих в формировании зубов и особенностей их морфологии (*MSX2*,

*MSX1*, *PAX9*, *AXIN2*, *EDA1*, *WNT10A*, *AMEL*, *ENAM*, *MMP20*, *KLK4*, *FAM83H*, *COL1A1*, *COL1A2*), маркеров раннего кариеса (поражения временных зубов) (*ALOX15*, *ENAM*, *KLK4*, *LTF*, *TUFT1*) [4, 5].

Данные о влиянии полиморфизмов генов, детерминирующих тонус периферических кровеносных сосудов, на формирование кариеса зубов отсутствуют, вместе с тем известно, что состояние органов и тканей ротовой полости и физиологическая резистентность твердых тканей зубов и тканей пародонта обусловлены общим состоянием организма. В связи с этим возможно предположить, что генетические полиморфизмы, вызывающие изменение гемодинамических показателей сосудистого тонуса, способны оказывать физиологическое воздействие на микроциркуляцию в полости рта, а такие гены могут использоваться в качестве генов-кандидатов при изучении патологии стоматологического профиля.

В формировании констрикторной реакции периферических кровеносных сосудов особую роль играет ренин-ангиотензиновая система. Ключевым геном данной системы является ген ангиотензиногена (*AGT*), расположенный в локусе 1q42-q43 1-й хромосомы и кодирующий синтез ангиотензиногена. В гене выявлено более 40 однонуклеотидных полиморфизмов (SNP), наиболее изучены два: C521T (T174M, rs4762) и T704C (M235T, rs699). Установлена взаимосвязь данных полиморфных вариантов гена *AGT* с различными патологиями, сопровождающимися констрикторной реакцией сосудов [6–9].

Большое внимание исследователей привлекает ген рецептора 1-го типа ангиотензина II (*AGT2R1*), расположенный в локусе 3q21-3q25 3-й хромосомы. Этот рецептор опосредует не

только сосудосуживающее действие ангиотензина II, но и другие эффекты: секрецию альдостерона, эндотелина-1, пролиферацию гладкой мускулатуры. Наиболее изученным является полиморфизм в 3'-нетранслируемой области гена *AGT2R1*, связанный с заменой аденина (A) на цитозин (C), – A1166C (rs5186), повышающий уровень экспрессии гена и количество рецепторов ангиотензина II 1-го типа на поверхности клеток, что ассоциируется с вазоконстрикцией [10, 11].

В связи с вышеизложенным целью данного исследования стало установление взаимосвязи между полиморфизмами T704C, C521T гена *AGT*, A1166C гена *AGT2R1* и показателями интенсивности кариеса зубов у молодых жителей Европейского Севера России.

**Материалы и методы.** Исследуемая группа состояла из 57 практически здоровых юношей и девушек (средний возраст – 18,2 года; доверительный интервал – 17,9–19,4 года), постоянно проживающих на Европейском Севере России. Исследование одобрено комитетом по этике Северного государственного медицинского университета (г. Архангельск) и проводилось в соответствии с принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации.

Концентрацию ангиотензина II в плазме крови определяли иммуноферментным методом с использованием набора AssayMax Human Angiotensin ELISA. Исследование проводили на базе Центральной научно-исследовательской лаборатории Северного государственного медицинского университета (г. Архангельск).

Генотипирование полиморфизмов C521T (T174M), T704C (M235T) гена *AGT* и A1166C гена *AGT2R1* осуществляли методом пиросеквенирования с использованием системы «Тоно-скрин» (профиль «Артериальная гипертензия») на секвенаторе PyroMark Q24 (Qiagen, Германия) в лаборатории молекулярной иммунологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института эпидемиологии и микробиологии имени Пастера. В соответствии с генотипами по изучаемым генам выделяли две

группы: в 1-ю включали гомозигот по дикому аллелю, во 2-ю – гетерозигот и гомозигот по мутантному аллелю.

Индекс КПУ оценивали как сумму кариозных (K), пломбированных (П) и удаленных (У) зубов (по Т.Ф. Виноградовой, 1972), по нему определяли степень интенсивности кариозного процесса: 1) компенсированная (менее 7); 2) субкомпенсированная (7–9); 3) декомпенсированная (более 9) [12].

Статистическую обработку полученных результатов, оценку распределения показателей, сравнительный анализ выборок проводили с помощью пакета программ Stata (StataCorp, США). Количественные данные подвергали анализу на нормальность распределения с помощью критерия Шапиро–Уилка. При нормальном распределении данные представляли с указанием среднего значения ( $M$ ) и стандартного отклонения ( $SD$ ), а при ненормальном – с указанием медианного значения ( $Me$ ), 1-го и 3-го квартилей ( $Q_1$ ;  $Q_3$ ). Статистическую взаимосвязь между количественными данными (индекс КПУ) и вариантами генотипов оценивали путем однофакторного дисперсионного анализа. При множественном сравнении независимых групп применяли тест Краскела–Уоллеса, попарные сравнения проводили с помощью критерия Манна–Уитни в случае отклонения от нормального распределения, при нормальном распределении – с помощью критерия Уилкоксона. Частоту встречаемости генотипов анализировали с использованием критерия  $\chi^2$  Пирсона. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали  $p < 0,05$ .

**Результаты.** Частоты аллелей и генотипов изучаемых генов в обследуемой выборке не отклонялись от закона Харди–Вайнберга. Анализ показал, что по полиморфизму T704C гена *AGT* частота встречаемости дикого аллеля (T) составляла 0,4758, мутантного (C) – 0,5242; по полиморфизму C521T частота встречаемости дикого аллеля (C) – 0,8902, мутантного (T) – 0,1098; по полиморфизму A1166C гена *AGT2R1* частота встречаемости дикого аллеля (A) – 0,7891, мутантного (C) – 0,2109. Получен-

ные результаты согласуются с данными, представленными в базе частот аллелей<sup>1</sup> для людей европейских популяций, в т. ч. и русских.

Иммуноферментный анализ не установил статистически значимых половых различий в уровне ангиотензина II: у юношей – 72,95 (66,4; 77,8) пг/мл, у девушек – 68,21 (62,4; 76,3) пг/мл ( $p = 0,43$ ). Выявлена тенденция к повышению уровня ангиотензина II у носителей мутантных аллелей всех изучаемых генов (табл. 1).

Таким образом, полученные результаты позволяют предположить, что наличие в генотипах мутантных аллелей сопровождается тенденцией к увеличению уровня вазоактивного констриктора и может повлечь за собой

изменение сосудистого тонуса в сторону констрикции.

Определение индекса КПУ в изучаемой выборке показало, что компенсированная стадия развития кариеса встречается у 20,75 % лиц, субкомпенсированная – у 32,08 %, декомпенсированная – у 47,17 %. Средние значения индекса КПУ у обследуемых с различными генотипами представлены в табл. 2.

Анализ полученных результатов показал, что наличие мутантных аллелей 704C и 521T гена *AGT* у молодых людей сопровождается повышением индекса КПУ, однако статистически значимое увеличение наблюдалось только в первом варианте. Наличие полиморфизма rs699 сопровождалось повышением индекса

Таблица 1

Уровни ангиотензина II у молодых людей с различными полиморфными вариантами генов ренин-ангиотензиновой системы,  $Me (Q_1; Q_3)$ , пг/мл  
 Angiotensin II level in young people with different gene polymorphisms of the renin-angiotensin system,  $Me (Q_1; Q_3)$ , pg/ml

Полиморфизм	1-я группа	2-я группа	$p$
T704C (rs699)	65,95 (61,20; 68,35)	72,20 (64,30; 77,20)	0,1208
C521T (rs4762)	68,40 (64,60; 77,20)	74,70 (62,20; 76,50)	0,8866
A1166C (rs5186)	67,65 (63,15; 74,00)	71,50 (64,30; 76,80)	0,4518

Примечание. Здесь и далее группы обследуемых: 1-я – гомозиготы по дикому аллелю; 2-я – гетерозиготы и гомозиготы по мутантному аллелю.

Таблица 2

Индексы КПУ у молодых людей с различными полиморфными вариантами генов ренин-ангиотензиновой системы,  $M \pm SD$   
 DMF index in young people with different gene polymorphisms of the renin-angiotensin system,  $M \pm SD$

Полиморфизм	1-я группа	2-я группа	$p$
T704C (rs699)	7,58±2,35	9,83±3,59	<b>0,039</b>
C521T (rs4762)	9,24±3,67	9,64±2,66	0,843
A1166C (rs5186)	9,39±3,61	9,20±3,29	0,678

Примечание. Полу жирным выделены статистически значимые различия.

<sup>1</sup>The Allele Frequency Net Database. URL: <http://allelefrequencys.net> (дата обращения: 02.04.2023).

КПУ на 29,68 %, а rs4762 – только на 4,33 %. У молодых людей с полиморфизмом A1166C (rs5186) гена *AGT2R1* не отмечалось изменения индекса КПУ. Предположив, что наличие мутантных аллелей в генотипе может быть фактором риска, вызывая констрикторную реакцию микрососудов в ротовой полости и приводя к увеличению индекса КПУ, мы провели анализ частот встречаемости различных степеней интенсивности кариеса (КПУ) при наличии определенных аллелей генов с использованием критерия  $\chi^2$  Пирсона (табл. 3).

степень интенсивности кариеса (на 6,82 %) по сравнению с генотипом AA при незначительном снижении встречаемости субкомпенсированной и декомпенсированной степеней.

**Обсуждение.** Имеется достаточное число публикаций о взаимосвязях различных полиморфных вариантов генов с формированием кариеса зубов, пародонтита и др. [13–15]. В развитии и прогрессировании этих патологий большую роль играет кровоснабжение пульпы, т. к. микрососудистое русло обладает адаптационно-компенсаторными возмож-

Таблица 3

**Частота встречаемости степеней интенсивности кариеса у молодых людей в зависимости от генотипа, %**

**Frequency of forms of caries in young people depending on the genotype, %**

Генотипы	Степень интенсивности кариеса			Критерий Пирсона
	1	2	3	
<i>Полиморфизм T704C</i>				
ТТ	25,00	50,00	25,00	$\chi^2 = 3,3048$ $p = 0,192$
ТС + СС	19,52	26,83	53,65	
<i>Полиморфизм C521T</i>				
СС	23,81	28,57	47,62	$\chi^2 = 1,6921$ $p = 0,429$
СТ + ТТ	9,10	45,45	45,45	
<i>Полиморфизм A1166C</i>				
AA	18,18	33,33	48,49	$\chi^2 = 0,3541$ $p = 0,838$
AC + CC	25,00	30,00	45,00	

Выявлено, что наличие мутантного аллеля 704C гена *AGT* приводило к увеличению частоты встречаемости декомпенсированной степени интенсивности кариеса на 28,65 %, при этом частота встречаемости компенсированной и субкомпенсированной степеней у людей с данным аллелем была ниже на 17,52 и 23,17 % соответственно (по сравнению с генотипом ТТ). Носители мутантного аллеля 521Т гена *AGT* демонстрировали более высокую частоту встречаемости субкомпенсированной степени интенсивности кариеса (на 16,88 % по сравнению с генотипом СС). У лиц с мутантным аллелем 1166С гена *AGT2R1* чаще встречалась компенсированная

ностями. Установлено, что на ранних стадиях заболеваний пародонта изменяется и состояние гемодинамики пульпы, что может быть одной из причин развития кариеса [16], а анализ параметров микроциркуляции в сосудах пульпы зуба позволил выявить изменения гемодинамики в ответ на воздействие различных раздражителей [17, 18]. В то же время известно, что нарушения, возникающие в полости рта, в ряде случаев утяжеляют течение основного заболевания, поэтому роль врача-стоматолога в процессе профилактики и лечения сочетанных заболеваний слизистой оболочки рта и внутренних органов неоспорима [19]. Общность звеньев этиологии и па-

тогенеза сочетанных поражений полости рта с вазоконстрикторными реакциями сосудистого тонуса может послужить обоснованием для разработки комплексных программ диагностики, лечения и профилактики сердечно-сосудистой патологии [20–22]. Многочисленные обзоры отечественных и зарубежных авторов о взаимосвязи состояния полости рта и системы гемодинамики противоречивы и не учитывают молекулярно-генетические детерминанты [23].

В ранее проведенных исследованиях [10, 11] было установлено влияние изучаемых

полиморфизмов генов ренин-ангиотензиновой системы на формирование дисбаланса вазоактивных факторов эндотелия в сторону вазоконстрикторных у молодых северян без выявленной кардиоваскулярной патологии. Поскольку ренин-ангиотензиновая система способна оказывать локальное воздействие на тонус сосудов [24], возможно предположить наличие ее констрикторных эффектов и в полости рта, а полиморфизм T704C гена *AGT* в совокупности с другими факторами может являться фактором риска развития кариеса зубов и его осложнений.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

## Список литературы

1. Bretz W.A., Corby P.M., Melo M.R., Coelho M.Q., Costa S.M., Robinson M., Schork N.J., Drewnowski A., Hart T.C. Heritability Estimates for Dental Caries and Sucrose Sweetness Preference // Arch. Oral Biol. 2006. Vol. 51, № 12. P. 1156–1160. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2006.06.003>
2. Савранский Ф.З., Чижарина С.Е., Хайкин М.Б., Гришин П.О., Калинин Е.А., Симахов П.В. Наследственные и средовые факторы в развитии кариеса зубов // Евраз. Науч. Объединение. 2018. № 5-4(39). С. 212–216.
3. Wang Q., Jia P., Cuenco K.T., Feingold E., Marazita M.L., Wang L., Zhao Z. Multi-Dimensional Prioritization of Dental Caries Candidate Genes and Its Enriched Dense Network Modules // PLoS One. 2013. Vol. 8, № 10. Art. № e76666. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076666>
4. Opal S., Garg S., Jain J., Walia I. Genetic Factors Affecting Dental Caries Risk // Aust. Dent. J. 2015. Vol. 60, № 1. P. 2–11. <https://doi.org/10.1111/adj.12262>
5. Udina I.G., Gulenko O.V. Molecular-Genetic Mechanisms of Caries Development // Russ. J. Genet. 2018. Vol. 54, № 4. P. 415–422. <https://doi.org/10.1134/S1022795418040154>
6. Li Y.-Y., Wang H., Wang H., Zhang Y.-Y. Myocardial Infarction and *AGT* p.Thr174Met Polymorphism: A Meta-Analysis of 7657 Subjects // Cardiovasc. Ther. 2021. Vol. 2021. Art. № 6667934. <https://doi.org/10.1155/2021/6667934>
7. El-Garawani I.M., Shaheen E.M., El-Seedi H.R., Khalifa S.M.A., Mersal G.A.M., Emara M.M., Kasemy Z.A. Angiotensinogen Gene Missense Polymorphisms (rs699 and rs4762): The Association of End-Stage Renal Failure Risk with Type 2 Diabetes and Hypertension in Egyptians // Genes (Basel). 2021. Vol. 12, № 3. Art. № 339. <https://doi.org/10.3390/genes12030339>
8. Akbarzadeh M., Riahi P., Kolifarhood G., Lanjanian H., Alipour N., Najd Hassan Bonab L., Reza Moghadas M., Sabour S., Azizi F., Daneshpour M.S. The *AGT* Epistasis Pattern Proposed a Novel Role for *ZBED9* in Regulating Blood Pressure: Tehran Cardiometabolic Genetic Study (TCGS) // Gene. 2022. Vol. 831. Art. № 146560. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2022.146560>
9. Dong M.Z., Lin Z.H., Liu S.S., Xin Y.N., Xuan S.Y. *AGT* rs5051 Gene Polymorphism Increases the Risk of Coronary Heart Disease in Patients with Non-Alcoholic Fatty Liver Disease in the Han Chinese Population // Zhonghua Gan Zang Bing Za Zhi. 2021. Vol. 29, № 11. P. 1095–1100. <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn501113-20210106-00008>
10. Бебякова Н.А., Первухина О.А., Фадеева Н.А., Хромова А.В. Полиморфизм генов *AGT*, *AGT2R1* и *NOS3* как фактор риска развития дисбаланса вазоактивных факторов // Экология человека. 2020. № 10. С. 4–9. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-10-4-9>

11. Бебякова Н.А., Левицкий С.Н., Первухина О.А., Шабалина И.А. Роль полиморфизма A1166C гена рецептора 1-го типа ангиотензина II (*AGT2R1*) в формировании факторов сердечно-сосудистого риска у юношей и девушек Европейского Севера // Журн. мед.-биол. исследований. 2019. Т. 7, № 4. С. 371–380. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2019.7.4.371>
12. Леус П.А. Совершенствование классификаций кариеса зубов и их значение в практике врача-стоматолога // Современ. стоматология. 2019. № 2. С. 4–12.
13. Гречихин С.С. Анализ генетических факторов в развитии кариеса у подростков // Регион. вестн. 2020. № 6(45). С. 8–9.
14. Саркисян Н.Г., Ронь Г.И., Тузанкина И.А., Свитич О.А., Долгих М.А. Генетические маркеры пародонтита: обзор литературы // Пародонтология. 2016. Т. 21, № 1(78). С. 3–9.
15. Тихомирова Е.А. Генетические предикторы развития пародонтита: проблемы и перспективы (обзор литературы) // Пародонтология. 2022. Т. 27, № 1. С. 32–59. <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2022-27-1-32-59>
16. Орехова Л.Ю., Кучумова Е.Д., Стюф Я.В. Кровоснабжение пульпы зуба. Методы исследования состояния пульпы зуба. Ч. 2 // Пародонтология. 2007. № 1(42). С. 55–60.
17. Чистякова Г.Г. Ближайшие и отдаленные результаты состояния кровотока в сосудах пульпы зуба при лечении кариеса дентина по данным лазерной спекл-оптической диагностики // Современ. стоматология. 2020. № 1. С. 66–72.
18. Чистякова Г.Г. Функциональные методы диагностики гемодинамики и нервно-рецепторного аппарата пульпы зуба // Стоматология. Эстетика. Инновации. 2020. Т. 4, № 1. С. 98–113. <https://doi.org/10.34883/PI.2020.4.1.009>
19. Заидуллина И.И., Якупова Е.Р., Янгирова Э.В. Состояние полости рта у больных ИБС // Вестн. Башкир. гос. мед. ун-та. 2018. № S2-1. С. 92–96.
20. Зубкова А.А., Фелькер Е.В., Гүйтер О.С., Митин Н.Е., Олейников А.А., Тишкина Л.Н. Оценка распространенности основных стоматологических заболеваний у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями // Проблемы стоматологии. 2019. Т. 15, № 3. С. 34–40. <https://doi.org/10.18481/2077-7566-2019-15-3-34-40>
21. Зубкова А.А., Фелькер Е.В. Индексная оценка состояния тканей полости рта у пациентов кардиологического профиля // Междунар. журн. приклад. и фундам. исследований. 2017. № 3-2. С. 183–185. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=11422> (дата обращения: 19.03.2023).
22. Зубкова А.А., Морозов А.Н., Саламатина О.А. Многофакторный анализ состояния тканей полости рта у пациентов кардиологического профиля // Науч. вед. Белгор. гос. ун-та. Сер.: Медицина. Фармация. 2016. № 12(233). С. 78–87.
23. Галонский В.Г., Сурдо Э.С., Чернов В.Н., Градобоев А.В., Чернова А.А. Ассоциативные параллели взаимосвязи и взаимообусловленности клинических особенностей стоматологической патологии с сердечно-сосудистыми заболеваниями // Проблемы стоматологии. 2021. Т. 17, № 1. С. 12–19. <https://doi.org/10.18481/2077-7566-20-17-1-12-19>
24. Salminen L.E., Schofield P.R., Pierce K.D., Conturo T.E., Tate D.F., Lane E.M., Heaps J.M., Bolzenius J.D., Baker L.M., Akbudak E., Paul R.H. Impact of the *AGTR1* A1166C Polymorphism on Subcortical Hyperintensities and Cognition in Healthy Older Adults // Age (Dordr.). 2014. Vol. 36, № 4. Art. № 9664. <https://doi.org/10.1007/s11357-014-9664-x>

## References

1. Bretz W.A., Corby P.M., Melo M.R., Coelho M.Q., Costa S.M., Robinson M., Schork N.J., Drewnowski A., Hart T.C. Heritability Estimates for Dental Caries and Sucrose Sweetness Preference. *Arch. Oral Biol.*, 2006, vol. 51, no. 12, pp. 1156–1160. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2006.06.003>
2. Savranskiy F.Z., Chigarina S.E., Khaykin M.B., Grishin P.O., Kalinnikova E.A., Simakhov R.V. Nasledstvennye i sredovye faktory v razvitiy kariesa zubov [Hereditary and Environmental Factors in the Development of Dental Caries]. *Evrayskoe Nauchnoe Ob"edinenie*, 2018, no. 5-4, pp. 212–216.
3. Wang Q., Jia P., Cuenco K.T., Feingold E., Marazita M.L., Wang L., Zhao Z. Multi-Dimensional Prioritization of Dental Caries Candidate Genes and Its Enriched Dense Network Modules. *PLoS One*, 2013, vol. 8, no. 10. Art. no. e76666. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076666>

4. Opal S., Garg S., Jain J., Walia I. Genetic Factors Affecting Dental Caries Risk. *Aust. Dent. J.*, 2015, vol. 60, no. 1, pp. 2–11. <https://doi.org/10.1111/adj.12262>
5. Udina I.G., Gulenko O.V. Molecular-Genetic Mechanisms of Caries Development. *Russ. J. Genet.*, 2018, vol. 54, no. 4, pp. 415–422. <https://doi.org/10.1134/S1022795418040154>
6. Li Y.-Y., Wang H., Wang H., Zhang Y.-Y. Myocardial Infarction and *AGT* p.Thr174Met Polymorphism: A Meta-Analysis of 7657 Subjects. *Cardiovasc. Ther.*, 2021, vol. 2021. Art. no. 6667934. <https://doi.org/10.1155/2021/6667934>
7. El-Garawani I.M., Shaheen E.M., El-Seedi H.R., Khalifa S.M.A., Mersal G.A.M., Emara M.M., Kasemy Z.A. Angiotensinogen Gene Missense Polymorphisms (rs699 and rs4762): The Association of End-Stage Renal Failure Risk with Type 2 Diabetes and Hypertension in Egyptians. *Genes (Basel)*, 2021, vol. 12, no. 3. Art. no. 339. <https://doi.org/10.3390/genes12030339>
8. Akbarzadeh M., Riahi P., Kolifarhood G., Lanjanian H., Alipour N., Najd Hassan Bonab L., Reza Moghadas M., Sabour S., Azizi F., Daneshpour M.S. The *AGT* Epistasis Pattern Proposed a Novel Role for *ZBED9* in Regulating Blood Pressure: Tehran Cardiometabolic Genetic Study (TCGS). *Gene*, 2022, vol. 831. Art. no. 146560. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2022.146560>
9. Dong M.Z., Lin Z.H., Liu S.S., Xin Y.N., Xuan S.Y. *AGT* rs5051 Gene Polymorphism Increases the Risk of Coronary Heart Disease in Patients with Non-Alcoholic Fatty Liver Disease in the Han Chinese Population. *Zhonghua Gan Zang Bing Za Zhi*, 2021, vol. 29, no. 11, pp. 1095–1100. <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn501113-20210106-00008>
10. Bebyakova N.A., Pervukhina O.A., Fadeeva N.A., Khromova A.V. Polymorphism of *AGT*, *AGT2R1* and *NOS3* Genes as a Risk Factor for Imbalance in Vasoactive Factors. *Hum. Ecol.*, 2020, no. 10, pp. 4–9 (in Russ.). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-10-4-9>
11. Bebyakova N.A., Levitskiy S.N., Pervukhina O.A., Shabalina I.A. The Role of the A1166C Polymorphism of the Angiotensin II Receptor Type 1 (*AGT2R1*) Gene in the Formation of Cardiovascular Risk Factors. *J. Med. Biol. Res.*, 2019, vol. 7, no. 4, pp. 371–380. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2019.7.4.371>
12. Leus P.A. Sovershenstvovanie klassifikatsiy kariessa zubov i ikh znachenie v praktike vracha-stomatologa [Traditional and Modern Systems for Dental Caries Classification and Their Significance in Practice]. *Sovremennaya stomatologiya*, 2019, no. 2, pp. 4–12.
13. Grechikhin S.S. Analiz geneticheskikh faktorov v razvitii kariessa u podrostkov [Analysis of Genetic Factors in the Development of Caries in Adolescents]. *Regional'nyy vestnik*, 2020, no. 6, pp. 8–9.
14. Sarkisyan N.G., Ron' G.I., Tuzankina I.A., Svitch O.A., Dolgikh M.A. Geneticheskie markery parodontita: obzor literatury [Genetic Markers of Periodontal Disease: A Literature Review]. *Parodontologiya*, 2016, vol. 21, no. 1, pp. 3–9.
15. Tikhomirova E.A. Genetic Predictors of Periodontitis Development: Problems and Prospects (a Literature Review). *Parodontologiya*, 2022, vol. 27, no. 1, pp. 32–59. <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2022-27-1-32-59>
16. Orekhova L.Yu., Kuchumova E.D., Styuf Ya.V. Krovosnabzhenie pul'py zuba. Metody issledovaniya sostoyaniya pul'py zuba. Ch. 2 [Blood Supply of Dental Pulp. Methods of Research of a Condition of Dental Pulp. Part 2]. *Parodontologiya*, 2007, no. 1, pp. 55–60.
17. Chistyakova G.G. Blizhayshie i otdalennye rezul'taty sostoyaniya krovotoka v sosudakh pul'py zuba pri lechenii kariessa dentina po dannym lazernoy spekl-opticheskoy diagnostiki [The Nearest and Remote Results of the Status of the Blood in the Vases of the Tooth Pulpa in Treatment of Dentin Caries on the Data of Laser Specles-Optical Diagnostics]. *Sovremennaya stomatologiya*, 2020, no. 1, pp. 66–72.
18. Chistyakova G.G. Funktsional'nye metody diagnostiki gemodinamiki i nervno-retseptornogo apparata pul'py zuba [Functional Methods for the Diagnosis of Hemodynamics and Neuroreceptor System of Tooth Pulp]. *Stomatologiya. Estetika. Innovatsii*, 2020, vol. 4, no. 1, pp. 98–113. <https://doi.org/10.34883/PI.2020.4.1.009>
19. Zagidullina I.I., Yakupova E.R., Yangirova E.V. Sostoyanie polosti rta u bol'nykh IBS [Oral Status in Patient with Ischemic Heart Disease]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*, 2018, no. S2-1, pp. 92–96.
20. Zubkova A.A., Fel'ker E.V., Guyter O.S., Mitin N.E., Oleynikov A.A., Tishkina L.N. Otsenka rasprostranennosti osnovnykh stomatologicheskikh zabolevaniy u patsientov s serdechno-sosudistymi zabolevaniyami [Prevalence Estimate of Major Dental Diseases in Patients with Cardiovascular Diseases]. *Problemy stomatologii*, 2019, vol. 15, no. 3, pp. 34–40. <https://doi.org/10.18481/2077-7566-2019-15-3-34-40>

21. Zubkova A.A., Fel'ker E.V. Indeksnyaya otsenka sostoyaniya tkaney polosti rta u patsientov kardiologicheskogo profilya [Index Assessment of Oral Tissues in Patients with Cardiac Profile]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2017, no. 3-2, pp. 183–185. Available at: <https://applied-research.ru/article/view?id=11422> (accessed: 19 March 2023).

22. Zubkova A.A., Morozov A.N., Salamatina O.A. Mnogofaktornyy analiz sostoyaniya tkaney polosti rta u patsientov kardiologicheskogo profilya [Multifactorial Analysis of the State of Oral Cavity Tissues in Cardiac Patients]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Meditsina. Farmatsiya*, 2016, no. 12, pp. 78–87.

23. Galonskiy V.G., Surdo E.S., Chernov V.N., Gradoboev A.V., Chernova A.A. Assotsiativnye paralleli vzaimosvyazi i vzaimoobuslovlennosti klinicheskikh osobennostey stomatologicheskoy patologii s serdechno-sosudistymi zabolevaniyami [Associative Parallels, Interrelations and Interdependencies Between Clinical Features of Dental Pathology and Cardiovascular Diseases]. *Problemy stomatologii*, 2021, vol. 17, no. 1, pp. 12–19. <https://doi.org/10.18481/2077-7566-20-17-1-12-19>

24. Salminen L.E., Schofield P.R., Pierce K.D., Conturo T.E., Tate D.F., Lane E.M., Heaps J.M., Bolzenius J.D., Baker L.M., Akbudak E., Paul R.H. Impact of the *AGTRI* A1166C Polymorphism on Subcortical Hyperintensities and Cognition in Healthy Older Adults. *Age (Dordr.)*, 2014, vol. 36, no. 4. Art. no. 9664. <https://doi.org/10.1007/s11357-014-9664-x>

**Received 7 April 2023**  
**Accepted 24 July 2023**  
**Published 30 November 2023**

**Поступила 07.04.2023**  
**Принята 24.07.2023**  
**Опубликована 30.11.2023**

Научная статья

УДК 612.017:616-006

DOI: 10.37482/2687-1491-Z159

## Аутосенсibilизация при злокачественных новообразованиях

Марина Юрьевна Стрекаловская\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9944-7555>

\*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова  
Уральского отделения Российской академии наук  
(г. Архангельск)

**Аннотация.** Аутоантителообразование, как физиологический механизм регуляции гомеостаза, при чрезмерной выраженности приводит к патологическим процессам. Аутоантитела появляются при повышении концентрации аутоантигенов, что происходит в результате разрушения опухоли и метастазирования. Известно развитие аутосенсibilизации при хронических воспалительных и опухолевых процессах. Представляло интерес выяснение влияния противовоспалительных цитокинов на процесс аутоантителообразования при злокачественных новообразованиях. **Цель работы** – выявить взаимосвязь аутоантителообразования и концентраций противовоспалительных цитокинов у людей, страдающих злокачественными новообразованиями. **Материалы и методы.** Проанализированы данные иммунологического обследования 210 чел. со злокачественными новообразованиями, обратившихся в медицинскую компанию «Биокор» (г. Архангельск). В сыворотке периферической венозной крови изучались содержание антител к фосфолипидам (IgM, IgG), тиропероксидазе (анти-ТПО), стрептолизину-О (антистрептолизин-О), двухпочечной ДНК (анти-dsDNA), рибонуклеопротеиду (анти-RNP), а также концентрации интерлейкинов (IL) 1 $\beta$ , 4, 6, 10, 13 и фактора некроза опухоли (TNF- $\alpha$ ). **Результаты.** Установлена высокая частота регистрации в крови онкологических больных повышенных концентраций анти-dsDNA, анти-RNP и антистрептолизина-О (51,72; 40,48 и 34,78 % соответственно). Наиболее часто регистрировались повышенные концентрации анти-dsDNA, среднее содержание данных аутоантител также являлось наибольшим. Частота повышенных концентраций антифосфолипидов составила: IgM – 11,11 %, IgG – 18,42 %. Концентрация анти-ТПО имела повышенные значения в 14,29 % случаев. Повышенное содержание IL-10, IL-1 $\beta$  и IL-4 отмечалось в 86,90; 23,81 и 10,81 % случаев соответственно, IL-6 и IL-13 – в 5,71 и 3,85 % случаев соответственно. Средние концентрации исследуемых цитокинов соответствовали физиологическим пределам, кроме концентраций IL-10 и TNF- $\alpha$ , которые были увеличены. Повышенные уровни аутоантител ассоциировались с увеличением содержания в крови TNF- $\alpha$  и IL-10. Таким образом, аномально высокая концентрация в крови IL-10, снижающего рецепторную активность клетки, может опосредованно способствовать уменьшению активности утилизации и клиренса аутоантигенов и пролонгировать аутосенсibilизацию.

---

**Ответственный за переписку:** Стрекаловская Марина Юрьевна, адрес: 163002, г. Архангельск, просп. Ломоносова, д. 249; e-mail: mary.nesterowa2010@yandex.ru

**Ключевые слова:** аутосенсibilизация, злокачественные новообразования, иммунная система человека, иммунный ответ, IL-10, аутоантитела к фосфолипидам, аутоантитела к ДНК и РНК, TNF- $\alpha$ .

**Для цитирования:** Стрекаловская М.Ю. Аутосенсibilизация при злокачественных новообразованиях // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 391–397. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z159>

Original article

## Autosensitization in Malignant Neoplasms

Marina Yu. Strekalovskaya\* ORCID: <https://orcid.org/0000-00001-9944-7555>

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

**Abstract.** Autoantibody formation, as a physiological mechanism of homeostatic regulation, leads to pathological processes when overexpressed. Autoantibodies are produced when the concentration of autoantigens increases, which occurs as a result of tumour necrotization and metastasizing. Autosensitization is known to develop in chronic inflammatory and tumour processes. It is of interest to clarify the significance of anti-inflammatory cytokines for the formation of autoantibodies in malignant neoplasms. The **purpose** of this article was to identify the link between autoantibody formation and concentrations of anti-inflammatory cytokines in cancer patients. **Materials and methods.** Immunoassay data of 210 cancer patients of Biokor medical company (Arkhangelsk) were analysed. In the peripheral venous blood, the following were measured: antibodies against phospholipid (IgM, IgG), thyroid peroxidase (anti-TPO) and streptolysin (anti-streptolysin O), anti-double stranded DNA (anti-dsDNA) and anti-ribonucleoprotein (anti-RNP), as well as interleukins (IL) 1 $\beta$ , 4, 6, 10 and 13, and tumour necrosis factor (TNF- $\alpha$ ). **Results.** High frequency of elevated concentrations of anti-dsDNA, anti-RNP and anti-streptolysin O in the blood of cancer patients was recorded (51.72, 40.48 and 34.78 %, respectively). Most often, increased levels of anti-dsDNA were found, their mean concentrations being the highest as well. The frequency of elevated concentrations of antiphospholipid antibodies was 11.11 % for IgM and 18.42 % for IgG. Increased anti-TPO levels were observed in 14.29 % of cases. Elevated IL-10, IL-1 $\beta$  and IL-4 were found in 86.90, 23.81 and 10.81 % of cases, respectively, while IL-6 and IL-13 in 5.71 and 3.85 % of cases, respectively. Mean concentrations of the cytokines under study were within the physiological limits, except for IL-10 and TNF- $\alpha$ , which were increased. Elevated concentrations of autoantibodies were associated with increased blood levels of TNF- $\alpha$  and IL-10. Thus, abnormally high blood concentrations of IL-10, which reduces cellular receptor activity, can indirectly contribute to a decrease in the activity of autoantigen disposal and clearance and prolong autosensitization.

**Keywords:** autosensitization, malignant neoplasms, human immune system, immune response, IL-10, antiphospholipid antibodies, anti-DNA and anti-RNA antibodies, TNF- $\alpha$ .

**For citation:** Strekalovskaya M.Yu. Autosensitization in Malignant Neoplasms. *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 391–397. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z159>

**Corresponding author:** Marina Strekalovskaya, address: prosp. Lomonosova 249, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: mary.nesterowa2010@yandex.ru

Многочисленными исследованиями сотрудников Института физиологии природных адаптаций (г. Архангельск) за последние 10 лет доказано, что аутоантителообразование является физиологическим механизмом регуляции гомеостаза, который нарушается при увеличении концентрации аутоантигенов и формировании того или иного дефекта иммунной регуляции [1]. Повышение содержания аутоантител у здоровых людей наблюдается при физических нагрузках, стрессовых ситуациях, возрастных изменениях и воздействии неблагоприятных факторов [2, 3]. Антитела депонируют аутоантигены, способствуют их клиренсу, обеспечивают защиту от протеолитических ферментов плазмы и межтканевого пространства, а также нейтрализуют чрезмерную секрецию биологически активных медиаторов. Физиологическая роль аутоантител доказывается также наличием их в крови и межтканевой жидкости, экссудате и транссудате [4]. Повышенные концентрации аутоантигенов и, соответственно, аутоантител обуславливают реакции повреждения тканей. Повреждение клеток и межклеточных тканевых структур происходит в результате антителозависимого лизиса с участием белков системы комплемента, клеточно-опосредованной цитотоксичности натуральных киллеров, цитотоксических Т-лимфоцитов, а также при чрезмерном выделении лизосомальных ферментов нейтрофильными гранулоцитами и макрофагами, активированными циркулирующими иммунными комплексами. Известно, что при воспалительных процессах происходит увеличение содержания аутоантител к широкому кругу цитокинов [5–7].

У пациентов, страдающих онкологическими заболеваниями, выявляют нормальный иммунный ответ на любые остальные чужеродные антигены, что доказывается специфичностью толерантности к опухоли [8]. Формирование в процессе иммунного ответа на опухоль антигенного стресса и наличие большого количества разных аутоантигенов, а также аутоиммунного повреждения – все это обуславливает неэффективность иммунных реакций

при злокачественных новообразованиях [9]. В литературе имеются сведения об активации аутоантителообразования при онкологических заболеваниях [10]. Также отмечены повышенные концентрации фактора некроза опухоли (TNF- $\alpha$ ) в крови при онкопатологии [11, 12]. Представляло интерес изучение связи концентраций аутоантител к наиболее широко распространенным аутоантигенам (нуклеопро-теидам, фосфолипидам) с уровнями противовоспалительных интерлейкинов у онкологических больных.

**Материалы и методы.** Проанализированы данные иммунологического обследования 210 чел., имеющих злокачественные новообразования и обратившихся в медицинскую компанию «Биокор» (г. Архангельск) для контроля противоопухолевого иммунитета. Все исследования проводились с согласия пациентов и в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта» (1964 года, с изменениями и дополнениями 2013 года).

Методом иммуноферментного анализа в сыворотке периферической венозной крови изучалось содержание антител к фосфолипидам (IgM, IgG), интерлейкинов (IL) 1 $\beta$ , 4, 6, 10, 13 (диагностические наборы производства Biosource (США)), а также антител к тиреопероксидазе (анти-ТПО), стрептолизину-О (антистрептолизин-О), TNF- $\alpha$  (Bender MedSystems, Австрия), антител к двухцепочечной ДНК (анти-dsDNA), рибонуклеопротеиду (анти-RNP) (Bio-Rad, США) на анализаторах Multiscan MS (Labsystems, Финляндия) и Evolis (США).

Результаты исследования обрабатывались с применением пакета прикладных программ Statistica 6.0 (StatSoft, США). Сравнение распределения данных с нормальным выполнялось при помощи критерия Шапиро–Уилка. Распределения результатов оказались сходны с нормальным, поэтому для описания данных производилось вычисление среднего арифметического значения ( $M$ ) и стандартной ошибки

среднего ( $m$ ). Сравнение количественных значений между группами осуществлялось с использованием  $t$ -критерия Стьюдента. Различия считались статистически достоверными при уровне значимости  $t$ -критерия  $p < 0,05$ . Для выявления связи между параметрами использовался критерий корреляции Пирсона ( $r$ ).

**Результаты.** Установлено (см. таблицу), что у онкопациентов увеличены средние концентрации анти-dsDNA, анти-RNP, а также антистрептолизина-О. Также наиболее часто выявляются повышенные концентрации данных аутоантител. Уровень цитокиновых реакций относительно невелик, за исключением TNF- $\alpha$  и IL-10. Значительное повышение концентраций анти-dsDNA и анти-RNP ассоциировано с высоким уровнем TNF- $\alpha$  ( $r = 0,78$ ). Повышенные концентрации антистрептолизина-О ассоциированы с увеличением содержания IL-10 ( $r = 0,67$ ).

**Обсуждение.** Активность нуклеиновых кислот, как известно, является маркером пролиферации; концентрации нуклеопротеинов в межклеточном пространстве достаточно велики [13]. Кроме того, увеличение концентраций данных аутоантигенов происходит при гибели клеток, которая при злокачественных новообразованиях может быть результатом разрушения клеток опухоли и клеток пограничной ткани, нарушения кровоснабжения и влияния на микроокружение ацидоза и гипоксии, обусловленной опухолевой тканью. Повышенные уровни нуклеопротеидов, транспортных форм липидов и продуктов их деградации обуславливают активизацию антителиобразования. Анти-dsDNA и -RNP способны проникать через клеточную и ядерную мембраны, запуская процессы активизации, пролиферации или апоптоза. Однако, вероятно, основное влияние и предназначение повышенных concentra-

Средние значения и частота регистрации повышенных концентраций аутоантител и цитокинов в периферической венозной крови пациентов со злокачественными новообразованиями

Mean values and frequency of increased concentrations of autoantibodies and cytokines in the peripheral venous blood of cancer patients

Белок	Концентрация в крови*		Частота повышенных концентраций у онкопациентов ( $M \pm m$ ), %
	у онкопациентов ( $M \pm m$ )	физиологические пределы	
<i>Аутоантитела</i>			
Анти-dsDNA	62,54 $\pm$ 5,90	<50,0	51,72 $\pm$ 1,23
Анти-RNP	1,05 $\pm$ 0,08	<1,0	40,48 $\pm$ 1,51
Антифосфолипиды IgM	5,70 $\pm$ 0,58	<10,0	11,11 $\pm$ 0,92
Антифосфолипиды IgG	6,96 $\pm$ 0,77	<10,0	18,42 $\pm$ 1,19
Анти-ТПО	24,57 $\pm$ 7,21	<30,0	14,29 $\pm$ 1,79
Антистрептолизин-О	100,26 $\pm$ 11,54	<100,0	34,78 $\pm$ 2,55
<i>Цитокины</i>			
TNF- $\alpha$	50,97 $\pm$ 6,69	<20,0	39,77 $\pm$ 0,37
IL-1 $\beta$	4,16 $\pm$ 0,37	0,2–5,0	23,81 $\pm$ 0,77
IL-4	3,05 $\pm$ 0,16	1,0–5,0	10,81 $\pm$ 0,44
IL-6	13,45 $\pm$ 2,66	1,0–20,0	5,71 $\pm$ 0,34
IL-10	8,48 $\pm$ 0,48	1,0–5,0	86,90 $\pm$ 1,10
IL-13	12,78 $\pm$ 0,74	1,0–20,0	3,85 $\pm$ 0,38

Примечание: \* – для аутоантител – в единицах на миллилитр; для цитокинов – в пикограммах на миллилитр.

ций антител к нуклеопротеидам заключается в разрушении опухолевых клеток, поскольку на пролиферирующих клетках выше концентрации различных рецепторных структур, способных связывать антитела к широко распространенным в организме аутоантигенам. Фактически такими аутоантигенами являются полиреактивные стрептолизины O и S, имеющие перекрестные реакции взаимодействия с протеолитическими ферментами плазмы и межклеточного матрикса.

Особого интереса заслуживает активность IL-10, естественного иммунодепрессанта, подавляющего образование рецепторов на мембране и обеспечивающего их шеддинг. IL-10 обуславливает снижение рецепторной активности клеток, что, вероятно, является патогенетическим фактором прогрессирования опухоли. В литературе представлены сведения о том, что при злокачественных новообразованиях пролиферация клеток может быть изменена путем увеличения концентрации митогенов, продуцируемых опухолью, т. к. в действительности онкогенез так и начинается – именно после ступенчатого накопления генетических и эпигенетических изменений и возникновения неопластических фенотипов в нормальных клетках [14]. Известно, что опухолевая трансформация

в значительной степени влияет на структуру и функцию клеточной мембраны с изменением ее текучести, проницаемости и снижением рецепторной активности; трансформированные клетки выживают, превращаясь в инвазивные опухоли только в такой среде, которая непосредственно сможет обеспечить их в достаточном количестве питательными веществами и кислородом [15]. Имеются данные о влиянии IL-10 на активность хемокиновых рецепторов эффекторных клеток и Т-хелперный репертуар [16, 17].

Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы:

1. У онкобольных людей наблюдается высокая частота регистрации повышенных концентраций анти-dsDNA и анти-RNP (в изученной выборке – 51,72 и 40,48 % соответственно).

2. Повышенные уровни аутоантител в организме онкопациентов ассоциированы с увеличением концентраций TNF- $\alpha$  и IL-10 в крови.

3. Аномально высокие концентрации IL-10, снижающего рецепторную активность клетки, в крови лиц со злокачественными новообразованиями могут опосредованно способствовать снижению активности утилизации и клиренса аутоантигенов и пролонгировать аутосенсбилизацию.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

## Список литературы

1. Добродеева Л.К., Сенькова Л.В., Лютфалиева Г.Т., Корниенко Е.Б., Преловская И.Б., Добродеев Г.В. Содержание аутоантител у практически здоровых людей // Физиология человека. 2006. Т. 32, № 1. С. 99–107.
2. Добродеева Л.К., Сулонова Г.А. Аутоантитела у практически здоровых людей // Иммунология. 1990. № 2. С. 52–55.
3. Лютфалиева Г.Т., Добродеева Л.К. Аутоантитела: физиологическое значение в регуляции гомеостаза // Экология человека. 2007. № 8. С. 38–42.
4. Добродеева Л.К., Штаборов В.А., Меньшикова Е.А., Добродеев К.Г. Активность иммунных реакций в зависимости от характера питания и состояния органов желудочно-кишечного тракта. Екатеринбург: УрО РАН, 2018. 172 с.
5. Cudrici C.D., Boulougoura A., Sheikh V., Freeman A., Sortino O., Katz J.D., Sereti I., Siegel R.M. Characterization of Autoantibodies, Immunophenotype and Autoimmune Disease in a Prospective Cohort of Patients with Idiopathic CD4 Lymphocytopenia // Clin. Immunol. 2021. Vol. 224. Art. № 108664. <https://doi.org/10.1016/j.clim.2021.108664>

6. Lee A.Y.S., Reed J.H., Gordon T.P. Anti-Ro60 and Anti-Ro52/TRIM21: Two Distinct Autoantibodies in Systemic Autoimmune Diseases // *J. Autoimmun.* 2021. Vol. 124. Art. № 102724. <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2021.102724>
7. Xiao Z.X., Miller J.S., Zheng S.G. An Updated Advance of Autoantibodies in Autoimmune Diseases // *Autoimmun. Rev.* 2021. Vol. 20, № 2. Art. № 102743. <https://doi.org/10.1016/j.autrev.2020.102743>
8. Chen D.S., Mellman I. Elements of Cancer Immunity and the Cancer–Immune Set Point // *Nature*. 2017. Vol. 541, № 7637. P. 321–330. <https://doi.org/10.1038/nature21349>
9. Walker J.A., McKenzie A.N.J. T<sub>H</sub>2 Cell Development and Function // *Nat. Rev. Immunol.* 2018. Vol. 18, № 2. P. 121–133. <https://doi.org/10.1038/nri.2017.118>
10. Добродеева Л.К., Патракеева В.П., Стрекаловская М.Ю. Иммунные реакции в зависимости от стадии онкологического заболевания // *Якут. мед. журн.* 2022. № 2(78). С. 60–63.
11. Davoodzadeh Gholami M., Kardar G.A., Saeedi Y., Heydari S., Garssen J., Falak R. Exhaustion of T Lymphocytes in the Tumor Microenvironment: Significance and Effective Mechanisms // *Cell. Immunol.* 2017. Vol. 322. P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.cellimm.2017.10.002>
12. Добродеева Л.К., Самодова А.В., Карякина О.Е. Взаимосвязи в системе иммунитета. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 198 с.
13. Фоменко Ю.М., Жумакаева С.С., Жумакаева А.М., Сирота В.Б., Муравлева Л.Е. Внеклеточные нуклеиновые кислоты при онкологической патологии // *Соврем. проблемы науки и образования*. 2018. № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27547> (дата обращения: 12.05.2023).
14. Зибиров Р.Ф., Мозеров С.А. Характеристика клеточного микроокружения опухоли // *Онкология. Журн. им. П.А. Герцена*. 2018. Т. 7, № 2. С. 67–72. <https://doi.org/10.17116/onkolog20187267-72>
15. Лыжко Н.А. Молекулярно-генетические механизмы инициации, промоции и прогрессии опухолей // *Рос. биотерапевт. журн.* 2017. Т. 16, № 4. С. 7–17. <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2017-16-4-7-17>
16. Bellamri N., Viel R., Morzadec C., Lecureur V., Joannes A., de Latour B., Llamas-Gutierrez F., Wollin L., Jouneau S., Vernhet L. TNF- $\alpha$  and IL-10, Control CXCL13 Expression in Human Macrophages // *J. Immunol.* 2020. Vol. 204, № 9. P. 2492–2502. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1900790>
17. Rasquinha M.T., Sur M., Lasrado N., Reddy J. IL-10 as a Th2 Cytokine: Differences Between Mice and Humans // *J. Immunol.* 2021. Vol. 207, № 9. P. 2205–2215. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.2100565>

## References

1. Dobrodeeva L.K., Sen'kova L.V., Lyutfaliev G.T., Kornienko E.B., Prelovskaya I.B., Dobrodeev G.V. Levels of Autoantibodies in Healthy Subjects. *Hum. Physiol.*, 2006, vol. 32, no. 1, pp. 86–93.
2. Dobrodeeva L.K., Suslonova G.A. Autoantitela u prakticheski zdorovykh lyudey [Autoantibodies in Healthy Individuals]. *Immunologiya*, 1990, no. 2, pp. 52–55.
3. Lyutfaliev G.T., Dobrodeeva L.K. Autoantitela: fiziologicheskoe znachenie v regulyatsii gomeostaza [Autoantibodies: Physiological Importance in Regulation of Homeostasis]. *Ekologiya cheloveka*, 2007, no. 8, pp. 38–42.
4. Dobrodeeva L.K., Shtaborov V.A., Men'shikova E.A., Dobrodeev K.G. *Aktivnost' immunnykh reaktsiy v zavisimosti ot kharaktera pitaniya i sostoyaniya organov zheludochno-kishechnogo trakta* [The Activity of Immune Reactions Depending on the Type of Diet and the State of the Organs of the Gastrointestinal Tract]. Yekaterinburg, 2018. 172 p.
5. Cudrici C.D., Boulougoura A., Sheikh V., Freeman A., Sortino O., Katz J.D., Sereti I., Siegel R.M. Characterization of Autoantibodies, Immunophenotype and Autoimmune Disease in a Prospective Cohort of Patients with Idiopathic CD4 Lymphocytopenia. *Clin. Immunol.*, 2021, vol. 224. Art. no. 108664. <https://doi.org/10.1016/j.clim.2021.108664>
6. Lee A.Y.S., Reed J.H., Gordon T.P. Anti-Ro60 and Anti-Ro52/TRIM21: Two Distinct Autoantibodies in Systemic Autoimmune Diseases. *J. Autoimmun.*, 2021, vol. 124. Art. no. 102724. <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2021.102724>
7. Xiao Z.X., Miller J.S., Zheng S.G. An Updated Advance of Autoantibodies in Autoimmune Diseases. *Autoimmun. Rev.*, 2021, vol. 20, no. 2. Art. no. 102743. <https://doi.org/10.1016/j.autrev.2020.102743>
8. Chen D.S., Mellman I. Elements of Cancer Immunity and the Cancer–Immune Set Point. *Nature*, 2017, vol. 541, no. 7637, pp. 321–330. <https://doi.org/10.1038/nature21349>
9. Walker J.A., McKenzie A.N.J. T<sub>H</sub>2 Cell Development and Function. *Nat. Rev. Immunol.*, 2018, vol. 18, no. 2, pp. 121–133. <https://doi.org/10.1038/nri.2017.118>

10. Dobrodeeva L.K., Patrakeeve V.P., Strekalovskaya M.Yu. Immunnye reaktsii v zavisimosti ot stadii onkologicheskogo zabolevaniya [Dependence of Immune Reactions on the Stage of Oncological Disease]. *Yakutskiy meditsinskiy zhurnal*, 2022, no. 2, pp. 60–63.

11. Davoodzadeh Gholami M., Kardar G.A., Saeedi Y., Heydari S., Garssen J., Falak R. Exhaustion of T Lymphocytes in the Tumor Microenvironment: Significance and Effective Mechanisms. *Cell. Immunol.*, 2017, vol. 322, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.cellimm.2017.10.002>

12. Dobrodeeva L.K., Samodova A.V., Karyakina O.E. *Vzaimosvyazi v sisteme immuniteta* [Correlations in the Immune System]. Yekaterinburg, 2014. 198 p.

13. Fomenko Yu.M., Zhumakaeva S.S., Zhumakaeva A.M., Sirota V.B., Muravleva L.E. Vnekletochnye nukleinovye kisloty pri onkologicheskoy patologii [Extracellular Nucleic Acids in Oncological Pathology]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2018, no. 2. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27547> (accessed: 12 May 2023).

14. Zibirov R.F., Mozerov S.A. Kharakteristika kletochnogo mikrookruzheniya opukholi [Characterization of the Tumor Cell Microenvironment]. *Onkologiya. Zhurnal im. P.A. Gertsena*, 2018, vol. 7, no. 2, pp. 67–72. <https://doi.org/10.17116/onkolog20187267-72>

15. Lyzhko N.A. Molekulyarno-geneticheskie mekhanizmy initsiatsii, promotsii i progressii opukholey [Molecular-Genetic Mechanisms of Initiation, Promotion and Progression of Tumors]. *Rossiyskiy bioterapevticheskiy zhurnal*, 2017, vol. 16, no. 4, pp. 7–17. <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2017-16-4-7-17>

16. Bellamri N., Viel R., Morzadec C., Lecureur V., Joannes A., de Latour B., Llamas-Gutierrez F., Wollin L., Jouneau S., Vernhet L. TNF- $\alpha$  and IL-10, Control CXCL13 Expression in Human Macrophages. *J. Immunol.*, 2020, vol. 204, no. 9, pp. 2492–2502. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1900790>

17. Rasquinha M.T., Sur M., Lasrado N., Reddy J. IL-10 as a Th2 Cytokine: Differences Between Mice and Humans. *J. Immunol.*, 2021, vol. 207, no. 9, pp. 2205–2215. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.2100565>

**Received 16 May 2023**

**Accepted 20 July 2023**

**Published 30 November 2023**

**Поступила 16.05.2023**

**Принята 20.07.2023**

**Опубликована 30.11.2023**

Журнал медико-биологических исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 398–407.

*Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 398–407.

Научная статья

УДК 615.823:616.7

DOI: 10.37482/2687-1491-Z160

## Влияние авторского метода виброакустического массажа поющими чашами на статокинетическую устойчивость

Виктор Олегович Огуй\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1321-9824>

Елена Александровна Сазонова\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7501-3645>

Евгений Витальевич Быков\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

\*Уральский государственный университет физической культуры  
(г. Челябинск)

**Аннотация.** Нарушения статокинетической устойчивости в человеческой популяции чрезвычайно распространены, хотя в подавляющем большинстве случаев они не проявляются клинически. Такие нарушения могут возникать при патологии центральной и периферической нервной системы, вестибулярного и опорно-двигательного аппарата. Виброакустический массаж поющими чашами в последние годы стал объектом внимания исследователей как один из методов улучшения физиологических функций человеческого организма. Интерес представляет воздействие виброакустических волн на функцию равновесия, в регуляции которой принимает участие и вестибулярный аппарат. Удобным, безопасным и объективным способом оценки функции равновесия является стабилметрия, основные параметры которой (длина и площадь статокинезиограммы, работа, скорость отклонения центра давления) непосредственно отражают способность человека удерживать центр массы в относительно стабильном состоянии. **Целью** исследования стало изучение влияния авторского метода виброакустического массажа поющими чашами на статокинетическую устойчивость, представленную стабилметрическими параметрами. **Материалы и методы.** Исследование проводилось с ноября 2019 года по март 2020 года на базе Уральского государственного университета физической культуры (г. Челябинск). Его участники ( $n = 22$ ) проходили курс процедур виброакустического массажа поющими чашами по протоколу государственного патента на изобретение RU 2687006 C1 (автор – Огуй Виктор Олегович). Стабилметрические параметры оценивались до курса, сразу после курса и через две недели после окончания курса с использованием системы ST-150 (ООО «Мера-ТСП», Москва), в стандартном тесте Ромберга и комбинированном тесте «Мишень». **Результаты.** Установлено, что указанный курс виброакустического массажа поющими чашами приводит к устойчивому улучшению показателя энергоэффективности управления позой в усложненных условиях, а также к временному улучшению функции равновесия, что проявляется увеличением длины статокинезиограммы и скорости отклонения центра давления в тесте «Мишень» с неподвижной меткой.

**Ключевые слова:** виброакустический массаж, функция равновесия, статокинетическая устойчивость, поющие чаши, вибромассаж, стабилметрия.

**Ответственный за переписку:** Огуй Виктор Олегович, адрес: 454091, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, д. 1; e-mail: doktronn@yandex.ru

*Для цитирования:* Огуй В.О., Сазонова Е.А., Быков Е.В. Влияние авторского метода виброакустического массажа поющими чашами на статокINETическую устойчивость // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 398–407. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z160>

Original article

## Influence of the Author's Method of Vibroacoustic Massage with Singing Bowls on the Results of Stabilometry

Viktor O. Oguy\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1321-9824>  
Elena A. Sazonova\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7501-3645>  
Evgeniy V. Bykov\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

\*The Urals State University of Physical Culture  
(Chelyabinsk, Russian Federation)

**Abstract.** In the human population, statokinetic stability disorders are extremely common, although in the vast majority of cases they do not manifest themselves clinically. Such disorders can occur in the pathologies of the central and peripheral nervous systems as well as vestibular and musculoskeletal systems. In recent years, researchers have turned their attention to vibroacoustic massage with singing bowls as one of the methods used to improve the physiological functions of the human body. Of interest is the effect produced by vibroacoustic waves on the balance function, which is partly regulated by the vestibular system. A convenient, safe and objective way to assess the balance function is stabilometry, whose main parameters (length and area of the statokinesigram, work, and centre of pressure sway velocity) directly reflect a person's ability to keep the centre of mass in a relatively stable state. The **purpose** of this article was to study the influence of the author's method of vibroacoustic massage with singing bowls on statokinetic stability, presented by stabilometric parameters. **Materials and methods.** The research was performed from November 2019 to March 2020 at the Urals State University of Physical Culture (Chelyabinsk). The subjects ( $n = 22$ ) underwent a course of procedures according to the author's method of vibroacoustic massage with singing bowls performed in line with the protocol of the state patent RU2687006C1 (author: Viktor O. Oguy). Stabilometric parameters were assessed before the course, immediately after the course and two weeks after the course using the ST-150 system (OOO Mera-TSP, Moscow) in the standard Romberg's test and the combined Target Test. **Results.** It was established that this course of vibroacoustic massage with singing bowls provides a lasting improvement in energy efficiency index of posture control under complicated conditions as well as a temporary improvement in the balance function, which is manifested in increased statokinesigram length and centre of pressure sway velocity in the Target Test with a fixed target.

**Keywords:** *vibroacoustic massage, balance function, statokinetic stability, singing bowls, vibromassage, stabilometry.*

**For citation:** Oguy V.O., Sazonova E.A., Bykov E.V. Influence of the Author's Method of Vibroacoustic Massage with Singing Bowls on the Results of Stabilometry. *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 398–407. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z160>

**Corresponding author:** Viktor Oguy, *address:* ul. Ordzhonikidze 1, Chelyabinsk, 454091, Russian Federation; *e-mail:* doktornn@yandex.ru

Координация положения тела в пространстве является индикатором функционального развития и здоровья организма, а самым быстрым и эффективным способом диагностики постуральных расстройств считается стабилметрия, оценивающая распределение центра масс на стабиллоплатформе [1]. Стабилметрия обычно основана на анализе координат центра давления, изменяющихся во времени, при стоянии на двух ногах или на одной ноге с открытыми или закрытыми глазами [2]. Результаты такого исследования могут варьировать в зависимости от условий его проведения. Так, в случае параллельно соединенных стоп разброс значений намного больше, чем при отдельно расположенных или развернутых на 30° стопах. Последняя позиция наиболее комфортна для испытуемого [3]. Самым надежным параметром стабиллограммы является длина пути, в то время как другие (разница распределения нагрузки и др.) обладают умеренной надежностью. Это следует учитывать при оценке стабиллограммы, выбирая самые простые и надежные параметры [2]. При выполнении стабиллометрии по стандартной методике рассчитывают коэффициент Ромберга, который представляет собой соотношение работы, затраченной на поддержание позы с закрытыми глазами, и работы с открытыми глазами [3].

Имеются определенные половые различия в организации произвольной двигательной активности, связанные с особенностями механизмов сенсорного восприятия, моторики и деятельности ЦНС. Кроме того, у женщин скоррелированность параметров стабиллометрии мало зависит от зрительного контроля, а характеризуется динамическим компонентом постуральной функции [4].

На результаты стабиллометрии может влиять соматическая патология. Так, при болях в спине отмечается ухудшение основных показателей функции равновесия и повышение роли зрительного анализатора в его поддержании [5]. Стабиллометрия позволяет уточнить структуру постуральных нарушений при бо-

лезнях нервной системы: у пациентов с акинетико-ригидной формой болезни Паркинсона данные стабиллометрии отражают нарушение статики [6].

Результаты стабиллометрии позволяют диагностировать задержки в формировании двигательных навыков и координации движений у детей с детским церебральным параличом, аутизмом, умственной отсталостью [7]. Парадоксальным образом у детей с тяжелыми нарушениями речи обнаруживались лучшие показатели кинестетической чувствительности по сравнению с данными здоровых детей [8].

Делаются попытки применять стабиллометрию в стоматологии в целях комплексной диагностики и оценки взаимосвязи соматической и стоматологической патологий. Результаты стабиллометрического исследования включают в ортодонтическую карту [9]. Метод может использоваться в диагностике головокружений, ассоциированных с мигренью: у таких пациентов статистически значимо повышены площадь статокинезиограммы и скорость отклонения центра давления [10].

Стабиллометрическая платформа может выполнять функцию кинезотренажера, предоставляя возможность поддержания биологической обратной связи при управлении телом. Это позволяет использовать стабиллометрию в процессе реабилитации пациентов с травмами, ортопедическими и иными патологиями. Физические упражнения с тренировкой отдельных групп мышц могут приводить к стабилизации баланса тела за счет механизма улучшения проприоцептивного управления мышечным тонусом [11]. Курс стабиллотренинга с обратной связью с успехом применялся у спортсменов с травмой голеностопного сустава: после окончания курса уменьшалась площадь и длина статокинезиограммы, средняя скорость отклонения центра давления. Таким образом, ускорялось восстановление статического равновесия, а значит, и работоспособности спортсменов [12]. Стабиллометрия часто применяется для диагностики кинестетической чувствительности при травме коленного

сустава и в процессе восстановления после реконструкции крестообразных связок [13].

Различные медицинские вмешательства могут приводить к существенному улучшению параметров стабилотрии, что говорит о совершенствовании функции равновесия после определенных манипуляций [14, 15]. Представляет интерес изучение влияния методов нетрадиционной медицины (народной медицины жителей гималайского региона) на постуральную устойчивость испытуемых. В ранее проведенных исследованиях виброакустическое воздействие поющими чашами улучшало параметры сердечной деятельности, нормализовало частоту дыхания, повышало кислородную насыщенность периферической крови, меняло кожную проводимость и другие физиологические показатели [16].

Цель настоящей работы – изучение влияния авторского метода виброакустического массажа поющими чашами (патент RU 2687006 С1) на статокинетическую устойчивость.

**Материалы и методы.** Исследование проводилось с ноября 2019 года по март 2020 года на базе Уральского государственного университета физической культуры (г. Челябинск). В эксперимент были включены 22 чел. (18 женщин и 4 мужчины) в возрасте 18–60 лет (здоровые студенты и преподаватели вуза). Средний возраст выборки составил  $33,14 \pm 13,18$  года. Всем участникам назначили и провели курс виброакустического массажа поющими чашами (8–12 сеансов) по авторской методике [17–19]. Испытуемые дали добровольное информированное письменное согласие на участие в исследовании.

До курса, сразу после него и через 2 недели после его окончания всем участникам было проведено стабилотрическое исследование с использованием стабилотрической системы ST-150 (ООО «Мера-ТСП», Москва). Выполнялось два теста: стандартный тест Ромберга и тест «Мишень» (вариант «комбинированная проба»), смысл которого заключался в удерживании центра давления в

области мишени. Стандартный тест Ромберга состоял из двух проб: с открытыми и закрытыми глазами, его продолжительность составляла 51 с. Во время обследования испытуемый должен был поддерживать равновесие в основной стойке с наименьшими колебаниями тела. Использовалась европейская (пятки вместе) постановка стоп.

Оценивали следующие параметры стабилотрии:

- в тесте Ромберга:  $L_{o.r}$ ,  $L_{з.г}$  – длина (мм) статокинезиограммы в пробе с открытыми и закрытыми глазами соответственно;  $S_{o.r}$ ,  $S_{з.г}$  – площадь (мм<sup>2</sup>) статокинезиограммы в пробе с открытыми и закрытыми глазами;  $V_{o.r}$ ,  $V_{з.г}$  – скорость (мм/с) отклонения центра давления в пробе с открытыми и закрытыми глазами;  $A_{o.r}$ ,  $A_{з.г}$  – работа (Дж), проделанная с открытыми и закрытыми глазами;  $NA$  – энергоэффективность баланса (%); КР – коэффициент Ромберга (безразмерная величина);

- в тесте «Мишень»:  $L_1$ ,  $L_2$  – длина (мм) статокинезиограммы в пробе с неподвижной и подвижной метками соответственно;  $S_1$ ,  $S_2$  – площадь (мм<sup>2</sup>) статокинезиограммы в пробе с неподвижной и подвижной метками;  $V_1$ ,  $V_2$  – скорость (мм/с) отклонения центра давления в пробе с неподвижной и подвижной метками;  $N\Sigma$  – общая оценка эффективности управления (%);  $NR$  – результативность выполнения тестовой задачи (%);  $NE$  – энергоэффективность управления (%).

Данные обрабатывали с применением программного пакета IBM SPSS Statistics 23. Результаты сравнивали, используя критерий Кендалла. Также сравнивали значения, полученные после окончания курса процедур, с исходными значениями (по критерию Уилкоксона). Все результаты характеризовались параметрами описательной статистики (средняя  $M$ , стандартное отклонение  $SD$ ).

**Результаты.** Данные описательной статистики демонстрируют положительную динамику показателей стабилотрии на фоне виброакустического воздействия поющих чаш (табл. 1, см. с. 402).

Таблица 1

Сравнение результатов стабилметрических тестов до курса виброакустического массажа поющими чашами, сразу после курса и через 2 недели после окончания курса ( $M \pm SD$ )

Comparison of stabilometric test results before, immediately after and two weeks after the course of vibroacoustic massage with singing bowls ( $M \pm SD$ )

Параметр	Время измерения			$p$ (критерий Кендалла)
	до курса	сразу после курса	через 2 недели после курса	
<i>Тест Ромберга</i>				
$L_{0,r}$ , мм	214,55±52,44	235,71±58,46	238,95±63,59	<b>0,036</b>
$L_{3,r}$ , мм	302,97±104,57	315,01±84,20	308,40±914,40	0,504
$S_{0,r}$ , мм <sup>2</sup>	103,75±64,35	91,14±50,71	108,46±61,76	0,854
$S_{3,r}$ , мм <sup>2</sup>	148,60±95,98	161,29±95,26	201,06±157,21	0,128
$V_{0,r}$ , мм/с	7,12±1,74	7,86±1,94	7,95±2,12	<b>0,032</b>
$V_{3,r}$ , мм/с	10,10±3,47	10,37±2,76	11,03±3,04	0,504
$A_{0,r}$ , Дж	1,07±0,42	1,26±0,59	1,31±0,64	0,368
$A_{3,r}$ , Дж	2,05±1,42	2,04±1,05	2,36±1,37	0,297
$NA$ , %	87,25±17,15	80,17±22,24	79,69±21,98	0,160
КР	181,14±65,87	167,11±54,98	187,95±80,61	0,692
<i>Комбинированный тест «Мишень»</i>				
$L_1$ , мм	208,55±70,43	242,28±64,50	224,54±61,03	<b>0,008</b>
$L_2$ , мм	277,96±76,58	276,19±83,15	269,11±62,75	0,692
$S_1$ , мм <sup>2</sup>	132,28±116,29	166,13±159,38	124,14±101,66	0,368
$S_2$ , мм <sup>2</sup>	96,47±42,82	91,80±58,07	104,00±74,90	0,331
$V_1$ , мм/с	7,09±2,25	8,08±2,13	7,49±2,03	<b>0,006</b>
$V_2$ , мм/с	9,27±2,55	9,21±2,78	8,97±2,10	0,692
$N\Sigma$ , %	78,62±12,03	78,95±13,21	98,20±18,01	0,910
$NR$ , %	72,86±19,58	72,63±16,06	75,74±18,16	0,854
$NE$ , %	69,24±25,51	79,16±23,13	79,16±24,07	<b>0,049</b>

*Примечание.* Здесь и далее полужирным выделены статистически значимые изменения ( $p \leq 0,05$ ).

Статистически значимые изменения в трех группах данных (до курса, сразу после курса и через 2 недели после курса) наблюдались для значений  $L_{0,r}$  ( $p = 0,036$ ),  $V_{0,r}$  ( $p = 0,032$ ),  $L_1$  ( $p = 0,008$ ),  $V_1$  ( $p = 0,006$ ) и  $NE$  ( $p = 0,049$ ).

$NE$  – это мера энергозатрат испытуемого на перемещение центра давления в плоскости платформы. По степени изменения энергозатрат на поддержание заданной позы можно судить о динамике состояния испытуемого вследствие воздействия на него виброакустического

массажа. Чем меньше затрачивается энергии на удержание позы, тем выше  $NE$ . Через 2 недели после окончания курса  $NE$  достигло максимальных значений. Этот параметр является одним из основных показателей стабильности позы в усложненных условиях комбинированной динамической пробы, следовательно, его улучшение может быть расценено как один из значимых результатов применения виброакустического массажа поющими чашами. Напрямую с этим показателем связан  $N\Sigma$ , который

также зависит от продуктивности внимания и точности прицеливания (данные параметры у испытуемых и на начало эксперимента были на высоком уровне). В связи с этим суммарная эффективность показателей, или общая оценка  $N\Sigma$ , улучшилась именно за счет энергоэффективности управления  $NE$ .

Чтобы оценить достоверность выявленных изменений, проводили попарное сравнение ре-

зультатов, полученных сразу после курса либо через 2 недели после его окончания, с исходными данными при помощи критерия Уилкоксона (табл. 2). Были установлены статистически значимые изменения показателей  $L_1$  и  $V_1$  сразу после курса виброакустического массажа ( $p = 0,001$ ), а через 2 недели после окончания курса ни по одному показателю достоверных изменений не наблюдалось. Тем не менее

Таблица 2

**Попарное сравнение (критерий Уилкоксона)  
результатов стабилметрических тестов  
до курса виброакустического массажа поющими чашами с результатами  
сразу после курса и через 2 недели после его окончания**

**Pairwise comparison (Wilcoxon signed-rank test) of stabilometric test results  
before the course of vibroacoustic massage with singing bowls with the results  
immediately after and two weeks after the course**

Параметр	Различие ( $p$ ) с результатами до курса	
	результатов сразу после курса	результатов через 2 недели после курса
<i>Тест Ромберга</i>		
$L_{0,r}$ , мм	0,107	0,184
$L_{3,r}$ , мм	0,748	0,184
$S_{0,r}$ , мм <sup>2</sup>	0,809	0,658
$S_{3,r}$ , мм <sup>2</sup>	0,334	0,159
$V_{0,r}$ , мм/с	0,080	0,190
$V_{3,r}$ , мм/с	1,000	0,171
$A_{0,r}$ , Дж	0,159	0,126
$A_{3,r}$ , Дж	0,872	0,212
$NA$ , %	0,173	0,233
КР	0,469	0,920
<i>Комбинированный тест «Мишень»</i>		
$L_1$ , мм	<b>0,001</b>	0,212
$L_2$ , мм	0,601	0,421
$S_1$ , мм <sup>2</sup>	0,295	0,968
$S_2$ , мм <sup>2</sup>	0,314	0,494
$V_1$ , мм/с	<b>0,001</b>	0,243
$V_2$ , мм/с	0,658	0,421
$N\Sigma$ , %	0,879	0,468
$NR$ , %	0,856	0,456
$NE$ , %	0,070	0,056

следует обратить внимание, что критерии значимости различий для показателей  $V_{ог}$  и  $NE$  сразу после курса ( $p = 0,080$  и  $p = 0,070$  соответственно), а также для  $NE$  через 2 недели после курса ( $p = 0,056$ ) были близки к пороговому значению  $p = 0,05$ .

**Обсуждение.** Проведенное исследование показало, что виброакустическое воздействие поющими чашами по авторскому методу привело к достоверным изменениям  $L_1$  и  $V_1$  сразу после курса процедур. Показатель  $L_1$  представляет собой длину статокинезиограммы, измеренную в тесте «Мишень» с неподвижной меткой; после окончания курса среднее значение этого параметра составило  $242,28 \pm 64,50$  мм против  $208,55 \pm 70,43$  мм до начала курса ( $p = 0,001$ ). Показатель  $V_1$  связан с  $L_1$ , поскольку скорость рассчитывалась из длины пройденного пути. Сразу после курса параметр  $V_1$  вырос до  $8,08 \pm 2,13$  мм/с по сравнению со значением  $7,09 \pm 2,25$  мм/с в начале эксперимента ( $p = 0,001$ ). Обе величины соответствовали нормальным значениям.

Увеличение скорости отклонения центра давления и длины статокинезиограммы в тесте с неподвижной меткой свидетельствует о повышении скорости движений в попытке сбалансировать центр массы; для локализации причины таких изменений (вестибулярный аппарат, мозжечок, моторные центры, зрительный контроль и т. д.) следует провести дополнительные исследования.

Хотя показатели  $V_{ог}$  и  $NE$  изменились статистически недостоверно, уровень значимости различий (по критерию Уилкоксона) приближался к пороговому. Увеличение скорости отклонения от центра давления в тесте Ромберга с открытыми глазами ( $V_{ог}$ ) может говорить об

уменьшении эффективности зрительного анализатора при поддержании равновесия. Все основные показатели в тесте Ромберга находились в пределах нормы. Тем не менее после курса виброакустического массажа улучшились такие параметры, как энергоэффективность управления ( $NE$ ), результативность ( $NR$ ), общая оценка энергоэффективности управления ( $N\Sigma$ ), особенно через 2 недели после окончания курса, что говорит о сохранности эффектов [20]. Наблюдаемая динамика параметров стабилотрии может быть связана с волновым процессом, возникающим в результате прилаемого виброакустического воздействия и выражающимся определенными вегетативными реакциями [21]. Через 2 недели после окончания курса не было выявлено достоверных изменений изученных показателей, что отражает постепенное уменьшение первоначального положительного эффекта.

Итак, исследование влияния авторского метода виброакустического массажа поющими чашами на поструральную устойчивость установило следующее:

1. Курс виброакустического массажа с использованием поющих чаш приводит к временному изменению функции равновесия, что проявляется увеличением показателей  $L_1$  и  $V_1$  ( $p = 0,001$ ) в тесте «Мишень» с неподвижной меткой.

2. Наблюдаемое положительное устойчивое изменение энергоэффективности управления  $NE$ , одного из основных показателей, отражающих сохранение стабильности позы в усложненных условиях комбинированной динамической пробы, может быть расценено как значимый положительный результат применения виброакустического массажа поющими чашами.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

## Список литературы

1. Маличенко А.А., Костючик И.Ю., Николаева Ю.В., Оленская Т.Л., Кручинский Н.Г. Стабилометрия в спорте: реальности и перспективы // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Е: Пед. науки. 2019. № 15. С. 142–146.
2. Nagymáté G., Orlovits Z., Kiss R.M. Reliability Analysis of a Sensitive and Independent Stabilometry Parameter Set // PLoS One. 2018. Vol. 13, № 4. Art. № e0195995. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195995>
3. Scoppa F., Gallamini M., Belloni G., Messina G. Clinical Stabilometry Standardization: Feet Position in the Static Stabilometric Assessment of Postural Stability // Acta Med. Mediterr. 2017. Vol. 33. P. 707–713. [https://doi.org/10.19193/0393-6384\\_2017\\_4\\_105](https://doi.org/10.19193/0393-6384_2017_4_105)
4. Полосухина А.Д., Петрова Е.В., Соколова Н.И., Ткаченко П.В. Половые особенности скоррелированности показателей стабилометрии // Павловские чтения: сб. науч. тр. всерос. науч.-практ. конф., г. Курск, 18 окт. 2018 г. / под ред. П.В. Ткаченко. Курск: КГМУ, 2018. С. 46–48.
5. Тараканов А.В., Тараканова А.А., Ефремов В.В., Лисутина О.А. Компьютерная стабилометрия при болях в нижней части спины // Современ. проблемы науки и образования. 2018. № 2. Ст. № 28. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27482> (дата обращения: 18.01.2023).
6. Колмакова Т.С., Гончарова З.А., Тараканов А.В., Исачкина Н.С., Гельпей М.А. Статическая стабилометрия как метод оценки постуральных нарушений у пациентов, страдающих болезнью Паркинсона // Евраз. Союз Ученых. 2018. № 7-2(52). С. 22–25.
7. Шпак И.В. Стабилометрия в оценке качества функции равновесия детей с особенностями психофизического развития // Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси: материалы XII междунар. молодеж. науч.-практ. конф., г. Пинск, 6 апреля 2018 г. Ч. 3. Пинск: ПолесГУ, 2018. С. 84–85.
8. Гимазов Р.М., Абдурахманова О.А., Рембеза А.В., Панько Л.А. Оценка развития двигательной функции у дошкольников // Пед.-психол. и мед.-биол. проблемы физ. культуры и спорта. 2019. Т. 14, № 2. С. 103–109.
9. Леонтьева Т.С. Постуральная система: введение // Бюл. Сев. гос. мед. ун-та. 2019. № 2(43). С. 18–20.
10. Илларионова Е.М., Грибова Н.П. Современные возможности диагностики мигрень-ассоциированного головокружения // Смолен. мед. альм. 2019. № 3. С. 71–77.
11. Маличенко А.А., Оленская Т.Л. Стабилометрия как метод контроля физической реабилитации пациентов // Здоровье для всех. 2021. № 1. С. 18–21.
12. Попова Г.В., Парамонова Н.А., Семашко В.В., Кананович Н.И. Коррекция функции статического равновесия у спортсменов с травмой голеностопного сустава // Техническое обеспечение спортивной деятельности: материалы V Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 15–16 февраля 2018 г. / под ред. И.В. Бельского [и др.]. Минск: БНТУ, 2018. С. 24–26. URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/40530> (дата обращения: 18.01.2023).
13. Федулова Д.В., Ямалетдинова Г.А. Методы оценки процесса восстановления после реконструкции крестообразных связок коленного сустава // Науч.-спортив. вестн. Урала и Сибири. 2018. № 1(17). С. 68–85.
14. Горянная Н.А., Ишекова Н.И., Ишеков А.Н. Динамика показателей стабилометрии на втором этапе реабилитации пациентов после эндопротезирования тазобедренного сустава // Журн. мед.-биол. исследований. 2020. Т. 8, № 3. С. 277–284. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z019>
15. Костенко Е.В., Петрова Л.В., Рылский А.В., Энеева М.А. Эффективность коррекции постинсультных двигательных нарушений с применением методов функциональной электростимуляции и БОС-стабилометрического постурального контроля // Журн. неврологии и психиатрии. 2019. Т. 119, № 1. С. 23–30. <https://doi.org/10.17116/jnevro201911901123>
16. Stanhope J., Weinstein P. The Human Health Effects of Singing Bowls: A Systematic Review // Complement. Ther. Med. 2020. Vol. 51. Art. № 102412. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2020.102412>
17. Пат. ЕА 201900263 А3, МПК А61Н 23/00 (2006.01). Способ вибрационно-акустического массажа: № 201900263: заявл. 31.05.2019; опубл. 31.01.2020 / В.О. Огуй. URL: <https://patents.google.com/patent/EA201900263A3/en?qoq=EA201900263A3> (дата обращения: 18.11.2021).
18. Пат. RU 2687006 С1, МПК А61Н 23/00(2006.01). Способ вибрационно-акустического массажа: № 2018121741: заявл. 14.06.2018; опубл. 06.05.2019 / В.О. Огуй. URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2687006C1\\_20190506](https://yandex.ru/patents/doc/RU2687006C1_20190506) (дата обращения: 21.11.2021).

19. Пат. WO 2019240622 A1, МПК А61Н 23/00 (2006.01). Способ вибрационно-акустического массажа: № РСТ/RU2019/000364: заявл. 24.05.2019: опубл. 19.12.2019 / В.О. Огуй. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/f5/e7/5b/2035a5f57596d5/WO2019240622A1.pdf> (дата обращения: 21.11.2021).

20. Курсанов В.В. Воздействие вибрации на человека, технические устройства и защита от вибрации // Безопасность жизнедеятельности. 2015. № 9. С. 10–14.

21. Келлер В.В., Рубин Л.С., Пинчук Н.В., Нужицина А.А. Опасная громкая музыка // Слово о музыке. 2018. № 2(3). С. 20–29.

## References

1. Malichenko A.A., Kostyuchik I.Yu., Nikolaeva Yu.V., Olenskaya T.L., Kruchinskiy N.G. Stabilometriya v sporte: real'nosti i perspektivy [Stabilometry in Sport: Realities and Prospects]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. E: Pedagogicheskie nauki*, 2019, no. 15, pp. 142–146.

2. Nagymáté G., Orlovits Z., Kiss R.M. Reliability Analysis of a Sensitive and Independent Stabilometry Parameter Set. *PLoS One*, 2018, vol. 13, no. 4. Art. no. e0195995. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195995>

3. Scoppa F., Gallamini M., Belloni G., Messina G. Clinical Stabilometry Standardization: Feet Position in the Static Stabilometric Assessment of Postural Stability. *Acta Med. Mediterr.*, 2017, vol. 33, pp. 707–713. [https://doi.org/10.19193/0393-6384\\_2017\\_4\\_105](https://doi.org/10.19193/0393-6384_2017_4_105)

4. Polosukhina A.D., Petrova E.V., Sokolova N.I., Tkachenko P.V. Polovye osobennosti skorrelirovannosti pokazateley stabilometrii [Sex-Related Characteristics of the Correlation of Stabilometric Parameters]. Tkachenko P.V. (ed.). *Pavlovskie chteniya* [Pavlov Readings]. Kursk, 2018, pp. 46–48.

5. Tarakanov A.V., Tarakanova A.A., Efremov V.V., Lisutina O.A. Komp'yuternaya stabilometriya pri bolyakh v nizhney chasti spiny [Computer Stabilometrics in Case of Lower Back Pain]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2018, no. 2. Art. no. 28. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27482> (accessed: 18 January 2023).

6. Kolmakova T.S., Goncharova Z.A., Tarakanov A.V., Isachkina N.S., Gel'pey M.A. Sticheseskaya stabilometriya kak metod otsenki postural'nykh narusheniy u patsientov, stradayushchikh boleznyu Parkinsona [Static Stabilometry as a Method of Postural Disturbances Assessment in Patients with Parkinson's Disease]. *Evraziyskiy Soyuz Uchenykh*, 2018, no. 7-2, pp. 22–25.

7. Shpak I.V. Stabilometriya v otsenke kachestva funktsii ravnesiya detey s osobennostyami psikhofizicheskogo razvitiya [Stabilometry in Assessing Balance Quality in Children with Special Needs]. *Nauchnyy potentsial molodezhi – budushchemu Belarusi* [Scientific Potential of Young People – for the Future of Belarus]. Pt. 3. Pinsk, 2018, pp. 84–85.

8. Gimazov R.M., Abdurakhmanova O.A., Rembeza A.V., Panko L.A. Motor Function Development Estimation Among Pre-School Children. *Russ. J. Phys. Educ. Sport*, 2019, vol. 14, no. 2, pp. 103–109 (in Russ.).

9. Leont'eva T.S. Postural'naya sistema: vvedenie [Postural System: An Introduction]. *Byulleten' Severnogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*, 2019, no. 2, pp. 18–20.

10. Illarionova E.M., Gribova N.P. Sovremennye vozmozhnosti diagnostiki migren'-assotsirovannogo golovokruzheniya [Modern Possibilities of Diagnosis of Migraine-Associated Vertigo]. *Smolenskiy meditsinskiy al'manakh*, 2019, no. 3, pp. 71–77.

11. Malichenko A.A., Olenskaya T.L. Stabilometriya kak metod kontrolya fizicheskoy reabilitatsii patsientov [Stabilometry as a Method of Monitoring the Physical Rehabilitation of Patients]. *Zdorov'e dlya vsekh*, 2021, no. 1, pp. 18–21.

12. Popova G.V., Paramonova N.A., Semashko V.V., Kananovich N.I. Korrektsiya funktsii staticheskogo ravnesiya u sportsmenov s travmoy golenostopnogo sustava [Correction of the Static Balance Function in Athletes with Ankle Injuries]. Bel'skiy I.V. et al. (eds.). *Tekhnicheskoe obespechenie sportivnoy deyatel'nosti* [Technical Support for Sports Activities]. Minsk, 2018, pp. 24–26. Available at: <https://rep.bntu.by/handle/data/40530> (accessed: 18 January 2023).

13. Fedulova D.V., Yamaletdinova G.A. Metody otsenki protsessa vosstanovleniya posle rekonstruktsii krestooobraznykh svyazok kolennogo sustava [Methods for Evaluating the Recovery Process After Reconstruction of Cruciate Ligaments of the Knee Joint]. *Nauchno-sportivnyy vestnik Urala i Sibiri*, 2018, no. 1, pp. 68–85.

14. Goryannaya N.A., Ishekova N.I., Ishekov A.N. Dynamics of Stabilometric Indicators at the Second Stage of Rehabilitation After Hip Replacement. *J. Med. Biol. Res.*, 2020, vol. 8, no. 3, pp. 277–284. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z019>

15. Kostenko E.V., Petrova L.V., Ryl'skiy A.V., Eneeva M.A. Effektivnost' korrektsii postinsul'tnykh dvigatel'nykh narusheniy s primeneniem metodov funktsional'noy elektrostimulyatsii i BOS-stabilometricheskogo postural'nogo kontrolya [Effectiveness of Correction of Post-Stroke Motor Disorders Using the Methods of Functional Electrostimulation and BFB-Stabilometric Postural Control]. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii*, 2019, vol. 119, no. 1, pp. 23–30. <https://doi.org/10.17116/jnevro201911901123>

16. Stanhope J., Weinstein P. The Human Health Effects of Singing Bowls: A Systematic Review. *Complement. Ther. Med.*, 2020, vol. 51. Art. no. 102412. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2020.102412>

17. Oguy V.O. *Method of Vibration-Acoustic Massage*. Patent EA201900263A3, 2020. Available at: <https://patents.google.com/patent/EA201900263A3/en?q=EA201900263A3> (accessed: 18 November 2021) (in Russ.).

18. Oguy V.O. *Vibration-Acoustic Massage Method*. Patent RU2687006C1, 2019. Available at: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2687006C1\\_20190506](https://yandex.ru/patents/doc/RU2687006C1_20190506) (accessed: 21 November 2021) (in Russ.).

19. Oguy V.O. *Method of Acoustic Vibratory Massage*. Patent WO2019240622A1, 2019. Available at: <https://patentimages.storage.googleapis.com/f5/e7/5b/2035a5f57596d5/WO2019240622A1.pdf> (accessed: 21 November 2021) (in Russ.).

20. Kirsanov V.V. Vozdeystvie vibratsii na cheloveka, tekhnicheskie ustroystva i zashchita ot vibratsii [The Effects of Vibration on the Human, Technical Devices and Protection Against Vibration]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2015, no. 9, pp. 10–14.

21. Keller V.V., Rubin L.S., Pinchuk N.V., Nuzhdina A.A. Opasnaya gromkaya muzyka [The Dangerous Loud Music]. *Slovo o muzyke*, 2018, no. 2, pp. 20–29.

Received 19 January 2023

Accepted 21 July 2023

Published 30 November 2023

Поступила 19.01.2023

Принята 21.07.2023

Опубликована 30.11.2023

Журнал медико-биологических исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 408–417.  
*Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 408–417.

Научная статья  
УДК 577.125:612.123  
DOI: 10.37482/2687-1491-Z161

## Суточное потребление жиров и параметры липидного профиля крови у студентов вуза на первом-втором годах обучения

Екатерина Васильевна Кругликова\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6355-5850>  
Роман Иделевич Айзман\*\*/\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7776-4768>

\*Горно-Алтайский государственный университет  
(Республика Алтай, г. Горно-Алтайск)

\*\*Новосибирский государственный педагогический университет  
(г. Новосибирск)

\*\*\*Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены  
(г. Новосибирск)

**Аннотация.** Новая образовательная среда вуза и изменение социально-бытовых условий являются факторами напряжения адаптационных механизмов у студентов-первокурсников. Нарушения в питании могут приводить к снижению адаптационно-компенсаторных возможностей организма, изменению основных функций. **Цель** исследования заключалась в изучении динамики фактического содержания жиров в рационе питания и основных маркеров липидного обмена в крови у студентов на 1–2-м годах обучения при проживании в общежитии. **Материалы и методы.** В 2020 и 2021 годах обследована одна и та же выборка здоровых студентов обоего пола ( $n = 62$ ) в возрасте 18–21 года. Осуществляли сбор сведений о фактическом рационе питания студентов с помощью дневника питания, рассчитанного на 7–10 дней. Проводили анализ содержания в сыворотке крови общего холестерина, холестерина липопротеинов высокой и низкой плотности, триглицеридов. **Результаты.** Суточное количество жиров в рационе студенток ( $n = 31$ ) на 2-м году обучения (по сравнению с 1-м годом) статистически значимо увеличилось на 9,3 г. При этом у девушек обнаружено повышение в крови концентрации общего холестерина на 0,2 ммоль/л, а также концентрации триглицеридов на 0,2 ммоль/л. В группе студентов-юношей ( $n = 31$ ) статистически значимого прироста количества потребляемых жиров на 2-м году обучения не выявлено. Отмечено увеличение концентрации триглицеридов в сыворотке крови юношей на 0,1 ммоль/л. Содержание холестерина липопротеинов высокой плотности на 2-м году обучения повысилось в обеих гендерных группах: на 0,5 ммоль/л у респондентов женского пола и на 0,2 ммоль/л – мужского. Концентрация холестерина липопротеинов низкой плотности в крови не изменилась за наблюдаемый период ни у девушек, ни у юношей.

**Ключевые слова:** питание студентов младших курсов, полиненасыщенные жирные кислоты, общий холестерин, липопротеины низкой плотности, липопротеины высокой плотности, триглицериды, первокурсники, второкурсники.

**Ответственный за переписку:** Кругликова Екатерина Васильевна, адрес: 649000, Республика Алтай, г. Горно-Алтайск, ул. Ленкина, д. 1; e-mail: [ekaterinavasiljevna@yandex.ru](mailto:ekaterinavasiljevna@yandex.ru)

*Для цитирования:* Кругликова Е.В., Айзман Р.И. Суточное потребление жиров и параметры липидного профиля крови у студентов вуза на первом-втором годах обучения // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 408–417. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z161>

Original article

## Daily Fat Intake and Lipid Metabolism Parameters in the Blood of University Students in the First and Second Years of Study

Ekaterina V. Kruglikova\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6355-5850>

Roman I. Ayzman\*\*/\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7776-4768>

\*Gorno-Altaysk State University  
(Gorno-Altaysk, Altai Republic, Russian Federation)

\*\*Novosibirsk State Pedagogical University  
(Novosibirsk, Russian Federation)

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

**Abstract.** New educational environment of the university and changes in social and living conditions are factors that strain the adaptation mechanisms of first-year students. Inadequate diet can decrease the body's adaptive and compensatory capabilities and affect its basic functions. The **purpose** of this research was to study the dynamics of the actual fat content in the diet and key markers of lipid metabolism in the blood of university students in their first and second years of study living in a dormitory. **Materials and methods.** The same sample of healthy students of both sexes ( $n = 62$ ) aged 18–21 years studying at Gorno-Altaysk State University were examined in 2020 and 2021. Diet information was obtained through a 7–10-day food diary. Blood concentrations of total cholesterol, low- and high-density lipoproteins as well as triglycerides were determined. **Results.** Daily fat intake of female students ( $n = 31$ ) in their second year of study (compared with the first year) statistically significantly increased by 9.3 g. At the same time, the girls showed an increase in total cholesterol by 0.2 mmol/l and in triglycerides by 0.2 mmol/l. In the group of male students ( $n = 31$ ), no statistically significant increase in dietary fats was observed in the second year. However, triglyceride concentrations in the blood plasma of male subjects increased by 0.1 mmol/l. High-density lipoprotein content increased in the second year in both sex groups: by 0.5 mmol/l in female and by 0.2 mmol/l in male respondents. Blood concentrations of low-density lipoproteins remained unchanged during the observed period in both male and female subjects.

**Keywords:** *student nutrition, polyunsaturated fatty acids, total cholesterol, low-density lipoproteins, high-density lipoproteins, triglycerides, first-year students, second-year students.*

**For citation:** Kruglikova E.V., Ayzman R.I. Daily Fat Intake and Lipid Metabolism Parameters in the Blood of University Students in the First and Second Years of Study. *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 408–417. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z161>

---

**Corresponding author:** Ekaterina Kruglikova, *address:* ul. Lenkina 1, Gorno-Altaysk, 649000, Respublika Altay, Russian Federation; *e-mail:* [ekaterinavasiljevna@yandex.ru](mailto:ekaterinavasiljevna@yandex.ru)

Изучение особенностей питания российских студентов позволяет говорить о нарушениях в фактическом рационе, характеризующихся недостаточностью поступления микро- и макронутриентов: полноценных белков, сложных углеводов и полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). Несбалансированность рациона, нарушение режимности питания, приобретение неблагоприятных пищевых привычек и пролонгирование их в зрелом возрасте могут служить факторами риска развития алиментарных заболеваний [1].

Одним из основных недостатков в структуре питания студентов является несбалансированность потребления насыщенных жирных кислот (НЖК) и ПНЖК [2]. Получено множество данных о связи потребления ПНЖК и НЖК с уровнем холестерина в сыворотке крови [3, 4]. Повышенное потребление НЖК способствует увеличению концентрации в крови холестерина липопротеинов низкой плотности (ХС-ЛПНП), что может приводить к развитию склеротических изменений в сердечно-сосудистой системе [5].

Новая образовательная среда, включающая и социально-бытовой компонент, является фактором напряжения адаптационных механизмов у студентов-первокурсников. На 1-м году обучения в вузе у молодых лиц, как правило, существенно изменяются нервно-гормональные механизмы, оказывающие влияние на различные функциональные, в т. ч. метаболические, процессы [6, 7]. Поэтому изучение динамики основных показателей, характеризующих уровень метаболизма, может помочь в профилактике нарушений обмена веществ и, следовательно, сохранении здоровья студенческой молодежи [6, 8].

Цель настоящего исследования – изучение динамики фактического содержания жиров в рационе питания и основных маркеров липидного обмена в крови у студентов вуза на 1–2-м годах обучения при проживании в общежитии.

**Материалы и методы.** Проведено наблюдательное продольное исследование, которое заключалось в формировании зависимых выборок в 2020 и 2021 годах из 62 студентов в возрасте 18–21 года, проживающих на территории г. Горно-Алтайска и обучающихся в Горно-Алтайском государственном университете, не имеющих хронических заболеваний, не принимающих сильнодействующих лекарственных препаратов и давших письменное информированное согласие. Участники были разделены на группы в зависимости от пола (по 31 чел.). Обследования проводили в осенне-зимний период, состав выборки остался неизменным.

Первичный сбор данных осуществляли в условиях общежития, где участниками были заполнены анкеты с указанием пола, возраста, региона и места проживания (откуда прибыл студент). Измерение длины тела проводили ростометром с точностью до 0,5 см. Массу тела определяли при помощи медицинских напольных весов с точностью до 100 г. На основании полученных данных рассчитывали индекс массы тела (ИМТ).

Для получения сведений о рационе участникам было предложено заполнить дневник питания, содержащий поля «тип приема пищи», «продукт» и «вес порции» (табл. 1). Необходимым условием являлось внесение всех продуктов питания, потребляемых в течение суток (перекусы, полдники и др.), для чего в дневник добавлены дополнительные графы. Сведения о собственном фактическом рационе вносились участниками ежедневно в течение 7–10 дней.

Программа исследования включала оценку структуры питания: на основании полученных данных с помощью таблиц «Химический состав пищевых продуктов»<sup>1</sup> определяли суточное потребление белков, в т. ч. животного происхождения, жиров, в т. ч. ПНЖК и НЖК, углеводов, в т. ч. сложных (пищевых волокон), и калорийность суточного рациона.

<sup>1</sup>Скурихин И.М., Тутельян В.А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания: справ. М.: ДеЛи принт, 2007. 275 с.

Таблица 1

## Фрагмент дневника питания студентов

## A fragment of the students' food diary

Тип приема пищи	Продукт, блюдо, напиток	Вес порции, г	Белки, г	Белки животные, г	Жиры, г	НЖК, г	ПНЖК, г	Углеводы, г	Пищевые волокна, г	Энергетическая ценность, ккал
<i>День 1</i>										
Завтрак										
...										
Обед										
...										
Ужин										
...										

Оценку фактического рациона питания студентов проводили в соответствии с рекомендуемыми нормами потребления пищевых веществ<sup>2</sup>.

Для оценки показателей липидного обмена студенты сдавали пробы крови утром натощак из локтевой вены в условиях лаборатории «Инвитро». В сыворотке крови спектрофотометрическим методом на биохимическом анализаторе Mindray BS-380 (Китай) определяли уровни триглицеридов (ТГ; норма – менее 1,7 ммоль/л), общего холестерина (ОХС; норма – менее 4,6 ммоль/л), ХС-ЛПВП (норма – более 0,9 ммоль/л) и липопротеинов низкой плотности (ХС-ЛПНП; норма – менее 3,7 ммоль/л) с использованием наборов реактивов фирмы Mindray (Китай).

Для анализа состояния липидтранспортной системы и выявления дислипидемии рассчитывали коэффициент атерогенности (КА) по формуле Климова [9].

Статистический анализ результатов проводили с использованием пакета программ Statistica 10.0 (StatSoft, США). Описание количественных показателей осуществляли с указанием среднего арифметического ( $M$ ), медианы ( $Me$ ), 25-го ( $Q_1$ ) и 75-го ( $Q_3$ ) процентилей, минимального и максимального значений ( $min-max$ ). Распределение данных на нормальность оценивали с помощью гистограмм с применением теста Шапиро–Уилка для малых выборок. Характер распределения влиял на выбор метода оценки статистической значимости различий между годами наблюдения: при  $p > 0,5$  применяли  $t$ -критерий Стьюдента для зависимых переменных; при  $p < 0,5$  – критерий Уилкоксона. При определении статистической значимости половых различий использовали критерий Манна–Уитни для независимых выборок. Для оценки связи между переменными применяли коэффициенты корреляции: Пирсо-

<sup>2</sup>МР 2.3.1.2432–08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Введ. 2008–12–18. М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 36 с.

на – при нормальном распределении данных, Спирмена – в качестве непараметрического критерия. Статистически значимыми считали результаты при  $p \leq 0,05$ .

**Результаты.** В динамике наблюдения было установлено (табл. 2), что на 2-м году обучения статистически значимый прирост суточного потребления жиров у девушек составил 9,3 г по среднему и 8,8 г по медиане. Вместе с увеличением количества жиров в рационе статистически значимо повысилось (на 0,8 г по среднему и на 1,2 г по медиане) потребление

ПНЖК. Изменение концентрации ОХС в крови на 2-м году обучения совпадало с общей положительной динамикой: статистически значимый прирост показателя у участниц исследования составил 0,2 ммоль/л по среднему и по медиане. Содержание ХС-ЛПВП в крови увеличилось на 0,5 ммоль/л по среднему и на 0,1 ммоль/л по медиане. Годовые изменения уровня ХС-ЛПНП в сыворотке крови девушек не были статистически значимы, тогда как концентрация ТГ повысилась на 0,2 ммоль/л по среднему и медианному значениям.

Таблица 2

Динамика потребления жиров и параметры липидного профиля крови  
у девушек на 1–2-м годах обучения в вузе

Fat intake dynamics and lipid profile parameters in female university students in the first and second years of study

Курс	$M \pm m$	$Me [Q_1; Q_3]$	Min–max	$P_{1-2}$	
				по $M$	по $Me$
<i>Общее количество жиров, г/сут</i>					
1	51,9±2,1	50,5 [44,0; 55,0]	30,9–103,2	0,003	0,002
2	61,2±1,5	59,3 [53,5; 67,4]	37,3–91,5		
<i>ПНЖК, г/сут</i>					
1	3,5±0,1	3,3 [2,9; 4,2]	2,0–5,9	0,001	0,001
2	4,3±0,0	4,5 [2,9; 5,2]	1,9–8,1		
<i>ИМТ</i>					
1	22,9±0,5	22,4 [20,7; 24,5]	14,4–31,6	0,2	0,31
2	23,0±0,5	22,7 [20,7; 24,5]	15,0–31,6		
<i>ОХС, ммоль/л</i>					
1	3,8±0,0	3,7 [3,4; 4,1]	2,9–5,1	0,002	0,03
2	4,0±0,1	3,9 [3,6; 4,5]	3,1–4,9		
<i>ХС-ЛПНП, ммоль/л</i>					
1	2,1±0,0	2,2 [1,8; 2,3]	0,1–3,2	0,32	0,33
2	2,2±0,0	2,1 [1,8; 2,6]	1,3–3,3		
<i>ХС-ЛПВП, ммоль/л</i>					
1	1,4±0,0	1,4 [1,2; 1,6]	0,7–2,7	0,001	0,002
2	1,9±0,0	1,5 [1,3; 1,8]	0,8–11,6		
<i>ТГ, ммоль/л</i>					
1	0,3±0,0	0,3 [0,3; 0,4]	0,2–0,8	0,0001	0,001
2	0,5±0,0	0,5 [0,5; 0,6]	0,4–0,9		
<i>КА</i>					
1	1,9±0,0	1,6 [1,3; 2,4]	0,1–4,1	0,1	0,08
2	1,7±0,0	1,7 [1,3; 2,2]	0,1–4,0		

*Примечание.* Здесь и далее полужирным выделены статистически значимые отличия.

У юношей на 2-м курсе выявлено небольшое увеличение суточного потребления жиров (на 2,9 г по среднему), однако оно статистически незначимо (табл. 3). Отмечено значимое различие концентрации ХС-ЛПВП в сыворотке крови юношей на 1-м и 2-м годах обучения, которое составило 0,2 ммоль/л (по среднему). Годовых изменений количества ПНЖК в рационе юношей, а также концентраций ОХС и ХС-ЛПНП в сыворотке их крови не выявлено. Концентрация ТГ увеличилась у студентов мужского пола на 0,2 ммоль/л по среднему и медианному значениям.

Анализ ИМТ студентов обоего пола на 1-м курсе выявил 6,4 % лиц с признаками ожирения, 3,2 % – с недостаточной массой тела. Статистически значимой годовой динамики ИМТ у девушек и юношей не обнаружено. КА за пределами референтных значений (более 4) отмечен у 2 % студенток 1-го курса, годовая динамика по этому показателю отсутствует.

Потребление жиров на 2-м году обучения студентами обоего пола продемонстрировало умеренную положительную корреляционную связь ( $r = 0,42$ ) с потреблением ПНЖК. Наибо-

Таблица 3

Динамика потребления жиров и параметры липидного профиля крови у юношей на 1–2-м годах обучения в вузе

Fat intake dynamics and lipid profile parameters in male university students in the first and second years of study

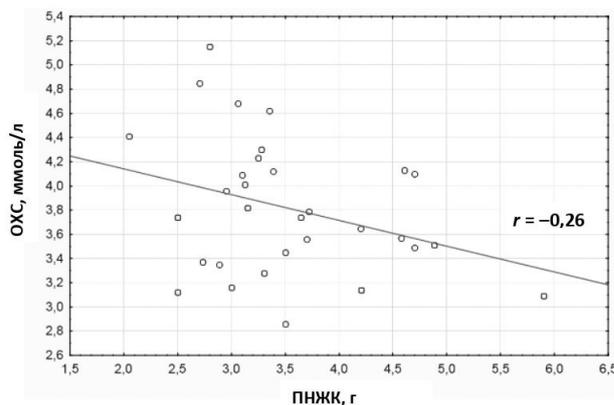
Курс	$M \pm m$	$Me [Q_1; Q_3]$	Min–max	$P_{1,2}$	
				по $M$	по $Me$
<i>Общее количество жиров, г/сут</i>					
1	68,2±1,9	68,9 [57,0; 79,2]	40,9–98,0	0,34	0,3
2	71,1±2,1	69,7 [56,4; 81,5]	43,2–99,4		
<i>ПНЖК, г/сут</i>					
1	8,5±1,1	7,8 [6,2; 9,9]	4,45–17,6	0,21	0,3
2	7,6±1,3	7,6 [6,0; 9,0]	4,6–14,2		
<i>ИМТ</i>					
1	22,3±0,4	21,8 [20,0; 24,0]	18,3–33,2	0,9	0,8
2	22,3±0,4	21,8 [20,2; 23,8]	18,4–33,0		
<i>ОХС, ммоль/л</i>					
1	3,4±0,1	3,4 [3,2; 4,0]	2,1–4,9	0,13	0,5
2	3,6±0,0	3,7 [3,0; 4,2]	2,1–4,9		
<i>ХС-ЛПНП, ммоль/л</i>					
1	1,9±0,0	1,9 [1,7; 2,3]	1,2–2,8	0,44	0,33
2	1,9±0,0	1,8 [1,4; 2,4]	1,0–3,2		
<i>ХС-ЛПВП, ммоль/л</i>					
1	<b>1,2±0,0</b>	1,3 [1,1; 1,4]	0,8–1,7	<b>0,02</b>	0,06
2	<b>1,4±0,0</b>	1,3 [1,2; 1,5]	0,9–2,6		
<i>ТГ, ммоль/л</i>					
1	<b>0,3±0,0</b>	<b>0,3 [0,3; 0,4]</b>	0,2–0,5	<b>0,0002</b>	<b>0,001</b>
2	<b>0,5±0,0</b>	<b>0,5 [0,4; 0,5]</b>	0,3–0,8		
<i>КА</i>					
1	1,8±0,0	1,7 [0,9; 2,3]	0,7–3,3	0,5	0,4
2	1,7±0,0	1,8 [1,5; 2,0]	0,4–3,0		

лее выраженной данная связь оказалась у девушек как на 1-м ( $r = 0,55$ ), так и на 2-м ( $r = 0,42$ ) курсе (у юношей –  $r = 0,40$  на 1-м и 2-м курсах). Увеличение количества потребляемых жиров студентами обоего пола на 2-м году обучения не сопровождалось повышением концентрации ТГ в крови, однако слабая корреляционная связь выявилась между количеством жиров в рационе юношей на 2-м курсе и уровнем ТГ в крови ( $r = 0,36$ ).

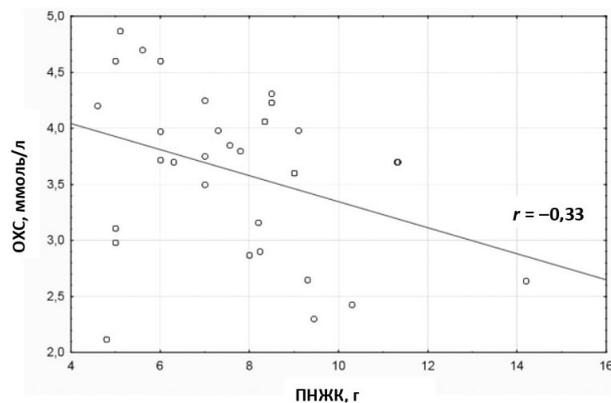
Концентрация ОХС в сыворотке крови студентов была обратно пропорциональна потреблению микронутриентов жирно-кислотного состава (см. рисунок). При этом у девушек связь ПНЖК–ОХС ( $r = -0,26$ ) исчезла ко 2-му году обучения, а у юношей, напротив, проявилась ( $r = -0,33$ ).

следовательно, жирных кислот с пищей у студенческой молодежи. Другим показателем несбалансированности рациона этой социальной группы является профицит углеводной пищи, особенно легкоусвояемых углеводов [10, 11].

Вместе с изменением в питании отмечено статистически значимое возрастание концентраций в крови ОХС, ЛПВП, ТГ в группе девушек, не приведшее, однако, к выходу значений показателей за пределы референтных интервалов. Возрастная категория участниц исследования не предполагает дебюта нарушений липидного обмена при изменении характера питания [12, 13]. Вероятно, отмеченный выше избыток углеводов в рационе студентов стимулирует липогенез *de novo* в печени [14], приводя к повышению концентрации ТГ у участников



а



б

Корреляционные связи между количественным потреблением ПНЖК и содержанием ОХС в сыворотке крови у студентов вуза: а – у девушек на 1-м году обучения; б – у юношей на 2-м году обучения

Correlations between the intake of polyunsaturated fatty acids and total cholesterol concentration in the blood plasma of university students: а – female first-year students; б – male second-year students

**Обсуждение.** Согласно результатам исследования, общим признаком студенческого рациона на 1-м году обучения был недостаток жиров, но ко 2-му курсу происходило повышение поступления данного макронутриента до нормальных значений. Полученные результаты согласуются с литературными данными, где отмечена недостаточность поступления жиров и,

исследования. Однако, несмотря на наличие компенсаторных механизмов, длительный недостаток жиров в питании может вызывать различного рода нарушения, сопряженные с дефицитом ПНЖК омега-3 и омега-6 [15].

Таким образом, изменение количества жиров в рационе и повышение содержания ОХС и ТГ в сыворотке крови имело гендерные особенности –

было более выражено у девушек. Ко 2-му году обучения уровни ОХС и ТГ у них повысились на 0,2 ммоль/л как по среднему значению, так и по медиане, при годовом приросте суточного содержания жиров в рационе на 9,3 г. Концентрация ТГ в сыворотке крови юношей ко 2-му курсу возросла на 0,2 ммоль/л по среднему и по медиане при отсутствии статистически значимого увеличения поступления жиров с пищей.

Повышение содержания ХС-ЛПВП на 2-м году обучения выявлено как у юношей, так и у девушек. У респондентов женского пола показатель увеличился на 0,5 ммоль/л по среднему и на 0,1 ммоль/л по медиане, мужского – на 0,2 ммоль/л по среднему значению. Однако

уровень ХС-ЛПНП в крови студентов обеих гендерных групп не изменился за период наблюдения.

Положительная динамика (годовой прирост) потребления жиров и параметров липидного обмена у девушек может говорить о вероятном риске развития ожирения и связанных с ним нарушений. Согласно литературным данным, у девушек отмечается повышение жирового компонента тела при норме ИМТ и более неблагоприятное течение дислипидемии [13, 16]. В связи с этим в образовательных учреждениях необходимо проводить просветительскую работу, направленную на решение проблем организации сбалансированного питания среди студенческой молодежи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

## Список литературы

1. *Кругликова Е.В., Чанчаева Е.А., Айзман Р.И.* Структура питания российских студентов как фактор риска развития алиментарных заболеваний // *Acta Biomedica Scientifica*. 2021. Т. 6, № 5. С. 68–80. <https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.5.7>
2. *Чудинин Н.В., Ракитина И.С., Дементьев А.А.* Нутриентный состав питания студентов младших курсов медицинского вуза // *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. 2020. № 2(323). С. 16–20. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-323-2-16-20>
3. *Telle-Hansen V.H., Gaundal L., Bastani N., Rud I., Byfuglien M.G., Gjøvaag T., Retterstøl K., Holven K.B., Ulven S.M., Myhrstad M.C.W.* Replacing Saturated Fatty Acids with Polyunsaturated Fatty Acids Increases the Abundance of Lachnospiraceae and Is Associated with Reduced Total Cholesterol Levels – a Randomized Controlled Trial in Healthy Individuals // *Lipids Health Dis*. 2022. Vol. 21, № 1. Art. № 92. <https://doi.org/10.1186/s12944-022-01702-1>
4. *Oteng A.-B., Kersten S.* Mechanisms of Action of *trans* Fatty Acids // *Adv. Nutr*. 2020. Vol. 11, № 3. P. 697–708. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz125>
5. *Maki K.C., Dicklin M.R., Kirkpatrick C.F.* Saturated Fats and Cardiovascular Health: Current Evidence and Controversies // *J. Clin. Lipidol*. 2021. Vol. 15, № 6. P. 765–772. <https://doi.org/10.1016/j.jacl.2021.09.049>
6. *Никулина А.В.* Совершенствование адаптации студентов младших курсов к условиям высшей школы // *Человек. Спорт. Медицина*. 2019. Т. 19, № S1. С. 68–76. <https://doi.org/10.14529/hsm19s109>
7. *Артеменков А.А.* Этиопатогенетические механизмы возникновения дезадаптивных расстройств у человека в процессе обучения // *Патол. физиология и эксперим. терапия*. 2018. Т. 62, № 2. С. 122–128. <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2018.02.122-128>
8. *Анищенко А.П., Алчинова И.Б., Вялкина М.В., Медведева Ю.С., Яковенко Е.Н., Бурдюкова Е.В., Гуревич К.Г.* Оценка влияния занятий физической культурой по модифицированной методике на характер обменных процессов в организме студентов // *Патол. физиология и эксперим. терапия*. 2018. Т. 62, № 1. С. 65–70. <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2018.01.65-70>

9. Климов А.Н. Причины и условия развития атеросклероза // Превентивная кардиология / под ред. Г.И. Косицкого. М.: Медицина, 1977. С. 260–321.
10. Лебедева С.Н., Жамсаранова С.Д., Чукаев С.А., Дымшиева Л.Д. Оценка рациона питания и антиоксидантной активности биологических жидкостей организма студентов // Вопр. питания. 2018. Т. 87, № 1. С. 35–43. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10004>
11. Лебедева С.Н., Жамсаранова С.Д. Оценка рациона студентов и его роль в формировании факторов риска алиментарно-зависимых заболеваний // Вестн. ВСГУТУ. 2017. № 3(66). С. 78–84.
12. Guo Y., Zhao M., Bo T., Ma S., Yuan Z., Chen W., He Z., Hou X., Liu J., Zhang Z., Zhu Q., Wang Q., Lin X., Yang Z., Cui M., Liu L., Li Y., Yu C., Qi X., Wang Q., Zhang H., Guan Q., Zhao L., Xuan S., Yan H., Lin Y., Wang L., Li Q., Song Y., Gao L., Zhao J. Blocking FSH Inhibits Hepatic Cholesterol Biosynthesis and Reduces Serum Cholesterol // Cell Res. 2019. Vol. 29, № 2. P. 151–166. <https://doi.org/10.1038/s41422-018-0123-6>
13. Нахратова О.В., Цыганкова Д.П., Газиев Т.Ф., Баздырев Е.Д., Индукаева Е.В., Артамонова Г.В., Барбараш О.Л. Гендерные и возрастные особенности связи антропометрических параметров ожирения с нарушениями липидного обмена // Сиб. мед. обозрение. 2022. № 6. С. 78–85. <https://doi.org/10.20333/25000136-2022-6-78-85>
14. Geidl-Flueck B., Hochuli M., Németh Á., Eberl A., Derron N., Köfeler H.C., Tappy L., Berneis K., Spinaz G.A., Gerber P.A. Fructose- and Sucrose- but Not Glucose-Sweetened Beverages Promote Hepatic *de novo* Lipogenesis: A Randomized Controlled Trial // J. Hepatol. 2021. Vol. 75, № 1. P. 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2021.02.027>
15. Radzikowska U., Rinaldi A.O., Çelebi Sözen Z., Karaguzel D., Wojcik M., Cypryk K., Akdis M., Akdis C.A., Sokolowska M. The Influence of Dietary Fatty Acids on Immune Responses // Nutrients. 2019. Vol. 11, № 12. Art. № 2990. <https://doi.org/10.3390/nu11122990>
16. Смелышева Л.Н., Мусихина Е.А., Артемян Н.А., Ковалева Г.А., Кузнецов Г.А. Компонентный состав тела и стресс-индуцированные особенности секреции лептина у девушек с различным индексом массы тела // Человек. Спорт. Медицина. 2020. Т. 20, № 2. С. 80–89. <https://doi.org/10.14529/hsm200210>

## References

1. Kruglikova E.V., Chanchaeva E.A., Ayzman R.I. The Structure of Nutrition of Russian Students as a Risk Factor for the Development of Nutritional Diseases. *Acta Biomed. Sci.*, 2021, vol. 6, no. 5, pp. 68–80 (in Russ.). <https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.5.7>
2. Chudin N.V., Rakitina I.S., Dementyev A.A. Nutrient Composition of the Diet of Junior Students of a Medical University. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2020, no. 2, pp. 16–20 (in Russ.). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-323-2-16-20>
3. Telle-Hansen V.H., Gaundal L., Bastani N., Rud I., Byfuglien M.G., Gjølvaag T., Retterstøl K., Holven K.B., Ulven S.M., Myhrstad M.C.W. Replacing Saturated Fatty Acids with Polyunsaturated Fatty Acids Increases the Abundance of Lachnospiraceae and Is Associated with Reduced Total Cholesterol Levels – a Randomized Controlled Trial in Healthy Individuals. *Lipids Health Dis.*, 2022, vol. 21, no. 1. Art. no. 92. <https://doi.org/10.1186/s12944-022-01702-1>
4. Oteng A.-B., Kersten S. Mechanisms of Action of *trans* Fatty Acids. *Adv. Nutr.*, 2020, vol. 11, no. 3, pp. 697–708. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz125>
5. Maki K.C., Dicklin M.R., Kirkpatrick C.F. Saturated Fats and Cardiovascular Health: Current Evidence and Controversies. *J. Clin. Lipidol.*, 2021, vol. 15, no. 6, pp. 765–772. <https://doi.org/10.1016/j.jacl.2021.09.049>
6. Nikulina A.V. Enhancement of Freshmen's Adaptation to High School. *Hum. Sport Med.*, 2019, vol. 19, no. S1, pp. 68–76 (in Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm19s109>
7. Artemenkov A.A. Etiopathogenetic Mechanisms of Disadaptive Disorders of Humans During Education. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya*, 2018, vol. 62, no. 2, pp. 122–128 (in Russ.). <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2018.02.122-128>
8. Anischenko A.P., Alchinova I.B., Vyalkina M.V., Medvedeva Yu.S., Yakovenko E.N., Burdukova E.V., Gurevich K.G. Assessment of the Influence of Physical Activity by a Modified Method on Metabolic Processes in Students. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya*, 2018, vol. 62, no. 1, pp. 65–70 (in Russ.). <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2018.01.65-70>

9. Klimov A.N. Prichiny i usloviya razvitiya ateroskleroza [Causes and Conditions for the Development of Atherosclerosis]. Kositskiy G.I. (ed.). *Preventivnaya kardiologiya* [Preventive Cardiology]. Moscow, 1977, pp. 260–321.

10. Lebedeva S.N., Zhamsaranova S.D., Chukaev S.A., Dymshcheva L.D. Assessment of the Nutrition and Antioxidant Activity of Biological Liquids in Students. *Probl. Nutr.*, 2018, vol. 87, no. 1, pp. 35–43. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10004>

11. Lebedeva S.N., Zhamsaranova S.D. Otsenka ratsiona studentov i ego rol' v formirovaniy faktorov riska alimentarno-zavisimyykh zabolevaniy [Assessing Risk Factors That Can Cause Alimentary-Dependent Diseases Among Students Due to Their Nutrition]. *Vestnik VSGUTU*, 2017, no. 3, pp. 78–84.

12. Guo Y., Zhao M., Bo T., Ma S., Yuan Z., Chen W., He Z., Hou X., Liu J., Zhang Z., Zhu Q., Wang Q., Lin X., Yang Z., Cui M., Liu L., Li Y., Yu C., Qi X., Wang Q., Zhang H., Guan Q., Zhao L., Xuan S., Yan H., Lin Y., Wang L., Li Q., Song Y., Gao L., Zhao J. Blocking FSH Inhibits Hepatic Cholesterol Biosynthesis and Reduces Serum Cholesterol. *Cell Res.*, 2019, vol. 29, no. 2, pp. 151–166. <https://doi.org/10.1038/s41422-018-0123-6>

13. Nakhratova O.V., Tsygankova D.P., Gaziev T.F., Bazdyrev E.D., Indukaeva E.V., Artamonova G.V., Barbarash O.L. Gender and Age Specifics of the Association Between Anthropometric Parameters of Obesity and Lipid Metabolism Disorders. *Sib. Med. Rev.*, 2022, no. 6, pp. 78–85 (in Russ.). <https://doi.org/10.20333/25000136-2022-6-78-85>

14. Geidl-Flueck B., Hochuli M., Németh Á., Eberl A., Derron N., Köfeler H.C., Tappy L., Berneis K., Spinaz G.A., Gerber P.A. Fructose- and Sucrose- but Not Glucose-Sweetened Beverages Promote Hepatic *de novo* Lipogenesis: A Randomized Controlled Trial. *J. Hepatol.*, 2021, vol. 75, no. 1, pp. 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2021.02.027>

15. Radzikowska U., Rinaldi A.O., Çelebi Sözüner Z., Karaguzel D., Wojcik M., Cypriak K., Akdis M., Akdis C.A., Sokolowska M. The Influence of Dietary Fatty Acids on Immune Responses. *Nutrients*, 2019, vol. 11, no. 12, Art. no. 2990. <https://doi.org/10.3390/nu11122990>

16. Smelysheva L.N., Musikhina E.A., Artyan N.A., Kovaleva G.A., Kuznetsov G.A. Body Component Composition and Stress-Induced Features of Leptin Secretion in Females with Various Body Mass Index. *Hum. Sport Med.*, 2020, vol. 20, no. 2, pp. 80–89 (in Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm200210>

**Received 1 February 2023**

**Accepted 21 July 2023**

**Published 30 November 2023**

**Поступила 01.02.2023**

**Принята 21.07.2023**

**Опубликована 30.11.2023**

Журнал медико-биологических исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 418–428.

*Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 418–428.

Научная статья

УДК [591.151+575.174.015.3]:612.062

DOI: 10.37482/2687-1491-Z162

## Взаимосвязь полиморфизма C825T гена *GNB3* с морфологическими факторами нарушения соматического здоровья у студентов северного вуза

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

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

Олег Алексеевич Мальков\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0895-2079>

\*Сургутский государственный педагогический университет  
(Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Сургут)

**Аннотация.** Генетические полиморфизмы в сочетании с неблагоприятными внешними факторами приводят к развитию дисфункций ведущих систем жизнеобеспечения. Исследование полиморфизма C825T (rs5443) гена *GNB3* в качестве генетического маркера избыточной массы и висцерального ожирения поможет выявить риски развития нарушений соматического здоровья студенческой молодежи. **Цель** работы – изучить взаимосвязь полиморфизма C825T гена *GNB3* с показателями морфологического развития студентов северного вуза. **Материалы и методы.** Всего обследовано 96 студентов Сургутского государственного педагогического университета в возрасте 17–20 лет. Аллельные варианты rs5443 гена *GNB3* определяли методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени с использованием набора «КардиоГенетика». Компонентный состав тела оценивали с помощью весов-анализаторов Tanita BC-601. Выявляли содержание мышечной, костной, жировой массы тела, висцерального жира и воды. Устанавливали корреляционные связи между аллельными вариантами C825T гена *GNB3* и антропометрическими показателями, а также компонентным составом тела. **Результаты.** Доля лиц с мутантным аллелем полиморфизма rs5443 гена *GNB3* составила 30 % от общей выборки, что отражает общепопуляционную тенденцию. Анализ частотного распределения генотипов по полиморфизму C825T гена *GNB3* выявил статистически значимое преобладание гомозиготного генотипа C/C у девушек и гетерозиготного генотипа C/T у юношей (критерий Пирсона:  $\chi^2 = 7,75$ ;  $p = 0,02$ ). У студентов с избыточной массой тела статистически значимо чаще отмечалось наличие мутантного аллеля T по сравнению со студентами с нормальным индексом массы тела ( $\chi^2 = 5,62$ ;  $p = 0,018$ ). Установлена прямая средней силы связь (при  $p < 0,05$ ) некоторых показателей антропометрии и компонентного состава тела с полиморфизмом C825T гена *GNB3* у обследованных студентов.

**Ключевые слова:** полиморфизм C825T (rs5443) гена *GNB3*, компонентный состав тела, соматическое здоровье, избыточная масса тела, студенты вуза, Западная Сибирь.

---

**Ответственный за переписку:** Мальцев Виктор Петрович, адрес: 628400, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Сургут, ул. 50 лет ВЛКСМ, д. 10/2; e-mail: mal585@mail.ru

*Для цитирования:* Мальцев В.П., Говорухина А.А., Мальков О.А. Взаимосвязь полиморфизма C825T гена *GNB3* с морфологическими факторами нарушения соматического здоровья у студентов северного вуза // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 418–428. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z162>

Original article

## Association Between the C825T Polymorphism of the *GNB3* Gene and Morphological Factors of Somatic Disorders in Students of a Northern University

Viktor P. Mal'tsev\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2453-6585>  
Alena A. Govorukhina\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7466-2918>  
Oleg A. Mal'kov\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0895-2079>

\*Surgut State Pedagogical University  
(Surgut, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russian Federation)

**Abstract.** Genetic polymorphisms, in combination with unfavourable external factors, cause dysfunction of the key life support systems in the body. Studying the C825T (rs5443) polymorphism of the *GNB3* gene as a genetic marker for overweight and visceral obesity will help to identify the risks of somatic disorders in young university students. The **purpose** of this study was to investigate the relationship between the C825T polymorphism of the *GNB3* gene and morphological parameters in students of a northern university. **Materials and methods.** A total of 96 students of Surgut State Pedagogical University aged 17–20 years were examined. Alleles of the rs5443 polymorphism of the *GNB3* gene were identified by means of real-time polymerase chain reaction using KardioGenetika kit (Russia). Body composition was assessed using Tanita BC-601 scales. Muscle, bone and fat mass as well as visceral fat and water content were determined. Correlations between the C825T alleles of the *GNB3* gene and anthropometric parameters as well as body composition were established. **Results.** The mutant T allele of the rs5443 polymorphism of the *GNB3* gene was found in 30 % of the total sample, which reflects the general population trend. The analysis of genotype frequency distribution for the C825T polymorphism of the *GNB3* gene revealed a statistically significant prevalence of the homozygous C/C genotype in female and heterozygous C/T genotype in male subjects (Pearson's  $\chi^2$  test:  $\chi^2 = 7.75$ ;  $p = 0.02$ ). Overweight students were statistically significantly more likely to have a mutant T allele compared to students with normal BMI ( $\chi^2 = 5.62$ ;  $p = 0.018$ ). A moderate direct association (at  $p < 0.05$ ) between certain anthropometric parameters and body composition and the C825T polymorphism of the *GNB3* gene in the examined students was found.

**Keywords:** *GNB3* gene C825T (rs5443) polymorphism, body composition, somatic health, overweight, university students, West Siberia.

**For citation:** Mal'tsev V.P., Govorukhina A.A., Mal'kov O.A. Association Between the C825T Polymorphism of the *GNB3* Gene and Morphological Factors of Somatic Disorders in Students of a Northern University. *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 418–428. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z162>

**Corresponding author:** Viktor Mal'tsev, address: ul. 50 let VLKSM 10/2, Surgut, 628400, Khanty-Mansiyskiy avtonomnyy okrug – Yugra, Russian Federation; e-mail: mal585@mail.ru

Студенчество как социально-профессиональная группа является особой перспективной когортой населения, основой развития государства и общества в целом и характеризуется своими социальными, физиологическими и психологическими особенностями [1, 2].

Учебно-профессиональная деятельность часто выступает одним из факторов ухудшения психологических и физиологических показателей здоровья студентов высшей школы [3, 4]. Совокупность социальных, психологических, физиологических факторов может негативно сказываться на функциональном состоянии организма обучающихся и, как следствие, приводить к дезадаптивным состояниям, а также к формированию хронических нозологий разного характера. Адаптация молодого организма к условиям образовательной среды и климато-экологическим воздействиям северных территорий сопряжена с дисфункцией сердечно-сосудистой и респираторной систем, напряжением регуляторных систем, а также с возникновением некоторых особенностей соматического компонента здоровья [5, 6].

Согласно концепции аллостаза поддержание относительного равновесия параметров внутренней среды организма на должном функциональном уровне в тяжелых и изнурительных условиях внешней среды, сохраняющихся длительное время, приводит к снижению адаптационных резервов [7]. Организм реагирует практически на любое воздействие со стороны окружающей среды, выбрасывая в кровь химические медиаторы, например катехоламины, которые повышают частоту сердечных сокращений и кровяное давление, помогая человеку справиться с возникшей ситуацией [8]. Вместе с тем попытки соответствовать резким внешним изменениям приводят к избыточному центральному контролю функций организма, например сердечного ритма (СР) и артериального давления, что может вызвать нарушение системных механизмов регуляции сердечно-сосудистой системы [9]. При этом, на наш взгляд, изучая особенности адаптации студентов в условиях Севера, важно учитывать, что они являются по-

томками пришлого населения и не имеют наследственно закрепленных механизмов приспособления к климату данного региона.

Исследования подчеркивают, что ведущей детерминантой большинства нозологий современного человека является наличие генных полиморфизмов [10–12]. При этом в работе С.А. Костюк отмечается, что анализ генного полиморфизма позволяет, с одной стороны, более детально раскрыть механизмы развития дисфункций организма, а с другой – обеспечить более эффективную профилактику заболеваний [11].

В современной научной литературе достаточно подробно представлена характеристика и нозологическая детерминация полиморфизма гена бета-3-субъединицы G-белка (C825T (rs5443) гена *GNB3*) [13–15]. Однако большинство исследований рассматривает сугубо клинические случаи дисфункции активности G-белка с развитием гипертонической болезни, эндокринных нарушений и нарушением конституциональных показателей тела. Индивидуальный генетический полиморфизм, затрагивающий не более 0,1 % генома, определяется взаимодействием генетических и средовых факторов окружающей среды [10]. В связи с этим исследование полиморфизма C825T гена *GNB3* у студентов северного вуза позволит выявить лиц, имеющих наследственную предрасположенность к обозначенным выше дисфункциям.

Цель работы – изучить частоту встречаемости полиморфизма C825T гена *GNB3* и его взаимосвязь с показателями морфологического развития студентов вуза, расположенного на Севере России.

**Материалы и методы.** На базе научно-исследовательской лаборатории «Биологические основы безопасности образовательного пространства» Сургутского государственного педагогического университета (г. Сургут) обследованы 96 студентов в возрасте 17–20 лет (в т. ч. 51 юноша и 45 девушек), некоренных национальностей, рожденных и постоянно проживающих в Ханты-Мансийском автономном

округе – Югре (на территории, приравненной к условиям Крайнего Севера).

Исследование проводилось с письменного согласия участников. Основоположающими принципами исследования были отсутствие риска для здоровья студентов, соблюдение гуманных и этических норм, в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (редакция 2013 года).

Общая выборка была дифференцирована с учетом пола и полиморфизма rs5443 гена *GNB3*. В состав 1-й группы вошли носители генотипа С/С ( $n = 44$ ), 2-й – носители мутантного аллеля Т (гетерозиготного генотипа С/Т ( $n = 46$ ) и генотипа Т/Т ( $n = 6$ )).

Выделение образцов для проведения полимеразной цепной реакции осуществляли из буккального эпителия с использованием набора «Проба-НК-Плюс» («ДНК-Технология», Россия) в соответствии с инструкцией производителя. Для генотипирования полиморфизма rs5443 гена *GNB3* применяли аллель-специфичную амплификацию с детекцией результатов в режиме реального времени на приборе «ДТлайт» («ДНК-Технология») при помощи TaqMan-зондов, комплементарных полиморфным участкам ДНК, из набора «КардиоГенетика» («ДНК-Технология»).

Измеряли абсолютные антропометрические параметры: длину (ДТ, см) и массу (МТ, кг) тела – стандартизированными методами, с использованием медицинских ростомера и весов, с последующим расчетом индекса массы тела

(ИМТ, кг/м<sup>2</sup>). Оценку компонентного состава тела: содержания мышечной (ММ, кг), костной (КМ, кг), жировой (ЖМ, %) массы, висцерального жира (ВЖ, у. е.) и воды (ВК, %) – проводили с помощью весов-анализаторов состава тела Tanita BC-601 (Япония) в модификации для скринингового применения.

Результаты обрабатывали в программе Statistica 7.0. Вследствие отсутствия нормальности распределения (тест Шапиро–Уилка) некоторых показателей данные представляли в виде медианы (*Me*) и интерквартильного размаха – 25-го и 75-го перцентилей ( $Q_{25}–Q_{75}$ ). Анализ различий проводили с помощью непараметрического *U*-критерия Манна–Уитни путем попарного сравнения исследуемых групп. Для оценки корреляционных связей применяли непараметрический *r*-критерий Спирмена. Сопоставление эмпирических частотных значений осуществляли по критерию однородности распределения признака  $\chi^2$  (критерий Пирсона). Критический уровень значимости был 0,05 для всех расчетов.

**Результаты.** Анализ частотного распределения генотипов полиморфного варианта гена *GNB3* (табл. 1) показал, что у девушек-студенток статистически значимо чаще ( $\chi^2 = 7,75$ ;  $p = 0,02$ ) встречался гомозиготный генотип С/С; у юношей в среднем на 20 % чаще, чем у девушек, выявлялся гетерозиготный генотип С/Т. Наименьшая частота встречаемости отмечена для гомозиготного генотипа Т/Т: 6 % у юношей и 7 % – у девушек. В обследованной выборке студентов превалировал дикий аллель С.

Таблица 1

Частота встречаемости генотипов и аллелей полиморфизма C825T гена *GNB3* у студентов Сургутского государственного педагогического университета ( $n = 96$ ), %

Frequency of genotypes and alleles of the C825T polymorphism of the *GNB3* gene in students of Surgut State Pedagogical University ( $n = 96$ ), %

Группа	Генотипы			Аллели	
	С/С	С/Т	Т/Т	С	Т
Юноши ( $n = 51$ )	37	57	6	65,7	34,3
Девушки ( $n = 45$ )	56	37	7	74,4	25,6

У юношей частота встречаемости мутантного аллеля Т оказалась выше, чем у девушек, однако эти различия не были статистически значимыми ( $\chi^2 = 1,80$ ;  $p = 0,18$ ).

Основные антропометрические показатели обследованных студентов (табл. 2, 3) соответствовали коридору нормативных половозраст-

ных значений [16]. Вне зависимости от пола носители аллеля дикого типа (аллеля С rs5443 гена *GNB3*) характеризовались меньшими значениями массы тела и ИМТ. У лиц мужского пола статистически значимые различия между группами установлены по ИМТ ( $p \leq 0,01$ ), у девушек – по массе тела ( $p < 0,05$ ).

Таблица 2

**Показатели морфологического развития юношей – студентов Сургутского государственного педагогического университета ( $n = 51$ ) с полиморфизмом C825T гена *GNB3*, Me ( $Q_{25}$ – $Q_{75}$ )**

**Morphological parameters of male students of Surgut State Pedagogical University ( $n = 51$ ) with the C825T polymorphism of the *GNB3* gene, Me ( $Q_{25}$ – $Q_{75}$ )**

Показатель	1-я группа ( $n = 19$ )	2-я группа ( $n = 32$ )	$p$ -уровень
ДТ, см	180,0 (174,0–185,0)	178,0 (177,8–183,0)	0,98
МТ, кг	71,8 (67,6–75,6)	76,0 (67,7–84,3)	0,05
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	21,9 (20,2–24,8)	24,4 (22,0–26,0)	<b>0,01</b>
ЖМ, %	15,8 (13,6–19,2)	16,8 (14,1–22,6)	0,40
ММ, кг	56,6 (54,0–60,2)	60,6 (55,2–64,6)	0,06
КМ, кг	3,0 (2,9–3,2)	3,2 (2,9–3,4)	0,09
ВК, %	62,9 (60,3–65,4)	60,7 (57,0–65,4)	0,40
ВЖ, у. е.	1,0 (1,0–2,0)	2,0 (1,0–4,0)	0,07

*Примечание.* Здесь и далее: 1-я группа – носители генотипа С/С, 2-я – носители мутантного аллеля Т (гетерозиготного генотипа С/Т и генотипа Т/Т). Полужирным выделены статистически значимые различия.

Таблица 3

**Показатели морфологического развития девушек – студенток Сургутского государственного педагогического университета ( $n = 45$ ) с полиморфизмом C825T гена *GNB3*, Me ( $Q_{25}$ – $Q_{75}$ )**

**Morphological parameters of female students of Surgut State Pedagogical University ( $n = 45$ ) with the C825T polymorphism of the *GNB3* gene, Me ( $Q_{25}$ – $Q_{75}$ )**

Показатель	1-я группа ( $n = 25$ )	2-я группа ( $n = 20$ )	$p$ -уровень
ДТ, см	163,0 (160,0–169,0)	168,0 (164,0–172,5)	0,08
МТ, кг	56,2 (49,0–60,0)	60,3 (55,5–64,6)	<b>0,03</b>
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	20,0 (19,0–22,0)	21,5 (20,2–22,7)	0,18
ЖМ, %	23,4 (18,2–27,8)	25,6 (22,8–29,2)	0,24
ММ, кг	39,6 (38,1–42,6)	43,2 (39,8–46,7)	0,07
КМ, кг	2,2 (2,1–2,3)	2,3 (2,2–2,5)	0,11
ВК, %	57,0 (53,6–59,3)	56,3 (53,3–58,9)	0,69
ВЖ, у. е.	1,0 (1,0–1,0)	1,0 (1,0–2,0)	0,56

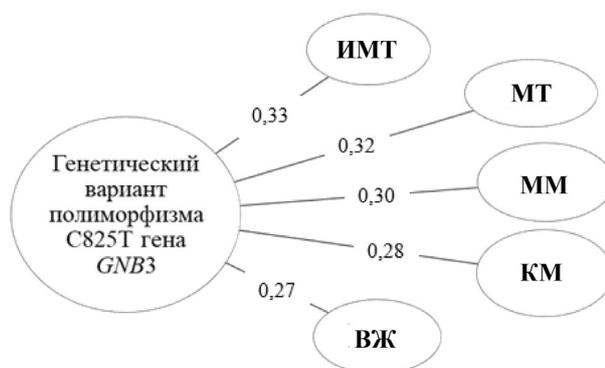
Медианные значения ИМТ в группах свидетельствуют об оптимальном соответствии массы тела росту обследованных. У юношей – носителей мутантного аллеля Т (rs5443) гена *GNB3* медиана ИМТ совпадала с верхней границей референтного коридора нормы. У девушек значения ИМТ были в среднем на 9–14 % ниже, чем у юношей.

Показатели компонентного состава тела обследованных студентов, так же как и антропометрические данные, были представлены относительно более высокими медианами (за исключением содержания воды в организме) у носителей аллеля Т. У студентов с гомозиготным генотипом С/С отмечено относительно меньшее содержание жировой массы (на 7 % у юношей и на 9 % – у девушек), мышечной ткани (на 7 % у юношей и на 10 % – у девушек) и висцерального жира (только у юношей – в 2 раза) по сравнению с обладателями генотипов С/Т или Т/Т.

Далее выборку студентов дифференцировали с учетом индекса ИМТ: значения менее 25 кг/м<sup>2</sup> указывают на оптимальное соотношение массы тела росту, 25 кг/м<sup>2</sup> и более – на избыточную массу тела. В группу студентов с избыточной массой тела включали и лиц с признаками ожирения (ИМТ ≥ 30,0 кг/м<sup>2</sup>) – таковых оказалось 5 %. Анализ частотного распределения аллелей полиморфизма rs5443 гена *GNB3* в зависимости от показателей ИМТ (табл. 4) установил статистически значимое преобладание мутантного аллеля Т ( $\chi^2 = 5,62$ ;  $p = 0,018$ ) у студентов, имеющих избыточную

массу тела (ИМТ ≥ 25,0 кг/м<sup>2</sup>). Также данные свидетельствуют о статистически значимом преобладании генотипов, содержащих мутантный аллель Т (С/Т или Т/Т), у студентов с избыточной массой тела – в среднем на 20 % ( $\chi^2 = 10,08$ ;  $p = 0,002$ ) по сравнению со студентами с нормальным ИМТ (<25,0 кг/м<sup>2</sup>).

Корреляционный анализ (см. рисунок) установил прямую связь средней силы (при  $p < 0,05$ ) между генетическим вариантом полиморфизма С825Т гена *GNB3* (аллель Т) и показателями морфологического развития у обследованного контингента студентов.



Корреляционные связи (коэффициенты  $r$ ) между наличием в генотипе аллеля Т полиморфизма С825Т гена *GNB3* и показателями морфологического развития у студентов Сургутского государственного педагогического университета

Correlations (coefficient  $r$ ) between the presence of the T allele of the C825T polymorphism of the *GNB3* gene and morphological parameters in students of Surgut State Pedagogical University

Таблица 4

**Частота встречаемости генотипов и аллелей полиморфизма С825Т гена *GNB3* у студентов Сургутского государственного педагогического университета с разным ИМТ, %**

**Frequency of genotypes and alleles of the C825T polymorphism of the *GNB3* gene in students of Surgut State Pedagogical University with different BMI, %**

ИМТ	Генотипы		Аллели	
	С/С	С/Т + Т/Т	С	Т
<25,0 кг/м <sup>2</sup> (n = 75)	51	49	73,4	26,6
≥25,0 кг/м <sup>2</sup> (n = 21)	29	71	57,1	42,9

У гомозигот по мутантному аллелю Т показатели антропометрии и компонентного состава тела были выше, чем у гетерозигот и гомозигот по дикому аллелю. Важно отметить, что не было обнаружено статистически значимых связей с показателями жирового ( $r = 0,11$ ) и водного ( $r = -0,05$ ) компонентов состава тела.

**Обсуждение.** В актуальных литературных источниках достаточно полно представлены молекулярно-генетическая характеристика и механизм действия исследуемого гена [14, 15, 17]. Известно, что ген *GNB3* располагается на хромосоме 12p13.31 и кодирует гуанин-нуклеотид-связывающий белок бета-3, являющийся субъединицей гетеротримерного («большого») G-белка с четвертичной структурой. G-белок – фермент, который связывает внутриклеточные сигналы между рецепторными и эффекторными белками клетки, тем самым регулируя передачу сигналов внутрь клеток. Полиморфизм гена *GNB3* обусловлен точечной заменой азотистого основания цитозина на тимин в позиции 825, что приводит к синтезу укороченного белка и, как следствие, дисфункции процесса внутриклеточной передачи сигналов. Фенотипические проявления вышеобозначенного генетического полиморфизма – дисфункции сердечно-сосудистой системы (сужение сосудов, гипертрофии левого желудочка и др.), а также дисфункции углеводного обмена и развитие ожирения [13, 14].

Согласно результатам нашего исследования, частота встречаемости мутантного аллеля полиморфизма rs5443 гена *GNB3* у студентов северного вуза не превышает 30 %, что отражает общепопуляционную тенденцию. Как отмечается в работе Л.В. Арутюнян и соавторов [14], встречаемость мутантного аллеля Т в европейской популяции составляет 31 %. При этом авторы, анализируя морфофункциональные и генетические особенности больных артериальной гипертензией, указывают, что таким пациентам свойственны избыточная масса тела и ожирение, а частота встречаемости аллеля Т в генотипах этих лиц превышает 50 %.

Выявленные нами межполовые различия антропометрических параметров и данных компонентного состава тела студентов отражают общебиологическую закономерность: медианы показателей (за исключением жирового компонента) у лиц мужского пола больше, чем у девушек. Медианы показателей морфологического развития студентов соответствуют возрастно-половым нормативным значениям [16].

Полученные в нашем исследовании взаимосвязи антропометрических данных с полиморфизмом С825Т гена *GNB3* в целом соответствуют результатам других авторов [14, 17]. Так, например, в работе Л.В. Арутюнян и соавторов [14] отмечается, что носительство аллеля Т ассоциировано с повышенной массой тела ( $ИМТ \geq 25,0 \text{ кг/м}^2$ ). Гомозиготный генотип Т/Т обуславливает большую предрасположенность к повышению массы тела и в несколько раз увеличивает риск развития ожирения, чем у гомозигот с диким аллелем (С) в генотипе, что наглядно прослеживается в медианах показателей компонентного состава тела у обследованных нами студентов: у носителей мутантного аллеля Т rs5443 гена *GNB3* отмечено относительное увеличение жирового компонента при одновременном снижении водного компонента. Механизм аллостерической дисфункции, ранее описанный нами [16], вероятно, опосредует функциональные сдвиги: повышение вязкости крови и, как следствие, риск развития тромбозов, инфаркта и/или инсульта, а также снижение интенсивности обмена веществ, накопление излишка калорий в виде запасной жировой ткани.

Н.-Л. Li et al., выполнив метаанализ связи между полиморфизмом С825Т гена *GNB3* и риском избыточного веса и ожирения [18], пришли к заключению, что молодые люди до 30 лет, в частности мужчины, имеют большую генетическую предрасположенность к формированию избыточного веса и ожирения, что в целом согласуется с результатами нашего исследования.

Проведенный нами корреляционный анализ обнаружил статистически значимую

прямую умеренную связь генетического полиморфизма исследуемого гена с показателями антропометрии и компонентного состава тела. Важно отметить, что среди показателей компонентного состава тела связь установлена не с содержанием жировой ткани как таковой, а с содержанием висцерального жира, т. е. «фенотипически нездоровым» ожирением. Научные исследования, характеризующие вариативность фенотипов ожирения, констатируют, что белая жировая ткань подкожной клетчатки выступает ресурсно-энергетическим резервом в виде триглицеридов и свободных жирных кислот и участвует в регуляции сосудистого, метаболического и иммунного гомеостаза [19, 20]. Висцеральное ожирение, в свою очередь, приводит к липотоксическому поражению органов, прежде всего сердца, кардиоваскулярной дисфунк-

ции, развитию воспалительных процессов в организме и инсулинорезистентности [21].

Таким образом, генетические полиморфизмы в сочетании с неблагоприятными внешними факторами могут выступать ведущими компонентами функциональных нарушений систем жизнеобеспечения организма. Оценка индивидуальных особенностей геномов обучающихся позволяет применять персонализированный подход в построении адаптационных траекторий и профилактике нозологий.

Исследование полиморфизма rs5443 гена *GNB3* в качестве генетического маркера избыточной массы тела и висцерального ожирения поможет своевременно выявить факторы нарушения соматического компонента здоровья студенческой молодежи и заблаговременно начать профилактику, тем самым снижая аллоstaticкую нагрузку на организм.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

## Список литературы

1. Епанчинцева Г.А., Козловская Т.Н. Студенчество как социально-психологическая общность // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. 2018. № 2(214). С. 66–69. <https://doi.org/10.25198/1814-6457-181-66>
2. Байгужин П.А., Шибкова Д.З., Батуева А.Э., Кудряшов А.А., Байгужина О.В. Реактивность автономной нервной системы при воздействии эмоциогенного видеоконтента у студентов с различным исходным вегетативным тонусом // Ульянов. мед.-биол. журн. 2019. № 4. С. 124–135. <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2019-4-124-135>
3. Литовченко О.Г., Багнетова Е.А., Тостановский А.В. Эколого-физиологические аспекты здоровьесбережения молодого населения Югры // Соврем. вопр. биомедицины. 2022. Т. 6, № 1(18). Ст. № 18. [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2022\\_06\\_01\\_18](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_01_18)
4. Шаламова Е.Ю., Рагозин О.Н., Бочкарев М.В. Дезадаптивные реакции сердечно-сосудистой системы во взаимосвязи с функцией сна и копинг-поведением у студентов северного медицинского вуза // Артер. гипертензия. 2019. Т. 25, № 2. С. 176–190. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2019-25-2-176-190>
5. Варламова Н.Г., Бойко Е.Р. Особенности функции внешнего дыхания у северян в годовом цикле // Мор. медицина. 2017. Т. 3, № 3. С. 43–49. <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2017-3-3-43-49>
6. Аверьянова И.В., Максимов А.Л. Перестройка гемодинамики и морфофункциональных показателей на протяжении 10 лет у юношей Магаданской области // Экология человека. 2016. № 8. С. 8–14. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-8-8-14>
7. Сеерюкова Г.А. Реостаз, аллостаз и аллоstaticкая нагрузка: что понимается под этими терминами? // Междунар. науч.-исслед. журн. 2022. № 10(124). Ст. № 5. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.22>

8. Кривощев С.Г., Белишева Н.К., Николаева Е.И., Вергунов Е.Г., Мартынова А.А., Ельникова О.Е., Пряничников С.В., Ануфриев Г.Н., Балиоз Н.В. Концепция аллостаза и адаптация человека на Севере // Экология человека. 2016. № 7. С. 17–25. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-7-17-25>
9. McEwen B.S., Wingfield J.C. The Concept of Allostasis in Biology and Biomedicine // *Horm. Behav.* 2003. Vol. 43, № 1. P. 2–15. [https://doi.org/10.1016/S0018-506X\(02\)00024-7](https://doi.org/10.1016/S0018-506X(02)00024-7)
10. Леонов Д.В., Устинов Е.М., Деревянная В.О., Кислицкий В.М., Самсонова С.К., Алаторцева М.Е., Маркелова А.Н., Высоцкая В.В., Чурикова Т.С., Трофимкина Ю.В., Майорова А.О., Лейкам С.Е., Антипенко Д.В., Михайловский А.И., Григорьев Д.А., Бородин П.Е., Бородин Е.А. Генетический полиморфизм. Значение. Методы исследования // *Амур. мед. журн.* 2017. № 2(18). С. 62–67. <https://doi.org/10.22448/AMJ.2017.2.62-67>
11. Костюк С.А. Предиктивная медицина и методы генетического тестирования // *Мед. новости.* 2016. № 4. С. 11–14.
12. Лазебник Л.Б., Конев Ю.В., Ефремов Л.И. Персонализированная (персонифицированная) медицина (смена парадигмы на смену здравоохранению идет здравоохранение) // *Клин. геронтология.* 2018. Т. 24, № 1-2. С. 3–7.
13. Mahmood M., Mian Z.S., Afzal A., Frossard P.M. G-Protein Beta-3 Subunit Gene 825C>T Dimorphism Is Associated with Left Ventricular Hypertrophy but Not Essential Hypertension // *Med. Sci. Monit.* 2005. Vol. 11, № 1. P. CR6–CR9.
14. Арутюнян Л.В., Дроботя Н.В., Пироженко А.А., Торосян С.С., Калтыкова В.В. Особенности течения артериальной гипертензии, связанные с распределением аллелей и генотипов полиморфного маркера С825Т гена *GNB3* среди больных, проживающих в Ростовской области // *Вестн. Нац. мед.-хирург. Центра им. Н.И. Пирогова.* 2017. Т. 12, № 1. С. 66–69.
15. Dishy V., Gupta S., Landau R., Xie H.-G., Kim R.B., Smiley R.M., Byrne D.W., Wood A.J.J., Stein C.M. G-Protein  $\beta_3$  Subunit 825 C/T Polymorphism Is Associated with Weight Gain During Pregnancy // *Pharmacogenetics.* 2003. Vol. 13, № 4. P. 241–242. <https://doi.org/10.1097/00008571-200304000-00009>
16. Мальцев В.П., Говорухина А.А., Ложкина-Гамецкая Н.И. Особенности морфологического развития и компонентного состава тела студентов педагогических вузов Уральского региона // *Соврем. вопр. биомедицины.* 2022. Т. 6, № 3(20). Ст. № 15. [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2022\\_06\\_03\\_15](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_03_15)
17. Галиева М.О., Трошина Е.А., Мазурина Н.В., Волынкина А.П., Артюшин А.В., Павлова А.С. Терапия ожирения сибутрамином: полиморфизмы генов *TPH2* и *GNB3* и снижение массы тела // *Ожирение и метаболизм.* 2018. Т. 15, № 2. С. 40–45. <https://doi.org/10.14341/omet9646>
18. Li H.-L., Zhang Y.-J., Chen X.-P., Luo J.-Q., Liu S.-Y., Zhang Z.-L. Association Between *GNB3* c.825C > T Polymorphism and the Risk of Overweight and Obesity: A Meta-Analysis // *Meta Gene.* 2016. Vol. 9. P. 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.mgene.2016.03.002>
19. Кологривова И.В., Винницкая И.В., Кошельская О.А., Сулова Т.Е. Висцеральное ожирение и кардиометаболический риск: особенности гормональной и иммунной регуляции // *Ожирение и метаболизм.* 2017. Т. 14, № 3. С. 3–10. <https://doi.org/10.14341/omet201733-10>
20. Чумакова Г.А., Кузнецова Т.Ю., Дружилев М.А., Веселовская Н.Г. Висцеральное ожирение как глобальный фактор сердечно-сосудистого риска // *Рос. кардиол. журн.* 2018. № 5. С. 7–14. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-5-7-14>
21. Vecchié A., Dallegrì F., Carbone F., Bonaventura A., Liberale L., Portincasa P., Frühbeck G., Montecucco F. Obesity Phenotypes and Their Paradoxical Association with Cardiovascular Diseases // *Eur. J. Intern. Med.* 2018. Vol. 48. P. 6–17. <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2017.10.020>

## References

1. Epanchintseva G.A., Kozlovskaya T.N. Studenchestvo kak sotsial'no-psikhologicheskaya obshchnost' [Students as Social and Psychological Community]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, no. 2, pp. 66–69. <https://doi.org/10.25198/1814-6457-181-66>

2. Bayguzhin P.A., Shibkova D.Z., Batueva A.E., Kudryashov A.A., Bayguzhina O.V. Responsiveness of Autonomous Nervous System Under Emotiogenic Video Content in Students with Different Initial Vegetative Tones. *Ulyanovsk Med. Biol. J.*, 2019, no. 4, pp. 124–135 (in Russ.). <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2019-4-124-135>

3. Litovchenko O.G., Bagnetova E.A., Tostanovskiy A.V. Ecological and Physiological Aspects of Health Protection of the Young Yugra Population. *Mod. Iss. Biomed.*, 2022, vol. 6, no. 1. Art. no. 18 (in Russ.). [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2022\\_06\\_01\\_18](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_01_18)

4. Shalamova E.Yu., Ragozin O.N., Bochkarev M.V. Disadaptive Reactions of the Cardiovascular System in Relation to Sleep and Coping Behavior of Students of Northern Medical Institute. *Arter. Hypertens.*, 2019, vol. 25, no. 2, pp. 176–190 (in Russ.). <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2019-25-2-176-190>

5. Varlamova N.G., Boyko E.R. Osobennosti funktsii vneshnego dykhaniya u severyan v godovom tsikle [Features of External Breathing Function Among the Northerners in the Annual Cycle]. *Morskaya meditsina*, 2017, vol. 3, no. 3, pp. 43–49. <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2017-3-3-43-49>

6. Averyanova I.V., Maximov A.L. Hemodynamic and Morphofunctional Alterations Observed for Ten Years in Young Males of Magadan Region. *Ekologiya cheloveka*, 2016, no. 8, pp. 8–14 (in Russ.). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-8-8-14>

7. Sevryukova G.A. Reostaz, allostatz i allostaticheskaya nagruzka: chto ponimaetsya pod etimi terminami? [Rheostasis, Allostatic Load: What Is Meant by These Terms?]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2022, no. 10. Art. no. 5. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.22>

8. Krivoschekov S.G., Belisheva N.K., Nikolaeva E.I., Vergunov E.G., Martynova A.A., Elnikova O.E., Prjanichnikov S.V., Anufriev G.N., Balioz N.V. The Concept of Allostatics and Human Adaptation in the North. *Ekologiya cheloveka*, 2016, no. 7, pp. 17–25 (in Russ.). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-7-17-25>

9. McEwen B.S., Wingfield J.C. The Concept of Allostatics in Biology and Biomedicine. *Horm. Behav.*, 2003, vol. 43, no. 1, pp. 2–15. [https://doi.org/10.1016/S0018-506X\(02\)00024-7](https://doi.org/10.1016/S0018-506X(02)00024-7)

10. Leonov D.V., Ustinov E.M., Derevyannaya V.O., Kisilitskiy V.M., Samsonova S.K., Alatorseva M.E., Markelova A.N., Vysotskaya V.V., Churikova T.S., Trofimkina Yu.V., Mayorova A.O., Leykam S.E., Antipenko D.V., Mikhaylovskiy A.I., Grigor'ev D.A., Borodin P.E., Borodin E.A. Geneticheskij polimorfizm. Znachenie. Metody issledovaniya [Genetic Polymorphism. Value. Methods of Research]. *Amurskiy meditsinskiy zhurnal*, 2017, no. 2, pp. 62–67. <https://doi.org/10.22448/AMJ.2017.2.62-67>

11. Kostyuk S.A. Prediktivnaya meditsina i metody geneticheskogo testirovaniya [Predictive Medicine and Methods of Genetic Testing]. *Meditsinskie novosti*, 2016, no. 4, pp. 11–14.

12. Lazebnik L.B., Konev Yu.V., Efremov L.I. Personalizirovannaya (personifitsirovannaya) meditsina (smena paradigmy na smenu zdravookhraneniya idet zdravosokhranenie) [Personalised (Individualized) Medicine (the Change in the Paradigm Shift Health Care Is Preservation of Health Care)]. *Klinicheskaya gerontologiya*, 2018, vol. 24, no. 1-2, pp. 3–7.

13. Mahmood M.S., Mian Z.S., Afzal A., Frossard P.M. G-Protein Beta-3 Subunit Gene 825C>T Dimorphism Is Associated with Left Ventricular Hypertrophy but Not Essential Hypertension. *Med. Sci. Monit.*, 2005, vol. 11, no. 1, pp. CR6–CR9.

14. Arutyunyan L.V., Drobotya N.V., Pirozhenko A.A., Torosyan S.S., Kaltykova V.V. Osobennosti techeniya arterial'noy gipertenzii, svyazannye s raspredeleniem alleley i genotipov polimorfnoogo markera C825T gena *GNB3* sredi bol'nykh, prozhivayushchikh v Rostovskoy oblasti [Features of the Course of Arterial Hypertension Associated with the Distribution of Alleles and Genotypes of the C825T Polymorphism of the *GNB3* Gene Among Patients Living in the Rostov Region]. *Vestnik Natsional'nogo meditsinsko-khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova*, 2017, vol. 12, no. 1, pp. 66–69.

15. Dishy V., Gupta S., Landau R., Xie H.-G., Kim R.B., Smiley R.M., Byrne D.W., Wood A.J.J., Stein C.M. G-Protein  $\beta_3$  Subunit 825 C/T Polymorphism Is Associated with Weight Gain During Pregnancy. *Pharmacogenetics*, 2003, vol. 13, no. 4, pp. 241–242. <https://doi.org/10.1097/00008571-200304000-00009>

16. Mal'tsev V.P., Govorukhina A.A., Lozhkina-Gametskaya N.I. The Indicators of Physical Development and Body Composition of Female Students of Pedagogical Universities in the Ural Region. *Mod. Iss. Biomed.*, 2022, vol. 6, no. 3. Art. no. 15 (in Russ.). [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2022\\_06\\_03\\_15](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_03_15)

17. Galieva M.O., Troshina E.A., Mazurina N.V., Volynkina A.P., Artiushin A.V., Pavlova A.S. Treatment Obesity with Sibutramine: Polymorphisms of *TPH2* and *GNB3* Genes and Body Weight Loss. *Obes. Metab.*, 2018, vol. 15, no. 2, pp. 40–45 (in Russ.). <https://doi.org/10.14341/omet9646>

18. Li H.-L., Zhang Y.-J., Chen X.-P., Luo J.-Q., Liu S.-Y., Zhang Z.-L. Association Between *GNB3* c.825C > T Polymorphism and the Risk of Overweight and Obesity: A Meta-Analysis. *Meta Gene*, 2016, vol. 9, pp. 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.mgene.2016.03.002>

19. Kologrivova I.V., Vinnitskaya I.V., Koshelskaya O.A., Suslova T.E. Visceral Obesity and Cardiometabolic Risk: Features of Hormonal and Immune Regulation. *Obes. Metab.*, 2017, vol. 14, no. 3, pp. 3–10 (in Russ.). <https://doi.org/10.14341/omet201733-10>

20. Chumakova G.A., Kuznetsova T.Yu., Druzhilov M.A., Veselovskaya N.G. Visceral Adiposity as a Global Factor of Cardiovascular Risk. *Russ. J. Cardiol.*, 2018, no. 5, pp. 7–14 (in Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-5-7-14>

21. Vecchié A., Dallegrì F., Carbone F., Bonaventura A., Liberale L., Portincasa P., Frühbeck G., Montecucco F. Obesity Phenotypes and Their Paradoxical Association with Cardiovascular Diseases. *Eur. J. Intern. Med.*, 2018, vol. 48, pp. 6–17. <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2017.10.020>

**Received 11 January 2023**

**Accepted 21 July 2023**

**Published 30 November 2023**

**Поступила 11.01.2023**

**Принята 21.07.2023**

**Опубликована 30.11.2023**

Научная статья

УДК [612.123:577.125:577.175:612.66](985)(045)

DOI: 10.37482/2687-1491-Z169

## Анализ содержания катехоламинов и параметров липидного обмена у аборигенного и местного европеоидного населения Арктической зоны Российской Федерации

Екатерина Васильевна Нестерова\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8467-2514>

Фатима Артемовна Бичкаева\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2970-4469>

Борис Александрович Шенгоф\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3776-1474>

\*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук (г. Архангельск)

**Аннотация.** Изучение жирового обмена и содержания гормонов симпатoadреналовой системы у аборигенного населения Арктики, в современном мире меняющего образ жизни с кочевого на оседлый, несомненно, представляет практический интерес. **Цель** данной работы – сравнительный анализ содержания катехоламинов, триглицеридов и насыщенных жирных кислот у жителей Арктической зоны РФ в зависимости от образа жизни (кочующие аборигены (КА), оседлые аборигены (ОА), местное европеоидное население (МЕ)), возраста и пола. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 472 чел.: мужчины и женщины 1-го и 2-го периодов зрелого возраста, ведущие различный образ жизни. В сыворотке крови оценивали: концентрацию триглицеридов ферментативным методом; уровень насыщенных жирных кислот ( $\Sigma_{\text{НЖК}}$ ) методом газожидкостной хроматографии, с последующим расчетом содержания коротко-, средне- и длинноцепочечных насыщенных жирных кислот ( $\Sigma_{\text{КЦ}}$ ,  $\Sigma_{\text{СЦ}}$ ,  $\Sigma_{\text{ДЦ}}$ ). Уровни адреналина и норадреналина в моче определяли флуориметрическим методом. **Результаты.** У лиц зрелого возраста независимо от образа жизни на фоне высоких концентраций адреналина выявлены низкое содержание триглицеридов и повышенные значения  $\Sigma_{\text{НЖК}}$ , преимущественно у женщин. Корреляционным анализом установлены отрицательные взаимосвязи содержания адреналина с  $\Sigma_{\text{ДЦ}}$  и  $\Sigma_{\text{НЖК}}$  у 21–35-летних женщин ОА, а у 36–55-летних – с  $\Sigma_{\text{СЦ}}$ ; у 36–55-летних женщин МЕ – положительная взаимосвязь содержания норадреналина с  $\Sigma_{\text{КЦ}}$ ,  $\Sigma_{\text{СЦ}}$ ,  $\Sigma_{\text{ДЦ}}$  и  $\Sigma_{\text{НЖК}}$ ; у представительниц КА статистически значимых корреляций не выявлено. В отличие от женщин, у мужчин корреляционная взаимосвязь установлена лишь в группах МЕ между содержанием адреналина и  $\Sigma_{\text{СЦ}}$ : у 22–35-летних – отрицательная, а у 36–60-летних, при высоких концентрациях норадреналина, – положительная. Низкие уровни триглицеридов и повышенные значения  $\Sigma_{\text{НЖК}}$  у жителей Арктической зоны РФ, с одной стороны, поддерживают энергетический гомеостаз организма, а с другой, приводят к накоплению избыточной массы тела и ожирению, как следствие – к риску развития метаболически обусловленных заболеваний, ранее несвойственных для них, особенно у женщин.

**Ответственный за переписку:** Нестерова Екатерина Васильевна, адрес: 163001, г. Архангельск, просп. Ломоносова, д. 249; e-mail: Ekaterina29reg@mail.ru

**Ключевые слова:** катехоламины, триглицериды, насыщенные жирные кислоты, кочующие аборигены, оседлые аборигены, местное европеоидное население, Арктическая зона РФ.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках темы ФНИР ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН № 122011800399-2 (руководитель – доктор биологических наук Ф.А. Бичкаева) и НИОКТР № 123042700020-9 (руководитель – Е.В. Нестерова).

**Для цитирования:** Нестерова Е.В., Бичкаева Ф.А., Шенгоф Б.А. Анализ содержания катехоламинов и параметров липидного обмена у аборигенного и местного европеоидного населения Арктической зоны Российской Федерации // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 429–439. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z169>

Original article

## Analysis of Catecholamine Content and Lipid Metabolism Parameters in the Indigenous and Local Russian Population of the Arctic Zone of the Russian Federation

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

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

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

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

**Abstract.** The study of fat metabolism and the levels of sympathoadrenal hormones in the indigenous population of the Arctic presently changing their lifestyle from nomadic to sedentary is undoubtedly of practical interest. The **purpose** of this article was to conduct a comparative analysis of the content of catecholamines, triglycerides and saturated fatty acids in the inhabitants of the Arctic zone of the Russian Federation, depending on their lifestyle (nomadic indigenous people, sedentary indigenous people, and local Russian population), age and sex. **Materials and methods.** The study involved 472 subjects: men and women of the first (men: 22–35 years old; women: 21–35 years old) and second (men: 36–60 years old; women: 36–55 years old) periods of adulthood, leading different lifestyles. The following were determined in the blood serum: triglyceride concentrations using the enzymatic method; level of saturated fatty acids ( $\Sigma_{\text{SFA}}$ ) using gas-liquid chromatography, followed by a calculation of the content of short-, medium- and long-chain saturated fatty acids ( $\Sigma_{\text{SCFA}}$ ,  $\Sigma_{\text{MCFA}}$ ,  $\Sigma_{\text{LCFA}}$ ). Urine levels of adrenaline and noradrenaline were determined by means of fluorimetry. **Results.** Regardless of their lifestyle, adult subjects, primarily women, showed high adrenaline values, low triglyceride concentrations and elevated  $\Sigma_{\text{SFA}}$ . Correlation analysis established a negative association of adrenaline with  $\Sigma_{\text{LCFA}}$  and  $\Sigma_{\text{SFA}}$  in sedentary indigenous women aged 21–35 years and with  $\Sigma_{\text{MCFA}}$  in those aged 36–55 years. In local Russian women aged 36–55 years, on the contrary, a positive association of noradrenaline with  $\Sigma_{\text{SCFA}}$ ,  $\Sigma_{\text{MCFA}}$ ,  $\Sigma_{\text{LCFA}}$  and  $\Sigma_{\text{SFA}}$  was found. No statistically significant correlations were identified in nomadic indigenous women. Unlike

**Corresponding author:** Ekaterina Nesterova, address: prosp. Lomonosova 249, Arkhangelsk, 163001, Russian Federation; e-mail: Ekaterina29reg@mail.ru

women, men had a correlation between adrenaline content and  $\Sigma_{\text{MCFA}}$  only among local Russians: negative in 22–35-year-olds and positive in 36–60-year-olds with high noradrenaline levels. On the one hand, low triglyceride values and elevated  $\Sigma_{\text{SFA}}$  among residents of the Arctic zone of the Russian Federation maintain the energy homeostasis of the body. On the other hand, they lead to overweight and obesity, which increases the risk of new-onset metabolic dysfunction-associated diseases, especially in women.

**Keywords:** catecholamines, triglycerides, saturated fatty acids, nomadic indigenous people, settled indigenous people, local Russian population, Arctic zone of the Russian Federation.

**Funding.** The work was carried out within the Fundamental Research of FECIAR UrB RAS, topic no. 122030400209-9 (leader – Dr. Sci. (Biol.) F.A. Bichkaeva) and Research and Technological Development, topic no. 123042700020-9 (leader – E.V. Nesterova).

**For citation:** Nesterova E.V., Bichkaeva F.A., Shengof B.A. Analysis of Catecholamine Content and Lipid Metabolism Parameters in the Indigenous and Local Russian Population of the Arctic Zone of the Russian Federation. *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 429–439. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z169>

Проживание человека в суровых климатических условиях нередко приводит к развитию северного стресса, что является абсолютно оправданной реакцией организма. Однако, как известно, хронический стресс негативно влияет на резервные возможности организма и приводит к таким дизадаптивным расстройствам, как нарушения со стороны центральной нервной системы, синдром липидной гиперпероксидации, дисфункция эндокринной системы, нарушение метаболизма, иммунная недостаточность [1, 2].

Адаптация требует немалого количества энергетических затрат, что обусловлено степенью перенапряжения регуляторных механизмов и уровнем расходования функциональных резервов. Значительное место в данном процессе занимают мобилизация и совершенствование целого комплекса неспецифических и специфических ответных реакций эндокринной системы при возникающем стрессе [3, 4]. В основе общего адаптационного синдрома лежит возбуждение высших вегетативных центров, таких как симпато-адреналовая и гипофизарно-надпочечниковая системы, что приводит к повышению содержания и активности в сыворотке крови катехоламинов и глюкокортикоидов [4].

Известно, что симпатоадреналовая система (САС) занимает ключевое место в регуляции

обмена веществ и в поддержании постоянства внутренней среды организма [1, 4, 5]. Кате-холамины и кортизол приводят к активации в клетке гидролитических реакций с расщеплением макромолекул до их составляющих, в частности триглицеридов и фосфолипидов до жирных кислот, которые являются основным субстратом процессов перекисного окисления липидов [6, 7].

Территория Арктической зоны РФ отличается многообразием популяций населения – так, одновременно можно встретить популяции, сохранившие этнический уклад и традиционный образ жизни, и популяции, ощутившие на себе влияние современного мира, а также вновь прибывшее население. Для облегчения проживания в экстремальном климате народы арктических территорий обладают особенными культурой питания и образом жизни, основанными на опыте предков, что позволяет им выжить в условиях высоких широт и предотвратить развитие некоторых заболеваний [8–10].

Ранее проведенными исследованиями установлено, что низкая температура окружающей среды, физические нагрузки, эмоциональный стресс приводят к повышению концентрации катехоламинов как в крови, так и в моче [11–13]. При этом активация САС, в свою очередь, оказывает негативное влияние на сердечно-сосудистую систему [14].

Несмотря на накопленные сведения, в доступной литературе не так много работ, показывающих взаимосвязь содержания катехоламинов и параметров липидного обмена у жителей Крайнего Севера с образом жизни, половой принадлежностью и возрастом, что и определило актуальность и цель данной работы.

**Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 472 чел., постоянно проживающие в Арктической зоне РФ. Согласно возрастной периодизации, принятой на 7-й конференции по возрастной морфологии, физиологии и биохимии (Москва, 1965 год), рассматривались мужчины и женщины 1-го (мужчины – 22–35 лет, женщины – 21–35 лет) и 2-го (мужчины – 36–60 лет, женщины – 36–55 лет) периодов зрелого возраста. Обследованы 168 чел. из Ненецкого автономного округа (НАО: п. Нельмин-Нос и с. Несь), 151 чел. из Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО: с. Красноселькуп, с. Сё-Яха, с. Толька) и 153 чел. из Мезенского района Архангельской области (д. Совполье, д. Сояна, с. Долгощелье). В составе участников 69 чел. являлись кочующими аборигенами (КА: 16 мужчин и 15 женщин 1-го периода зрелого возраста, 17 мужчин и 21 женщина 2-го периода), 188 чел. – оседлыми аборигенами (ОА: 13 мужчин и 60 женщин 1-го периода зрелого возраста, 17 мужчин и 98 женщин 2-го периода) и 215 чел. – местным европеоидным населением (МЕ: 11 мужчин и 25 женщин 1-го периода зрелого возраста, 68 мужчин и 111 женщин 2-го периода).

В выборку включались лица вне периода обострения хронических заболеваний и без наличия острых заболеваний. Из исследования исключались лица, состоявшие на диспансерном учете у эндокринолога, имевшие в анамнезе заболевания сердечно-сосудистой системы и сахарный диабет.

Обследование проходило в утренние часы (с 8:00 до 10:00), в процессе него выполнялись анкетирование, физикальный осмотр врачом, на основании заключения которого делался вывод о состоянии здоровья испытуемых. Забор крови проводился из локтевой вены натощак в

вакутайнеры фирмы Becton Dickinson (США) с согласия обследуемых и в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием людей в качестве субъектов» (с изменениями 2013 года). Сбор мочи осуществлялся в специальные контейнеры, с добавлением 6М раствора соляной кислоты. Содержание насыщенных жирных кислот определялось методом газожидкостной хроматографии с предварительной экстракцией липидов из сыворотки крови и последующим получением метиловых эфиров жирных кислот [15]. В данной работе рассматривались только суммарные содержания короткоцепочечных ( $C_{6:0}-C_{8:0}$ ;  $\Sigma_{КЦ}$ ), среднецепочечных ( $C_{12:0}-C_{15:0}$ ;  $\Sigma_{СЦ}$ ) и длинноцепочечных ( $C_{16:0}-C_{24:0}$ ;  $\Sigma_{ДЦ}$ ) насыщенных жирных кислот, а также их общее содержание ( $\Sigma_{НЖК}$ ), полученные расчетным путем. Уровни адреналина и нор-адреналина в моче оценивались флуоресцентным методом на анализаторе биоожидкостей «Флюорат-02-АБЛФ-Т» («Люмэкс», Россия), рассчитывалось соотношение экскреции нор-адреналина и адреналина (коэффициент НА/А). Концентрация триглицеридов в сыворотке крови определялась ферментативным методом на биохимических анализаторах «Биалаб-100» («Бианалитика», Россия), Furuno SA-270 (Furuno Electric Co., Япония).

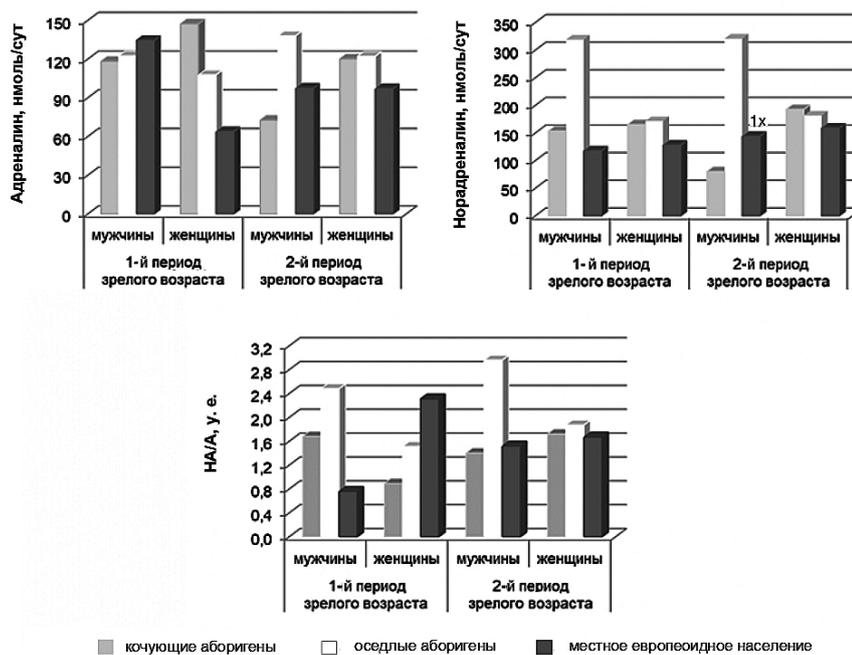
Статистический анализ результатов исследования производился с применением пакетов прикладных программ Microsoft Excel 2010 и SPSS Statistics 22.0 для Windows. Полученные выборки проверялись на нормальность распределения с помощью теста Шапиро–Уилка, вследствие частичной асимметрии рядов распределения показателей в группах использовались методы непараметрической статистики. В качестве меры центральной тенденции были рассчитаны значения медианы (*Me*). Для предварительной оценки статистической значимости различий между независимыми выборками применялся критерий Краскела–Уоллиса (*H*-тест). Для анализа различий частот встреча-

емости отклонений исследуемых параметров от физиологической нормы использовались критерии Манна–Уитни и Фишера. Взаимосвязи между содержанием катехоламинов и насыщенных жирных кислот устанавливались методом корреляционного анализа с применением коэффициента Спирмена ( $r$ ). Статистически значимыми считались изменения при вероятности ошибочного принятия нулевой гипотезы  $p < 0,05$ . Для коррекции вероятности ошибки 1-го типа при сравнении возрастных групп использовалась поправка Бонферрони, равная 3 (для 3 сравнений).

**Результаты.** Практически во всех группах обследуемых независимо от образа жизни, возраста и пола уровни адреналина (рис. 1) оказались выше физиологической нормы (1,2–81,9 нмоль/сут).

Исключением стали мужчины КА 36–60 лет. Аномально высокие уровни адреналина в общей выборке зарегистрированы: у женщин – в 48–66 % случаев, а у мужчин – в 41–85 % случаев.

Анализ содержания норадреналина (рис. 1) показал, что активность медиаторного компонента САС более выражена у аборигенов-мужчин, ведущих оседлый образ жизни, независимо от возраста – данный показатель у них превышал физиологическую норму (47,3–236,4 нмоль/сут). В остальных рассматриваемых группах концентрация норадреналина находилась в пределах нормы. Стоит отметить, что у мужчин ОА 2-го периода зрелого возраста концентрация норадреналина была статистически значимо выше, чем у их ровесников МЕ



**Рис. 1.** Содержание адреналина, норадреналина и их соотношение (НА/А) в моче практически здорового взрослого населения Арктической зоны РФ в зависимости от возраста, пола и образа жизни (установлена статистическая значимость различий: 1x – относительно оседлых аборигенов,  $p < 0,05$ )

**Fig. 1.** Adrenaline and noradrenaline content and their ratio in the urine of an apparently healthy adult population of the Arctic zone of the Russian Federation, depending on their age, sex and lifestyle (statistical significance of differences was established: 1x – in relation to sedentary indigenous people,  $p < 0.05$ )

( $p = 0,018$ ). Аномально высокие уровни норадреналина выявлены во всех группах и встречались у 23–61 % лиц из общей выборки. При этом у мужчин ОА частота встречаемости аномально высоких концентраций норадреналина была статистически значимо выше, чем у мужчин МЕ: 61,5 % против 23,1 % ( $p = 0,047$ ) у лиц 1-го периода зрелого возраста и 58,8 % против 26,8 % ( $p = 0,012$ ) у лиц 2-го периода. Среди женщин высокие уровни норадреналина встречались у 27–40 % лиц, значимых различий между группами по образу жизни и возрасту не выявлено. Аномально низкие концентрации норадреналина зарегистрированы: среди мужчин 22–35 лет – в 12 % случаев у КА и 7,7 % случаев у МЕ; среди мужчин 36–60 лет – в 35 % случаев у КА и 11 % случаев у МЕ ( $p = 0,015$ ); у женщин – от 10 до 17 % случаев во всех группах.

Для оценки баланса гормонального и медиаторного компонентов САС определялось соотношение экскреции норадреналина и адреналина (по коэффициенту НА/А). Исследование показало, что значения данного коэффициента (рис. 1) были максимальными у мужчин ОА независимо от возраста и у женщин МЕ в возрасте 21–35 лет. Низкие значения коэффициента НА/А зафиксированы у мужчин МЕ 1-го периода зрелого возраста и у женщин КА.

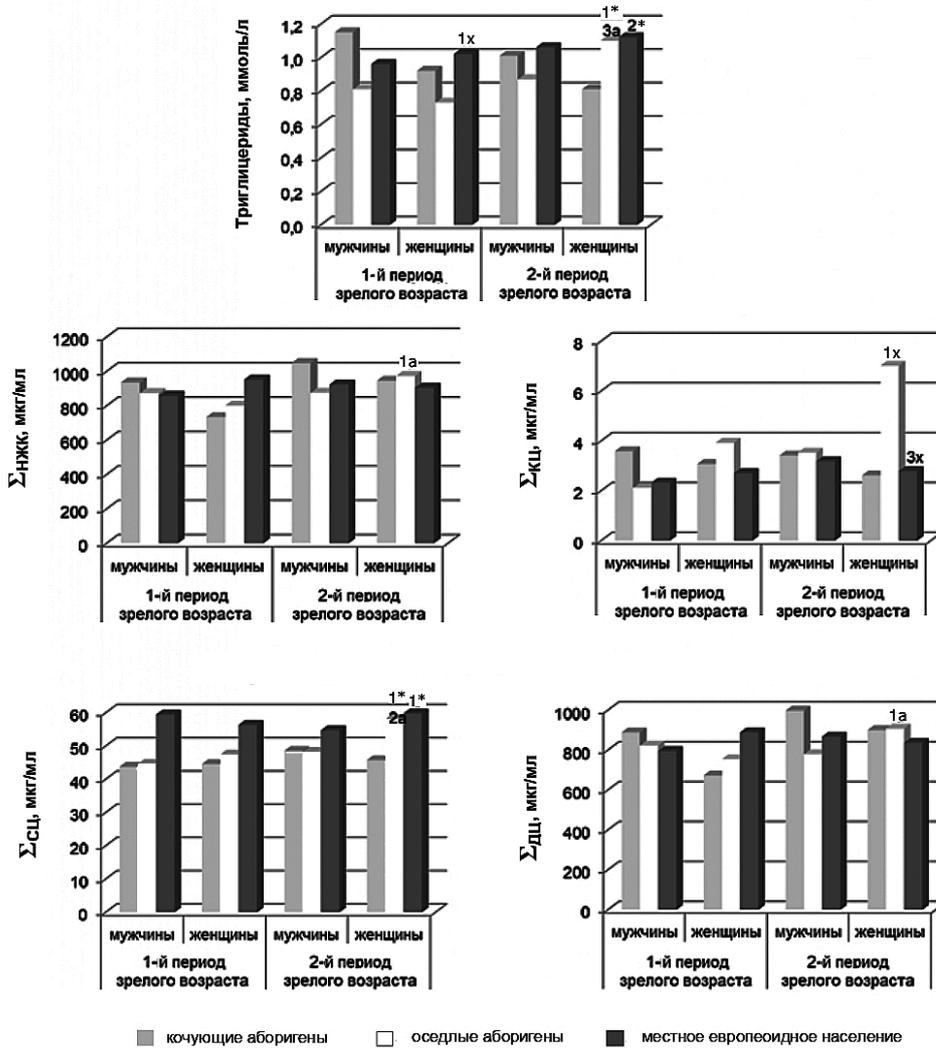
На фоне высоких уровней адреналина у женщин ОА в группе 21–35 лет отмечены статистически значимо более низкие концентрации триглицеридов (рис. 2) относительно представительниц МЕ ( $p = 0,050$ ), а в группе КА 36–55 лет – относительно ОА и МЕ ( $p = 0,012$  и  $p = 0,003$  соответственно). У женщин в группе ОА 36–55 лет уровень триглицеридов был статистически значимо выше ( $p < 0,001$ ), чем у 21–35-летних. При этом максимальная частота встречаемости лиц с уровнем триглицеридов ниже нормы среди женщин 1-го периода зрелого возраста составила 58,6 % у ОА, против 35,7 % у КА и 32 % у МЕ ( $p = 0,018$ ), среди женщин 2-го периода зрелого возраста – 50 % у КА, против 27 % у ОА ( $p = 0,039$ ) и 21 % у МЕ ( $p = 0,006$ ). Аномально высокие концен-

трации триглицеридов зарегистрированы в единичных случаях.

При анализе содержания триглицеридов в сыворотке крови мужчин не установлено статистически достоверных различий, а значения показателя находились в пределах физиологической нормы во всех группах, независимо от образа жизни и возраста, максимальное содержание триглицеридов отмечено у КА 22–35 лет. При этом доли лиц с концентрациями триглицеридов ниже нормы среди мужчин 22–35 лет статистически значимо не различались в зависимости от образа жизни: у КА – 19 %, у ОА – 46 % и у МЕ – 23 %; среди мужчин 36–60 лет различия установлены – 41 % у КА против 35 % у ОА и 19 % у МЕ ( $p = 0,050$ ). Аномально высокие уровни триглицеридов зарегистрированы в единичных случаях только у мужчин 36–60 лет.

При оценке  $\Sigma_{\text{НЖК}}$  в сыворотке крови (рис. 2) установлена тенденция к повышению показателя с возрастом у мужчин КА и у женщин КА и ОА ( $p = 0,030$ ). В остальных группах  $\Sigma_{\text{НЖК}}$  практически не менялся с возрастом. Максимальная частота встречаемости отклонений выше физиологической нормы зарегистрирована у мужчин 36–60 лет в группе КА (35 %). В остальных группах мужчин и женщин частота встречаемости таких отклонений составила от 5 до 15 %.

Установлено (рис. 2) статистически значимое повышение  $\Sigma_{\text{КЦ}}$  у женщин ОА с возрастом ( $p = 0,045$ ). При этом у 36–55-летних женщин данной группы  $\Sigma_{\text{КЦ}}$  был статистически значимо выше, чем у их ровесниц в группах КА и МЕ ( $p = 0,012$  и  $p < 0,001$  соответственно). У мужчин ОА и МЕ наблюдалось незначительное повышение  $\Sigma_{\text{КЦ}}$  с возрастом, а у мужчин КА, наоборот, понижение. У 30 % мужчин ОА 22–35 лет выявлены аномально низкие значения  $\Sigma_{\text{КЦ}}$ , в остальных группах доля таких отклонений составила не более 7 %. У 48 % женщин ОА 36–55 лет зарегистрированы аномально высокие значения  $\Sigma_{\text{КЦ}}$ , что статистически значимо больше, чем у представительниц КА и МЕ того же возраста – 15 % ( $p = 0,007$ ) и 9 %



**Рис. 2.** Содержание триглицеридов, коротко- ( $\Sigma_{\text{КЦ}}$ ), средне- ( $\Sigma_{\text{СЦ}}$ ), длинноцепочечных ( $\Sigma_{\text{ДЦ}}$ ) насыщенных жирных кислот и суммарное содержание насыщенных жирных кислот ( $\Sigma_{\text{НЖК}}$ ) в сыворотке крови практически здорового взрослого населения Арктической зоны РФ в зависимости от возраста, пола и образа жизни (установлена статистическая значимость различий: \* – относительно кочующих аборигенов; x – относительно оседлых аборигенов; a – относительно 1-го периода зрелого возраста; 1 –  $p < 0,05$ ; 2 –  $p < 0,01$ ; 3 –  $p < 0,001$ )

**Fig. 2.** Content of triglycerides, short-, medium- and long-chain saturated fatty acids and total content of saturated fatty acids in the blood serum of an apparently healthy adult population of the Arctic zone of the Russian Federation, depending on their age, sex and lifestyle (statistical significance of differences was established: \* – in relation to nomadic indigenous people; x – in relation to sedentary indigenous people; a – in relation to the 1st period of adulthood; 1 –  $p < 0.05$ ; 2 –  $p < 0.01$ ; 3 –  $p < 0.001$ )

( $p < 0,001$ ) соответственно. Стоит отметить, у женщин ОА и МЕ 1-го периода зрелого возраста частота встречаемости отклонений  $\Sigma_{\text{КЦ}}$  выше физиологической нормы была статистически значимо больше по сравнению с ровесниками-мужчинами ОА и МЕ ( $p = 0,006$  и  $p = 0,006$  соответственно) и 36–60-летними мужчинами КА, ОА и МЕ ( $p = 0,021$ ;  $p = 0,020$  и  $p < 0,001$  соответственно).

При анализе  $\Sigma_{\text{СЦ}}$  (рис. 2) максимальное значение показателя выявлено в группе МЕ независимо от пола и возраста. У женщин ОА и МЕ 36–55 лет  $\Sigma_{\text{СЦ}}$  оказался статистически значимо выше, чем у их ровесниц в группе КА ( $p = 0,021$  и  $p = 0,050$  соответственно). Стоит отметить, что у 36–55-летних женщин ОА  $\Sigma_{\text{СЦ}}$  был статистически значимо выше, чем у 21–35-летних ( $p = 0,018$ ). У мужчин же значимых различий не выявлено. При этом у 29 % мужчин КА 36–60 лет и у 21 % женщин МЕ 21–35 лет установлены значения выше физиологической нормы (16,9–85,9 мкг/мл), в остальных группах частота встречаемости таких отклонений составила до 13 %.

Исследование показало статистически значимое повышение  $\Sigma_{\text{ДЦ}}$  (рис. 2) у женщин ОА с возрастом ( $p = 0,033$ ). Аномально высокие значения данного показателя зарегистрированы у 35 % мужчин КА 36–60 лет, в остальных же группах доля лиц со значениями выше физиологической нормы (360–1194 мкг/мл) составила от 6,3 до 15,4 % независимо от образа жизни, возраста и пола.

Корреляционный анализ установил взаимосвязь содержания катехоламинов и насыщенных жирных кислот. Так, у 21–35-летних женщин ОА наблюдалась обратная корреляционная взаимосвязь уровня адреналина с  $\Sigma_{\text{ДЦ}}$  ( $r = -0,32$ ;  $p = 0,017$ ) и  $\Sigma_{\text{НЖК}}$  ( $r = -0,31$ ;  $p = 0,018$ ), у 36–55-летних – с  $\Sigma_{\text{СЦ}}$  ( $r = -0,27$ ;  $p = 0,009$ ), а у 36–55-летних представительниц МЕ – положительная взаимосвязь уровня норадреналина с  $\Sigma_{\text{КЦ}}$  ( $r = 0,24$ ;  $p = 0,009$ ),  $\Sigma_{\text{СЦ}}$  ( $r = 0,24$ ;  $p = 0,009$ ),  $\Sigma_{\text{ДЦ}}$  ( $r = 0,26$ ;  $p = 0,005$ ) и  $\Sigma_{\text{НЖК}}$  ( $r = 0,26$ ;  $p = 0,009$ ). Среди мужчин лишь у МЕ 22–35 лет установлена отрица-

тельная корреляционная взаимосвязь содержания адреналина с  $\Sigma_{\text{СЦ}}$  ( $r = -0,62$ ;  $p = 0,024$ ), а у 36–60-летних, при высоких концентрациях норадреналина, – положительная с  $\Sigma_{\text{СЦ}}$  ( $r = 0,47$ ;  $p = 0,050$ ). Стоит отметить, что в группе МЕ, где коэффициент НА/А был наиболее низким, зарегистрирована положительная корреляционная взаимосвязь НА/А: у мужчин 22–35 лет – с  $\Sigma_{\text{СЦ}}$  ( $r = 0,64$ ;  $p = 0,019$ ),  $\Sigma_{\text{ДЦ}}$  ( $r = 0,69$ ;  $p = 0,010$ ) и  $\Sigma_{\text{НЖК}}$  ( $r = 0,69$ ;  $p = 0,010$ ), а у женщин 36–55 лет – с  $\Sigma_{\text{КЦ}}$  ( $r = 0,19$ ;  $p = 0,042$ ),  $\Sigma_{\text{СЦ}}$  ( $r = 0,20$ ;  $p = 0,035$ ),  $\Sigma_{\text{ДЦ}}$  ( $r = 0,26$ ;  $p = 0,005$ ) и  $\Sigma_{\text{НЖК}}$  ( $r = 0,25$ ;  $p = 0,006$ ).

**Обсуждение.** Влияние катехоламинов на обменные процессы в организме человека, проживающего в районах Арктической зоны РФ и ведущего различный образ жизни, до сих пор недостаточно изучено, а имеющиеся сведения немногочисленны. Так, по существующим данным увеличение содержания катехоламинов как в сыворотке крови, так и в моче отмечается в основном у пришлого населения Арктической зоны РФ, среди коренного и местного европеоидного населения их повышенные уровни наблюдаются редко [5, 16].

В ранее проведенных нами исследованиях у жителей приполярного и арктического регионов Севера России было установлено повышение концентрации адреналина с возрастом на фоне дисбаланса норадреналина [17, 18].

В настоящей работе также выявлены высокие концентрации адреналина во всех группах, независимо от образа жизни, возраста и пола, что можно рассматривать в качестве потенциальных возможностей организма, способных активироваться при неблагоприятной ситуации [1, 17–19]. Исключением стали женщины МЕ 21–35 лет и мужчины КА 36–60 лет, у которых уровни катехоламинов находились в пределах физиологической нормы, что свидетельствует об умеренной активности САС. При этом у мужчин ОА уровни адреналина и норадреналина оказались значительно выше физиологической нормы независимо от возраста, что может говорить о напряжении адаптационных меха-

низмов и истощении ресурсов естественной резистентности.

Активация симпатической нервной системы способствует экономному использованию энергетического материала – так, под влиянием катехоламинов (в частности, адреналина) происходит усиление липолиза в жировой ткани с повышением концентрации неэтерифицированных жирных кислот в крови [17, 19]. На фоне высоких уровней катехоламинов у жителей Арктической зоны РФ отмечались низкие концентрации триглицеридов, преимущественно у женщин КА и ОА независимо от возраста, что указывает на усиление жиромобилизующего эффекта в жировой ткани с последующей утилизацией липидов тканям. Симпатические воздействия замедляют синтез триглицеридов, усиливая их распад [19].

Высокие значения  $\Sigma_{\text{НЖК}}$ , сопровождающиеся статистически достоверным повышением

$\Sigma_{\text{СЦ}}$ ,  $\Sigma_{\text{ДЦ}}$ , у женщин ОА 36–55 лет свидетельствуют о нарушении баланса поглощения и окисления насыщенных жирных кислот, что может способствовать увеличению массы тела и риску развития ранее несвойственных соматических заболеваний. У мужчин наблюдалась схожая картина, но без статистически значимых различий.

Таким образом, у жителей Арктической зоны РФ, независимо от образа жизни, возраста и пола, выявленные изменения в уровнях катехоламинов и параметрах жирового обмена говорят о напряжении рассматриваемых звеньев, что поддерживает энергетический гомеостаз организма, с одной стороны, а с другой, приводит к накоплению избыточной массы тела и ожирению, впоследствии – к риску развития метаболически обусловленных заболеваний. Последнее требует дальнейших исследований и поиска профилактических мер.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

## Список литературы

1. Панин Л.Е. Гомеостаз и проблемы приполярной медицины (методологические аспекты адаптации) // Бюл. Сиб. отд-ния РАМН. 2010. Т. 30, № 3. С. 6–11.
2. Kruk J., Kotarska K., Aboul-Enein B. Physical Exercise and Catecholamines Response: Benefits and Health Risk: Possible Mechanisms // Free Radic. Res. 2020. Vol. 54, № 2-3. P. 105–125. <https://doi.org/10.1080/10715762.2020.1726343>
3. Депутат И.С., Дерябина И.Н., Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В. Влияние климатоэкологических условий Севера на процессы старения // Журн. мед.-биол. исследований. 2017. Т. 5, № 3. С. 5–17. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2017.5.3.5>
4. Гуцол Л.О., Гузовская Е.В., Серебренникова С.Н., Семинский И.Ж. Стресс (общий адаптационный синдром) // Байкал. мед. журн. 2022. Т. 1, № 1. С. 70–80. <https://doi.org/10.57256/2949-0715-2022-1-70-80>
5. Бичкаева Ф.А., Типисова Е.В., Волкова Н.И. Соотношение содержания инсулина, половых гормонов, стероидсвязывающего  $\beta$ -глобулина, параметров липидного обмена и глюкозы у мужского населения Арктики // Проблемы репродукции. 2016. Т. 22, № 2. С. 99–110. <https://doi.org/10.17116/repro20162299-110>
6. Коваленко Г.А., Антипова Е.Н., Князев Р.А. Специфическая гидролитическая активность липопротеинов // Бюл. Сиб. отд-ния РАМН. 2010. Т. 30, № 2. С. 49–52.
7. Lafontan M., Langin D. Régulation neuro-humorale de la lipolyse: Aspects physiologiques et physiopathologiques // Med. Sci. (Paris). 1998. Vol. 14, № 8-9. P. 865–876. <https://doi.org/10.4267/10608/1158>
8. Андронов С.В., Лобанов А.А., Бичкаева Ф.А., Попов А.И., Фесюн А.Д., Мухина А.А., Рачин А.П., Кочкин Р.А., Лобанова Л.П., Богданова Е.Н., Шадуйко О.М., Никитин М.В. Традиционное питание и демография в Арктической зоне Западной Сибири // Вопр. питания. 2020. Т. 89, № 5. С. 69–79. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10067>

9. Андронов С.В., Лобанов А.А., Костицын В.В., Кобелькова И.В., Кешабянц Э.Э., Мартинчик А.Н., Лобанова Л.П., Попов А.И., Кочкин Р.А. Традиционное питание коренных жителей Ямало-Ненецкого автономного округа и предупреждение развития гипертонической болезни, хронического бронхита, избыточной массы тела // Науч. вестн. Ямало-Ненец. авт. округа. 2017. № 2(95). С. 13–16.

10. Belkin V., Korostishevsky M., Batsevich V., Pavlovsky O., Volkov-Dubrovin V., Kobylansky E. Morpho-Physiological Features of Human Populations in the Context of Climatic-Geographical Conditions // Coll. Antropol. 2012. Vol. 36, № 3. P. 729–743.

11. Dalmaz Y., Peyrin L., Mamelle J.C., Tuil D., Gilly R., Cier J.F. The Pattern of Urinary Catecholamines and Their Metabolites in Duchenne Myopathy, in Relation to Disease Evolution // J. Neural Transm. 1979. Vol. 46, № 1. P. 17–34. <https://doi.org/10.1007/BF01243426>

12. Бичкаева Ф.А., Бичкаев А.А., Волкова Н.И., Власова О.С., Третьякова Т.В., Шенгоф Б.А. Модулирующее влияние биогенных аминов, инсулина и кортизола на белковый обмен у жителей различных климатогеографических территорий // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки. 2015. № 3. С. 66–76. <https://doi.org/10.17238/issn2308-3174.2015.3.66>

13. Герасименко Д.К. Роль катехоловых аминов в приспособительных реакциях сердечно-сосудистой системы к физическим нагрузкам // Вопр. науки и образования. 2018. № 7(19). С. 23–25.

14. Ширинян Э.А., Петросян А.А., Гукасян Т.Г., Ширинян М.Э. Катехоламинергическая система мозга при ишемии // Нейрохимия. 2000. Т. 17, № 1. С. 13–21.

15. Патент RU 2758932 С1, МПК G01N 33/487, 33/483, 33/12, 33/49, 30/02. Способ измерения массовой концентрации метиловых эфиров жирных кислот в биологических средах методом газожидкостной хроматографии: № 2020124879: заявл. 17.07.2020: опубл. 03.11.2021 / Ф.А. Бичкаева, Н.Ф. Баранова, О.С. Власова, Е.В. Нестерова, А.А. Бичкаев, Б.А. Шенгоф, Т.В. Третьякова. 31 с.

16. Пирогов А.Б. Нейроэндокринная организация адаптации жителей Северо-Востока России // Бюл. физиологии и патологии дыхания. 1998. № 1. С. 14–27.

17. Нестерова Е.В., Бичкаева Ф.А., Баранова Н.Ф. Содержание адреналина в моче и короткоцепочечных насыщенных жирных кислот в крови у взрослого населения Арктики // Материалы XXIII съезда Физиологического общества им. И.П. Павлова с международным участием, г. Воронеж, 18–22 сент. 2017 г. Воронеж: Истоки, 2017. С. 466–468.

18. Нестерова Е.В. Возрастные изменения катехоламинов в моче у населения Арктических регионов // Бюл. Сев. гос. мед. ун-та. 2015. № 1(36). С. 161–164.

19. Frühbeck G., Méndez-Giménez L., Fernández-Formoso J., Fernández S., Rodríguez A. Regulation of Adipocyte Lipolysis // Nutr. Res. Rev. 2014. Vol. 27, № 1. P. 63–93. <https://doi.org/10.1017/S095442241400002X>

## References

1. Panin L.E. Gomeostaz i problemy pripolyarnoy meditsiny (metodologicheskie aspekty adaptatsii) [Homeostasis and Problems of Circumpolar Health (Methodological Aspects of Adaptation)]. *Byulleten' Sibirskogo otdeleniya RAMN*, 2010, vol. 30, no. 3, pp. 6–11.

2. Kruk J., Kotarska K., Aboul-Enein B.H. Physical Exercise and Catecholamines Response: Benefits and Health Risk: Possible Mechanisms. *Free Radic. Res.*, 2020, vol. 54, no. 2-3, pp. 105–125. <https://doi.org/10.1080/10715762.2020.1726343>

3. Deputat I.S., Deryabina I.N., Nekhoroshkova A.N., Gribanov A.V. Effect of Climatic and Ecological Conditions of the North on Ageing Processes. *J. Med. Biol. Res.*, 2017, vol. 5, no. 3, pp. 5–17. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2017.5.3.5>

4. Gutsol L.O., Guzovskaya E.V., Serebrennikova S.N., Seminsky I.Zh. Stress (General Adaptation Syndrome): Lecture. *Baikal Med. J.*, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 70–80 (in Russ.). <https://doi.org/10.57256/2949-0715-2022-1-70-80>

5. Bichkaeva F.A., Tipisova E.V., Volkova N.I. Sootnoshenie sodержaniya insulina, polovykh gormonov, steroidsvyazyvayushchego  $\beta$ -globulina, parametrov lipidnogo obmena i glyukozy u muzhskogo naseleniya Arktiki [The Ratio of Insulin, Sex Hormones, Sex Hormone-Binding  $\beta$ -Globulin, Parameters of Lipid Metabolism and Glucose in the Male Population of the Arctic]. *Problemy reproduksii*, 2016, vol. 22, no. 2, pp. 99–110. <https://doi.org/10.17116/repro201622299-110>

6. Kovalenko G.A., Antipova E.N., Knyazev R.A. Spetsificheskaya gidroliticheskaya aktivnost' lipoproteinov [Specific Hydrolytic Activity of Lipoproteins]. *Byulleten' Sibirskogo otdeleniya RAMN*, 2010, vol. 30, no. 2, pp. 49–52.
7. Lafontan M., Langin D. Régulation neuro-humorale de la lipolyse: Aspects physiologiques et physiopathologiques. *Med. Sci. (Paris)*, 1998, vol. 14, no. 8-9, pp. 865–876. <https://doi.org/10.4267/10608/1158>
8. Andronov S.V., Lobanov A.A., Bichkaeva F.A., Popov A.I., Fesyun A.D., Mukhina A.A., Rachin A.P., Kochkin R.A., Lobanova L.P., Bogdanova E.N., Shadyko O.M., Nikitin M.V. Traditional Nutrition and Demography in the Arctic Zone of Western Siberia. *Probl. Nutr.*, 2020, vol. 89, no. 5, pp. 69–79 (in Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10067>
9. Andronov S.V., Lobanov A.A., Kostritsyn V.V., Kobel'kova I.V., Keshabyants E.E., Martinchik A.N., Lobanova L.P., Popov A.I., Kochkin R.A. Traditsionnoe pitanie korennykh zHITELEY Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga i preduprezhdenie razvitiya gipertonicheskoy bolezni, khronicheskogo bronkhita, izbytochnoy massy tela [The Traditional Food of Indigenous Inhabitants of the Yamal-Nenets Autonomous District and the Prevention of Development of Hypertension, Chronic Bronchitis and Overweight]. *Nauchnyy vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga*, 2017, no. 2, pp. 13–16.
10. Belkin V., Korostishevsky M., Batsevich V., Pavlovsky O., Volkov-Dubrovin V., Kobylansky E. Morpho-Physiological Features of Human Populations in the Context of Climatic-Geographical Conditions. *Coll. Antropol.*, 2012, vol. 36, no. 3, pp. 729–743.
11. Dalmaz Y., Peyrin L., Mamelle J.C., Tuil D., Gilly R., Cier J.F. The Pattern of Urinary Catecholamines and Their Metabolites in Duchenne Myopathy, in Relation to Disease Evolution. *J. Neural Transm.*, 1979, vol. 46, no. 1, pp. 17–34. <https://doi.org/10.1007/BF01243426>
12. Bichkaeva F.A., Bichkaev A.A., Volkova N.I., Vlasova O.S., Tret'yakova T.V., Shengof B.A. Moduliruyushchee vliyanie biogennykh aminov, insulina i kortizola na belkovyy obmen u zHITELEY razlichnykh klimatogeograficheskikh territoriy [The Modulating Effect of Biogenic Amines, Insulin and Cortisol on Protein Metabolism in Residents of Different Climatic Regions]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Mediko-biologicheskie nauki*, 2015, no. 3, pp. 66–76. <https://doi.org/10.17238/issn2308-3174.2015.3.66>
13. Gerasimenko D.K. Rol' katekholovykh aminov v prispособitel'nykh reaktsiyakh serdechno-sosudistoy sistemy k fizicheskim nagruzkam [The Role of Catecholamines in the Adaptive Reactions of the Cardiovascular System to Physical Activity]. *Voprosy nauki i obrazovaniya*, 2018, no. 7, pp. 23–25.
14. Shirinyan E.A., Petrosyan A.A., Gukasyan T.G., Shirinyan M.E. Katekholaminergicheskaya sistema mozga pri ishemii [Catecholaminergic System of the Brain in Ischemia]. *Neyrokhiymiya*, 2000, vol. 17, no. 1, pp. 13–21.
15. Bichkaeva F.A., Baranova N.F., Vlasova O.S., Nesterova E.V., Bichkaev A.A., Shengof B.A., Tretyakova T.V. *Method for Measuring Mass Concentration of Methyl Esters of Fatty Acids in Biological Media by Gas-Liquid Chromatography Method*. Patent RU2758932C1, 2021 (in Russ.).
16. Pirogov A.B. Neyroendokrinnaya organizatsiya adaptatsii zHITELEY Severo-Vostoka Rossii [Neuroendocrine Structure of Adaptation of Russian North-Eastern Population]. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya*, 1998, no. 1, pp. 14–27.
17. Nesterova E.V., Bichkaeva F.A., Baranova N.F. Soderzhanie adrenalina v moche i korotkotsepochechnykh nasyshechnykh zhirnykh kislot v krovi u vzroslogo naseleniya Arktiki [Content of Adrenaline in the Urine and Short-Chain Saturated Fatty Acids in the Blood of the Adult Population of the Arctic]. *Materialy XXIII s'ezda Fiziologicheskogo obshchestva im. I.P. Pavlova s mezhdunarodnym uchastiem* [Proceedings of the 23rd Congress of I.P. Pavlov Physiological Society with International Participation]. Voronezh, 2017, pp. 466–468.
18. Nesterova E.V. Vozrastnye izmeneniya katekholaminov v moche u naseleniya Arkticheskikh regionov [Age-Related Changes of the Urine Catecholamines in Population of the Arctic Regions]. *Byulleten' Severnogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*, 2015, no. 1, pp. 161–164.
19. Frühbeck G., Méndez-Giménez L., Fernández-Formoso J., Fernández S., Rodríguez A. Regulation of Adipocyte Lipolysis. *Nutr. Res. Rev.*, 2014, vol. 27, no. 1, pp. 63–93. <https://doi.org/10.1017/S095442241400002X>

Received 13 June 2023

Accepted 26 September 2023

Published 30 November 2023

Поступила 13.06.2023

Принята 26.09.2023

Опубликована 30.11.2023



Журнал медико-биологических исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 440–450.  
*Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 440–450.

Научная статья  
УДК 616.24-002.155  
DOI: 10.37482/2687-1491-Z165

## Связь степени поражения легочной ткани с функциональными возможностями пациентов, переболевших коронавирусной пневмонией

Кирилл Федорович Борчев\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5541-8402>

\*Калининградский государственный технический университет  
(г. Калининград)

\*\*Центральная городская клиническая больница  
(г. Калининград)

**Аннотация.** Многие пациенты, перенесшие COVID-19, сталкиваются с различными функциональными нарушениями. **Цель** исследования – установление связи степени поражения легочной ткани и функциональных возможностей пациентов, переболевших коронавирусной пневмонией в условиях пандемии COVID-19. **Материалы и методы.** Обследовались пациенты ( $n = 264$ ) в возрасте 46–86 лет, перенесшие COVID-19 в среднетяжелой и тяжелой формах и прошедшие курс лечения и реабилитации с диагнозом «двухсторонняя полисегментарная пневмония». Функциональные возможности измерялись при помощи пробы «Ходьба до первых признаков утомления в привычном темпе», учитывалась частота сердечных сокращений (ЧСС) и уровень насыщения крови кислородом ( $SpO_2$ ). Связь степени поражения легочной ткани с результатами тестирования анализировалась при помощи одномоментного и множественного регрессионного анализа. Модели регрессии включали переменные: пройденная дистанция, ЧСС и  $SpO_2$  покоя и после нагрузки, а также демографические и клинические характеристики пациентов. **Результаты.** При нормальных значениях  $SpO_2$  покоя ( $96,3 \pm 1,6$  %) и ЧСС покоя ( $81,4 \pm 12,1$  уд/мин), утомление наступало после прохождения дистанции  $130,3 \pm 96,4$  м,  $SpO_2$  снижался до  $93,8 \pm 3,5$  %, ЧСС увеличивалась до  $96,8 \pm 14,0$  уд/мин, оценка по шкале Борга составила  $6 \pm 3$  балла. Одномоментный регрессионный анализ показал отрицательную связь степени поражения легочной ткани с пройденной дистанцией,  $SpO_2$  покоя и после нагрузки и положительную – с ЧСС покоя. Множественный регрессионный анализ указал на тенденцию к большему снижению пройденной дистанции и более значительному увеличению ЧСС покоя у мужчин в сравнении с женщинами, а также на повышение пройденной дистанции и снижение ЧСС покоя у пациентов с хроническим сахарным диабетом в анамнезе по мере роста степени поражения легочной ткани. Таким образом, увеличение степени поражения легочной ткани связано со снижением функциональных возможностей пациентов, однако степень снижения может зависеть от отягощенного анамнеза и пола.

**Ключевые слова:** коронавирусная пневмония, компьютерная томография легких, степень поражения легочной ткани, последствия COVID-19, функциональные возможности пациентов, проба с ходьбой, пульсомониторная реабилитация, пол пациентов.

**Ответственный за переписку:** Борчев Кирилл Федорович, адрес: 236005, г. Калининград, ул. Летняя, д. 3; e-mail: k.f.borchev@gmail.com

*Для цитирования:* Борчев К.Ф. Связь степени поражения легочной ткани с функциональными возможностями пациентов, переболевших коронавирусной пневмонией // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 440–450. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z165>

Original article

## Association Between the Degree of Lung Tissue Damage and Functional Capacity in Patients After COVID-19 Pneumonia

Kirill F. Borchev\*/\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5541-8402>

\*Kaliningrad State Technical University  
(Kaliningrad, Russian Federation)  
\*\*Central City Clinical Hospital  
(Kaliningrad, Russian Federation)

**Abstract.** Many COVID-19 survivors face various functional disorders. The **purpose** of this article was to determine the association between the degree of lung tissue damage and functional capacity of patients after COVID-19 pneumonia. **Materials and methods.** We examined patients ( $n = 264$ ) aged 46–86 years that had suffered moderate or severe COVID-19 and undergone treatment for bilateral multisegmental pneumonia followed by rehabilitation. Functional capacity was measured using a walk test (at a normal pace to the first signs of exhaustion), taking into account heart rate (HR) and peripheral oxygen saturation ( $SpO_2$ ). The association between the degree of lung tissue damage and test results was analysed using simple and multiple regression analysis. Regression models included the following variables: walking distance, HR and  $SpO_2$  at rest and after the test, as well as demographic and clinical characteristics of patients. **Results.** At normal values of resting  $SpO_2$  ( $96.3 \pm 1.6\%$ ) and resting HR ( $81.4 \pm 12.1$  bpm), fatigue occurred after walking the distance of  $130.3 \pm 96.4$  m,  $SpO_2$  decreased to  $93.8 \pm 3.5\%$ , HR increased to  $96.8 \pm 14.0$  bpm, the Borg score was  $6 \pm 3$  points. Simple regression analysis showed a negative association of the degree of lung tissue damage with walking distance as well as with resting and after-test  $SpO_2$  and a positive association with resting HR. Multiple regression analysis indicated a tendency towards a greater decrease in walking distance and a larger increase in resting HR in men compared to women as well as an increase in walking distance and a reduction in resting HR in patients with chronic diabetes as the degree of lung tissue damage increased. Thus, greater degree of lung tissue damage is associated with decreased functional capacity in patients; however, the extent of this decrease may depend on their burdened history and sex.

**Keywords:** COVID-19 pneumonia, lung computed tomography, degree of lung tissue damage, consequences of COVID-19, patient's functional capacity, walk test, pulmonary rehabilitation, patient's sex.

**For citation:** Borchev K.F. Association Between the Degree of Lung Tissue Damage and Functional Capacity in Patients After COVID-19 Pneumonia. *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 440–450. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z165>

---

**Corresponding author:** Kirill Borchev, address: ul. Letnyaya 3, Kaliningrad, 236005, Russian Federation; e-mail: k.f.borchev@gmail.com

Несмотря на то что за время пандемии во всем мире 98 % заболевших COVID-19 и госпитализированных выжили [1], многие из них столкнулись с последствиями в виде нарушенной респираторной функции [2], которые также наблюдаются у лиц с хроническими респираторными заболеваниями, такими как хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) и др. Пациенты, перенесшие COVID-19, на этапе раннего восстановления имели сниженную функциональную способность и выраженную одышку при выполнении физических упражнений [3]. Также после пневмонии, ассоциированной с COVID-19, даже при нормоксемии в покое отмечалась более тяжелая степень десатурации во время физической нагрузки, чем, например, при ХОБЛ [4].

Одним из нарушений функциональных возможностей, с которым сталкиваются многие пациенты после перенесенного COVID-19, является гипервентиляция при физической активности. Она может быть следствием патологических изменений структуры и функции легочной ткани [5, 6], а также может быть связана с различными вторичными факторами: от нарушений в системе кровообращения [7] и повышенной чувствительности периферического хеморефлекса [3] до прямого воздействия вируса на мышечные ткани, в т. ч. миокарда [8].

В дополнение, показана связь между снижением физической работоспособности у пациентов с COVID-19 и потерей их самостоятельности [9], уменьшение силы скелетных мышц и физической работоспособности после болезни, даже если до заболевания не было проблем с опорно-двигательным аппаратом [10, 11]. При этом длительное пребывание в больнице может усугублять нарушения, усиливая функциональные ограничения. В то же время выявлено, что даже короткий курс пульмонологической реабилитации способен существенно улучшить состояние пациентов, уменьшая одышку, и по-

высить их функциональные возможности (хотя они все равно остаются сниженными) [10, 11]. Это подчеркивает необходимость реабилитационных программ после выписки и анализа результатов вмешательств.

Цель настоящей работы – дополнить информацию о восстановлении пациентов, переболевших коронавирусной пневмонией, после короткого курса реабилитации в условиях пандемии COVID-19, определив связь между функциональными возможностями и степенью поражения легких с учетом демографических и клинических данных пациентов.

**Материалы и методы.** Проведенное неконтролируемое клиническое исследование представляет собой вторичный анализ данных [12].

Изучены сведения о 264 пациентах (169 мужчинах и 95 женщинах), которые проходили лечение (в течение  $25,1 \pm 8,2$  дня) и реабилитацию 2-го этапа (в течение  $16,9 \pm 3,8$  дня) в многопрофильном стационаре Центральной городской клинической больницы г. Калининграда в условиях пандемии COVID-19 с 1 марта 2021 года по 1 февраля 2022 года. Возраст пациентов составил 46–86 лет. Все они имели диагноз «двухсторонняя полисегментарная пневмония, ассоциированная с COVID-19», в средней или тяжелой форме и в ходе реабилитации продемонстрировали статистически значимые улучшения физической и дыхательной функции [12]. Не было зарегистрировано серьезных нежелательных явлений, и не происходило отсева участников, связанного с ухудшением здоровья.

Индекс массы тела обследуемых рассчитывался как отношение массы тела в килограммах к росту в квадратных метрах. Степень поражения легочной ткани оценивалась на основании компьютерной томографии легкого (КТ) долями:  $KT_1$  – до 25 %,  $KT_2$  – от 25 до 50 %,  $KT_3$  – от 50 до 75 %,  $KT_4$  – от 75 % (согласно имеющимся рекомендациям<sup>1</sup>).

<sup>1</sup>Временные методические рекомендации: Медицинская реабилитация при новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 3 (01.11.2022) / М-во здравоохранения Рос. Федерации. URL: [https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/061/202/original/%D0%92%D0%9A%D0%A0\\_%D0%9C%D0%A0\\_COVID\\_19\\_%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%8F\\_07112022\\_%D0%B1%D0%B5%D0%B7\\_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%BA.pdf?1669800267](https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/061/202/original/%D0%92%D0%9A%D0%A0_%D0%9C%D0%A0_COVID_19_%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%8F_07112022_%D0%B1%D0%B5%D0%B7_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%BA.pdf?1669800267) (дата обращения: 11.11.2023).

Функциональные возможности пациентов определялись при помощи теста «Ходьба до первых признаков утомления в привычном темпе». Процедура состояла в следующем: после 5-минутного отдыха в спокойном сидячем положении, во время которого пациенты получали инструкцию о выполнении теста, измерялись частота сердечных сокращений (ЧСС) и уровень насыщения оксигемоглобином артериальной крови ( $SpO_2$ , %) при помощи портативного пульсоксиметра Contec PM50 (Китай). Далее пациенты проходили дистанцию по коридору до первых признаков утомления или появления стоп-сигналов, стараясь преодолеть максимальное расстояние в своем размеренном темпе. Во время ходьбы разрешалось подбадривать больных фразами «Все идет хорошо», «Продолжайте в том же темпе». В конце теста оценивались  $SpO_2$ , ЧСС, утомление по шкале Борга. Тестирование немедленно прекращалось при появлении стоп-сигналов: усиление одышки, повышение ЧСС более чем на 50 % от исходной величины или снижение ЧСС при нагрузке,  $SpO_2 < 93$  % или снижение показателя на 4 % при нагрузке, частота дыхания более 25 раз в минуту, чувство стеснения в груди, головокружение, головная боль, помутнение сознания, потливость, чувство нехватки воздуха, резкая общая слабость, тошнота, отказ больного от дальнейшего проведения пробы, оценка по шкале Борга выше 4 баллов.

Для определения связи степени поражения легочной ткани и функциональных возможностей пациентов использовались одномоментная и множественная регрессионные модели. Одномоментный регрессионный анализ включал показатели: пройденная дистанция в метрах,  $SpO_2$  и ЧСС в покое и после пройденной дистанции. Во множественную линейную регрессию добавили характеристики пациентов (пол, возраст, признаки ожирения ( $ИМТ > 25$  кг/м<sup>2</sup>) и наличие хронических заболеваний в анамнезе: артериальной гипертензии, ишемической болезни сердца, сахарного диабета, респираторных заболеваний (переменные «пол» и «сопутствующие заболевания») были представлены

количественно: женский – 1, мужской – 2; отсутствие заболевания – 0, наличие – 1).

Для уточнения информации о пациентах был использован *t*-критерий Стьюдента, на основании которого были проанализированы различия функциональных возможностей между мужчинами и женщинами, а также пациентов с сахарным диабетом и без него.

Уровень значимости был установлен как  $p < 0,05$ . Расчеты производились в JASP 0.14.1.

**Результаты.** Большинство выборки составили мужчины (64 %). Около 1/3 пациентов (62 чел., или 23 %) имели степень поражения легочной ткани  $КТ_1$ , при этом 118 чел. (43 %) –  $КТ_2$ , 80 чел. (30 %) –  $КТ_3$ , а 4 % –  $КТ_4$ . У большей части участников исследования (194 чел., или 76 %) была избыточная масса тела ( $ИМТ > 25$  кг/м<sup>2</sup>). Что касается сопутствующих заболеваний, то 181 (69 %) пациент страдал артериальной гипертензией, 103 чел. (39 %) – ишемической болезнью сердца, 71 чел. (26 %) – сахарным диабетом и 33 чел. (12 %) – респираторными заболеваниями. Средний срок пребывания в стационаре, который включал лечение и реабилитацию, составил 42 дня (время лечения –  $25,1 \pm 8,2$  дня; реабилитации –  $16,9 \pm 3,8$  дня).

После лечения и комплексной реабилитации пациенты в среднем по выборке имели  $SpO_2$  покоя 96,3 (95%ДИ: 93,4...99,0) %, а ЧСС покоя – 81,4 (95%ДИ: 63,4...100,0) уд/мин. Только 50 % пациентов были способны пройти расстояние более 100 м без появления симптомов утомления, при этом средняя пройденная дистанция составила 130,3 (95%ДИ: 14,0...340,0) м. После нагрузки  $SpO_2$  был 93,8 (95%ДИ: 87,4...98,0) %, у 50 % пациентов  $SpO_2$  стал ниже 95 %, изменения параметра в среднем по выборке – 2,8 (95%ДИ: 0...8) %. ЧСС после нагрузки в среднем была на уровне 96,8 (95%ДИ: 72,3...119,6) уд/мин, при этом 50 % пациентов имели ЧСС после нагрузки выше 94 уд/мин, изменение параметра в среднем по выборке составило 15,8 (95% ДИ: 4,0...33,0) уд/мин. При этом пациенты испытывали сильные неприятные ощущения, связанные с сердцебиением, одышкой, уста-

лостью (утомление по модифицированной шкале Борга в среднем равнялось 6 (95%ДИ: 3...7) баллам), заставляющие их остановиться.

В *таблице* представлены результаты одно-моментной и множественной пошаговой линейной регрессии. Простая линейная регрессия показала отрицательную связь степени поражения легочной ткани с пройденной дистанцией ( $\beta = -0,002$  (95%ДИ:  $-0,003...-0,001$ ),

$p = 0,001$ ), SpO<sub>2</sub> в покое ( $\beta = -0,091$  (95%ДИ:  $-0,150...-0,032$ ),  $p = 0,003$ ), SpO<sub>2</sub> после пройденной дистанции ( $\beta = -0,045$  (95%ДИ:  $-0,074...-0,016$ ),  $p = 0,003$ ) и положительную связь с ЧСС покоя ( $\beta = 0,014$  (95%ДИ:  $0,006...0,021$ ),  $p < 0,001$ ).

Множественная линейная регрессия продемонстрировала корреляции, свидетельствующие об умеренной зависимости между степе-

**Ассоциация степени поражения легочной ткани с функциональными возможностями пациентов ( $n = 264$ ), прошедших курс лечения и реабилитации после перенесенного COVID-19, по данным регрессионного анализа**

**Association between the degree of lung tissue damage and functional capacity in patients ( $n = 264$ ) who underwent treatment and rehabilitation after COVID-19, according to regression analysis**

Фактор	$\beta$ (95%ДИ)	$p$ -value
<i>Одномоментный регрессионный анализ</i>		
Пройденная дистанция, м	-0,002 (-0,003...-0,001)	<b>0,001</b>
SpO <sub>2</sub> в покое	-0,091 (-0,150...-0,032)	<b>0,003</b>
SpO <sub>2</sub> после пройденной дистанции	-0,045 (-0,074...-0,016)	<b>0,003</b>
ЧСС в покое	0,014 (0,006...0,021)	<b>&lt;0,001</b>
ЧСС после пройденной дистанции	0,006 (-0,002...0,013)	0,076
<i>Множественный регрессионный анализ, модель 1 (<math>R = 0,344</math>, <math>R^2 = 0,118</math>, <math>p &lt; 0,001</math>)</i>		
Пройденная дистанция, м	-0,001 (-0,002...-0,001)	<b>0,019</b>
SpO <sub>2</sub> в покое	-0,034 (-0,112...0,043)	0,385
SpO <sub>2</sub> после пройденной дистанции	-0,013 (-0,048...0,023)	0,484
ЧСС в покое	0,016 (0,003...0,028)	<b>0,013</b>
ЧСС после пройденной дистанции	-0,003 (-0,014...0,008)	0,617
<i>Множественный регрессионный анализ, модель 2 (<math>R = 0,512</math>, <math>R^2 = 0,262</math>, <math>p &lt; 0,001</math>)</i>		
Пройденная дистанция, м	-0,001 (-0,003...-0,001)	<b>0,009</b>
SpO <sub>2</sub> в покое	-0,042 (-0,119...0,034)	0,272
SpO <sub>2</sub> после пройденной дистанции	-0,013 (-0,047...0,020)	0,435
ЧСС в покое	0,014 (0,003...0,026)	<b>0,017</b>
ЧСС после пройденной дистанции	-0,002 (-0,012...0,008)	0,703
Пол*	0,264 (0,454...0,073)	<b>0,007</b>
Возраст (46–86 лет)	-0,002 (-0,012...0,001)	0,735
ИМТ > 25 кг/м <sup>2</sup>	-0,085 (-0,302...0,131)	0,438
Гипертоническая болезнь**	-0,019 (-0,098...0,059)	0,629
Ишемическая болезнь сердца**	0,011 (-0,195...0,217)	0,917
Сахарный диабет**	-0,322 (-0,540...-0,104)	<b>0,004</b>
Респираторные заболевания**	0,118 (-0,162...0,398)	0,406

*Примечание.* Обозначения: \* – референтная группа – мужской пол; \*\* – референтная группа – наличие признака. Полужирным шрифтом выделены статистически значимые взаимосвязи.

нию поражения легочной ткани и параметрами функциональных возможностей пациентов ( $R = 0,344$ ,  $p < 0,001$ ), предсказав 12 % дисперсии результатов ( $R^2 = 0,118$ ). В модели 1 увеличение степени поражения легочной ткани ассоциировалось с повышением ЧСС покоя ( $\beta = 0,016$  (95%ДИ: 0,003...0,028),  $p = 0,013$ ) и снижением расстояния, которое пациенты могли пройти без появления симптомов утомления ( $\beta = -0,001$  (95%ДИ: -0,002...-0,001),  $p = 0,019$ ). Добавление демографических и клинических переменных усилило модель ( $R = 0,512$ ,  $p < 0,001$ ), расширенная модель 2 предсказала 26 % дисперсии ( $\Delta R^2 = 0,144$ ) и показала более сильную связь степени нарушения легочной ткани с пройденным расстоянием ( $\Delta p = 0,010$ ), однако связь с ЧСС покоя незначительно снизилась ( $\Delta p = -0,004$ ).

Пройденная дистанция и ЧСС покоя не различались между мужчинами и женщинами ( $p = 0,997$  и  $p = 0,632$  соответственно). Однако после учета демографических данных в множественной регрессии пол оказался ассоциирован со степенью поражения легочной ткани ( $\beta = 0,264$  (95%ДИ: 0,454...0,073),  $p = 0,007$ ), указывая на тенденцию к большему снижению пройденной дистанции и более значительному росту ЧСС покоя у мужчин в сравнении с женщинами по мере увеличения степени поражения легочной ткани (см. модель 2 в *таблице*).

Группы пациентов с диагностированным хроническим сахарным диабетом в анамнезе и без него в среднем не различались по пройденной дистанции ( $p = 0,632$ ) и ЧСС покоя ( $p = 0,779$ ). В то же время зафиксированная в модели 2 значимая отрицательная ассоциация наличия сахарного диабета ( $\beta = -0,322$  (95%ДИ: -0,540...-0,104),  $p = 0,004$ ) со степенью поражения легочной ткани (см. *таблицу*) указывает на повышение пройденной дистанции и снижение ЧСС покоя у пациентов с хроническим сахарным диабетом в анамнезе по мере увеличения степени поражения легочной ткани, в отличие от лиц без диабета.

Пересекающиеся ассоциации множественной регрессионной модели – степени пораже-

ния легочной ткани с пройденной дистанцией, ЧСС покоя, полом и сахарным диабетом – свидетельствуют о том, что пациенты мужского пола без сахарного диабета имели наименьшие значения пройденной дистанции и наибольшие значения ЧСС покоя в сравнении с остальными пациентами.

Во множественной регрессионной модели не было выявлено ассоциаций возраста, признаков ожирения на основании ИМТ, наличия артериальной гипертензии, респираторных патологий в анамнезе со степенью поражения легочной ткани ( $p > 0,05$ ). Это говорит о том, что указанные переменные не оказали значимого эффекта на регрессию, демонстрирующую ассоциацию степени поражения легочной ткани с функциональными возможностями пациентов (см. *таблицу*).

**Обсуждение.** Изучение данных пациентов 46–86 лет, перенесших тяжелую форму COVID-19, после 42-дневного пребывания в условиях стационара, включая реабилитацию (в среднем  $16,9 \pm 3,8$  дня), выявило связь степени поражения легких с функциональными возможностями: отрицательную – с пройденной дистанцией до появления признаков утомления и положительную – с ЧСС покоя. Мужской пол и наличие сахарного диабета в анамнезе усиливали эту связь, указывая на потенциальное влияние данных факторов на переносимость физической нагрузки.

Исследование, проведенное в Мексике, показало, что пациенты среднего возраста с COVID-19 через 61 (95%ДИ: 50...75) день после начала заболевания в среднем способны проходить расстояние свыше 400 м; данные не различались при среднетяжелой и тяжелой формах течения COVID-19, хотя пациенты с легким течением проходили большее расстояние [13]. Наше исследование продемонстрировало, что через 42 дня с момента госпитализации в остром состоянии, вызванном COVID-19, после лечения и реабилитации пациенты проходили дистанцию ниже нормированных значений. При этом, несмотря на патологические изменения легочной ткани,  $SpO_2$  и ЧСС покоя

у пациентов были в пределах нормы, но даже небольшой объем нагрузки вызывал у них ощущения, заставляющие остановиться (как, например, в работе [14]), при этом  $SpO_2$  снижался до клинических значимых показателей (<93 %), а ЧСС незначительно повышалась (в среднем до 96,8 уд/мин). Предыдущие исследования также отмечали характерное для постковидного синдрома снижение  $SpO_2$  после физической нагрузки [4].

Хотя в нашем исследовании в одномоментной регрессионной модели степень поражения легочной ткани была связана с ЧСС покоя и  $SpO_2$  покоя и после нагрузки, во множественной регрессионной модели при добавлении возраста, пола и сопутствующих заболеваний эта связь, кроме ЧСС покоя, стала незначимой (см. *таблицу*). В то же время в литературе нет однозначного ответа на вопрос о связи степени поражения легочной ткани с уровнем кислорода в крови. Другие исследования установили, что насыщение оксигемоглобином и ЧСС обуславливаются множеством внутренних факторов и могут быть системно спровоцированы тяжестью заболевания и вызванными изменениями в функции легких [3, 5–8]. Повышение пульса в покое может быть связано с нарушениями со стороны вегетативной нервной системы, которые часто развиваются в условиях продолжительной госпитализации [15]. Отмечено, что у лиц, перенесших COVID-19, в течение первого месяца после выздоровления выраженно наблюдается мультисистемное снижение функционирования, которое не возвращается к исходному уровню на протяжении 6–12 месяцев, при этом лечение острой фазы в стационаре усиливает последствия. Наиболее длительными симптомами являются: нарушение толерантности к физической нагрузке и повышенная утомляемость [16].

Множество гипотез и предположений о характере интегративного патогенетического влияния COVID-19 на функциональные возможности лишь усложняет понимание этого вопроса. Однако вполне вероятно, что патофизиологические последствия, вызванные инфекцией, спо-

собствуют снижению функциональных способностей. В исследованиях продемонстрировано, что у пациентов с постоянной одышкой более низкие форсированная жизненная емкость легкого, форсированный объем выдоха в 1 с и большая частота встречаемости патологических двигательных паттернов дыхательной мускулатуры по сравнению с пациентами без постоянной одышки [17]. Высокая степень поражения легочной ткани обуславливает функциональные нарушения дыхательной системы, отрицательно сказываясь на способности задерживать дыхание [18]. Другими учеными подтверждается, что пациенты с тяжелой формой пневмонии из-за COVID-19 часто имеют аномальные показатели спирометрии и признаки остаточного фиброза на рентгеновских снимках грудной клетки. Эти изменения нередко сопряжены с устойчивой одышкой и нарушениями газообмена в легких как в покое, так и при физической активности [19]. Известно, что одышка часто сопровождается гипоксемией во время острой стадии COVID-19 [17]. Данный факт согласуется с нашими результатами, где увеличение степени поражения легочной ткани ассоциировалось с уменьшением дистанции, пройденной пациентами до наступления симптомов утомления (гипоксемии, одышки, чувства нехватки воздуха, сердцебиения, резкой общей слабости).

Мужчины в нашем исследовании характеризовались большими негативными последствиями COVID-19 в сравнении с женщинами: снижением пройденной дистанции, увеличением ЧСС покоя и степени поражения легочной ткани (модель 2 в *таблице*). Ранее было отмечено, что мужчины более подвержены развитию тяжелого острого респираторного дистресс-синдрома во всех известных пандемиях коронавируса: SARS-CoV и MERS-CoV, COVID-19. В то же время основная причина того, почему мужчины сталкиваются с более тяжелыми последствиями COVID-19, еще не совсем понятна, хотя предложены различные гипотезы [20]. Более высокие риски экспрессии факторов ввода SARS-CoV-2 в специфиче-

ские клетки мужских репродуктивных органов и их андрогенной регуляции могут быть биологическими причинами осложнений у мужчин. Напротив, эстроген-опосредованная регуляция множественных генов иммунного ответа может обуславливать сравнительно лучшее течение заболевания у женщин. С другой стороны, неблагоприятные последствия COVID-19 могут усугубляться сердечно-сосудистыми и легочными заболеваниями, а распространение этих заболеваний у мужчин, как правило, выше, что объясняется курением и употреблением алкоголя. Исследования эпидемиологов показывают важную роль поведенческих факторов – женщины примерно на 50 % чаще практикуют мытье рук, использование масок для лица и избегание толпы по сравнению с мужчинами, что также дает им некоторое преимущество [21, 22].

Интересно, что в нашем исследовании сахарный диабет в анамнезе пациентов был ассоциирован с меньшим поражением легочной ткани (см. модель 2 в *таблице*), пройденное расстояние в тесте с ходьбой было выше у пациентов, перенесших COVID-19, имеющих в анамнезе сахарный диабет. Скорее всего, такая ассоциация объясняется высокой смертностью от COVID-19 тяжелобольных пациентов с сопутствующим сахарным диабетом и большей выживаемостью лиц, имеющих меньшую степень поражения легочной ткани [14]. В то же время в нашем исследовании более высокие функциональные возможности среди пациентов с сахарным диабетом демонстрировали женщины, что согласуется с предыдущими исследованиями о преимуществах женщин в борьбе с патогеном [22]. С другой стороны, хронический диабет предполагает дисциплинированность в приеме препаратов, что также в большей степени характерно для женщин [21]. Хотя полученные нами данные, что пациенты мужского пола без сахарного диабета имели наименьшие

значения пройденной дистанции и наибольшие значения ЧСС покоя в сравнении с остальными пациентами, могут указывать на значительное влияние полового диморфизма на результаты оценки функциональных способностей пациентов, перенесших COVID-19.

Воздействие всех этих мультисистемных изменений на функциональную способность пациентов во время выписки из больницы после COVID-19 до сих пор недостаточно изучено, хотя анализ случаев COVID-19 и результатов восстановления выявил несколько предикторов тяжести данного заболевания и смертности от него: возраст, гипертоническая болезнь и сердечно-сосудистые заболевания, диабет, хроническое заболевание почек, хроническая обструктивная болезнь легких, рак, иммунодефицит, увеличение количества сопутствующих заболеваний в анамнезе [23]. Ко всему прочему, во всем мире наблюдается тенденция к большему количеству сопутствующих заболеваний у мужчин, чем у женщин того же возраста; это ставит мужчин в более невыгодное положение, предполагающее высокий риск тяжелых последствий. Эпидемиологические данные также показывают, что мужской пол находится в зоне риска в отношении тяжести COVID-19 и смертности от данного заболевания [22].

Итак, исследование коморбидных пациентов с диагнозом «двухсторонняя полисегментарная пневмония, ассоциированная с COVID-19» в тяжелой и среднетяжелой формах, прошедших лечение острой фазы и последующую программу реабилитации в стационаре, показало, что с увеличением степени поражения легочной ткани функциональные возможности таких лиц снижаются, в то же время объем остаточного поражения легочной ткани в восстановительном периоде может быть связан с полом и сопутствующими хроническими заболеваниями.

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

## Список литературы

1. *Sohrabi C., Alsafi Z., O'Neill N., Khan M., Kerwan A., Al-Jabir A., Iosifidis C., Agha R.* World Health Organization Declares Global Emergency: A Review of the 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) // *Int. J. Surg.* 2020. Vol. 76. P. 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.ijisu.2020.02.034>
2. *Torres-Castro R., Vasconcello-Castillo L., Alsina-Restoy X., Solis-Navarro L., Burgos F., Puppo H., Vilaró J.* Respiratory Function in Patients Post-Infection by COVID-19: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Pulmonology.* 2021. Vol. 27, № 4. P. 328–337. <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2020.10.013>
3. *Baratto C., Caravita S., Faini A., Perego G.B., Senni M., Badano L.P., Parati G.* Impact of COVID-19 on Exercise Pathophysiology: A Combined Cardiopulmonary and Echocardiographic Exercise Study // *J. Appl. Physiol.* 2021. Vol. 130, № 5. P. 1470–1478. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00710.2020>
4. *Vitacca M., Paneroni M., Brunetti G., Carlucci A., Balbi B., Spanevello A., Ambrosino N.* Characteristics of COVID-19 Pneumonia Survivors with Resting Normoxemia and Exercise-Induced Desaturation // *Respir. Care.* 2021. Vol. 66, № 11. P. 1657–1664. <https://doi.org/10.4187/respcare.09029>
5. *Wang Y., Dong C., Hu Y., Li C., Ren Q., Zhang X., Shi H., Zhou M.* Temporal Changes of CT Findings in 90 Patients with COVID-19 Pneumonia: A Longitudinal Study // *Radiology.* 2020. Vol. 296, № 2. P. E55–E64. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200843>
6. *Mo X., Jian W., Su Z., Chen M., Peng H., Peng P., Lei C., Chen R., Zhong N., Li S.* Abnormal Pulmonary Function in COVID-19 Patients at Time of Hospital Discharge // *Eur. Respir. J.* 2020. Vol. 55, № 6. Art. № 2001217. <https://doi.org/10.1183/13993003.01217-2020>
7. *Liu X., Zhang R., He G.* Hematological Findings in Coronavirus Disease 2019: Indications of Progression of Disease // *Ann. Hematol.* 2020. Vol. 99, № 7. P. 1421–1428. <https://doi.org/10.1007/s00277-020-04103-5>
8. *Rinaldo R.F., Mondoni M., Parazzini E.M., Pitari F., Brambilla E., Luraschi S., Balbi M., Sferrazza Papa G.F., Sotgiu G., Guazzi M., Di Marco F., Centanni S.* Deconditioning as Main Mechanism of Impaired Exercise Response in COVID-19 Survivors // *Eur. Respir. J.* 2021. Vol. 58, № 2. Art. № 2100870. <https://doi.org/10.1183/13993003.00870-2021>
9. *Pizarro-Pennarolli C., Sánchez-Rojas C., Torres-Castro R., Vera-Urbe R., Sanchez-Ramirez D.C., Vasconcello-Castillo L., Solís-Navarro L., Rivera-Lillo G.* Assessment of Activities of Daily Living in Patients Post COVID-19: A Systematic Review // *PeerJ.* 2021. Vol. 9. Art. № e11026. <https://doi.org/10.7717/peerj.11026>
10. *Ahmed I., Mustafaoglu R., Yeldan I., Yasaci Z., Erhan B.* Effect of Pulmonary Rehabilitation Approaches on Dyspnea, Exercise Capacity, Fatigue, Lung Functions, and Quality of Life in Patients with COVID-19: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2022. Vol. 103, № 10. P. 2051–2062. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2022.06.007>
11. *Paneroni M., Simonelli C., Saleri M., Bertacchini L., Venturelli M., Troosters T., Ambrosino N., Vitacca M.* Muscle Strength and Physical Performance in Patients Without Previous Disabilities Recovering from COVID-19 Pneumonia // *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 2021. Vol. 100, № 2. P. 105–109. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001641>
12. *Борчев К.Ф., Бондарев Д.В., Муромцев А.Б., Печерная Н.В.* Изменения дыхательной и физической функций у пациентов среднего и пожилого возраста, перенесших COVID-19, после программы комплексной реабилитации // *Успехи геронтологии.* 2021. Т. 34, № 6. С. 934–940. <https://doi.org/10.34922/AE.2021.34.6.016>
13. *Wong A.W., López-Romero S., Figueroa-Hurtado E., Vazquez-Lopez S., Milne K.M., Ryerson C.J., Guenette J.A., Cortés-Telles A.* Predictors of Reduced 6-Minute Walk Distance After COVID-19: A Cohort Study in Mexico // *Pulmonology.* 2021. Vol. 27, № 6. P. 563–565. <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2021.03.004>
14. *Брико Н.И., Кориунов В.А., Краснова С.В., Проценко Д.Н., Глазовская Л.С., Гостищев Р.В., Салтыкова Т.С., Чернявская О.П., Поздняков А.А., Лабанович В.В., Канеев А.И.* Клинико-эпидемиологические особенности пациентов, госпитализированных с COVID-19 в различные периоды пандемии в Москве // *Журн. микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии.* 2022. Т. 99, № 3. С. 287–299. <https://doi.org/10.36233/0372-9311-272>
15. *Blitshteyn S., Whitelaw S.* Postural Orthostatic Tachycardia Syndrome (POTS) and Other Autonomic Disorders After COVID-19 Infection: A Case Series of 20 Patients // *Immunol. Res.* 2021. Vol. 69, № 2. P. 205–211. <https://doi.org/10.1007/s12026-021-09185-5>
16. *Мишина И.Е., Чистякова Ю.В., Пчелинцева Е.В., Митряева И.В., Фокичева С.О., Березина Е.В., Бендин Д.С.* Эффективность медицинской реабилитации больных после новой коронавирусной инфекции в условиях дневного стационара // *Вестн. восстанов. медицины.* 2022. Т. 21, № 3. С. 9–23. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-3-9-23>

17. Cortés-Telles A., López-Romero S., Figueroa-Hurtado E., Pou-Aguilar Y.N., Wong A.W., Milne K.M., Ryerson C.J., Guenette J.A. Pulmonary Function and Functional Capacity in COVID-19 Survivors with Persistent Dyspnoea // *Respir. Physiol. Neurobiol.* 2021. Vol. 288. Art. № 103644. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2021.103644>
18. Борчев К.Ф. Ассоциация степени поражения легочной ткани с временем произвольной задержки дыхания у взрослых лиц, перенесших COVID-19 // *Журн. мед.-биол. исследований.* 2022. Т. 10, № 4. С. 307–316. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z115>
19. Eksombatchai D., Wongsinin T., Phongnarudech T., Thammavaranucupt K., Amornputtisathaporn N., Sungkanuparph S. Pulmonary Function and Six-Minute-Walk Test in Patients After Recovery from COVID-19: A Prospective Cohort Study // *PLoS One.* 2021. Vol. 16, № 9. Art. № e0257040. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257040>
20. Kumar A., Narayan R.K., Kulandhasamy M., Prasoon P., Kumari C., Kumar S., Pareek V., Sesham K., Shekhawat P.S., Kant K., Kumar S. COVID-19 Pandemic: Insights into Molecular Mechanisms Leading to Sex-Based Differences in Patient Outcomes // *Expert Rev. Mol. Med.* 2021. № 23. Art. № e7. <https://doi.org/10.1017/erm.2021.9>
21. Moran K.R., Del Valle S.Y. A Meta-Analysis of the Association Between Gender and Protective Behaviors in Response to Respiratory Epidemics and Pandemics // *PLoS One.* 2016. Vol. 11, № 10. Art. № e0164541. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164541>
22. Alwani M., Yassin A., Al-Zoubi R.M., Aboumarzouk O.M., Nettleship J., Kelly D., Al-Qudimat A.R., Shabsigh R. Sex-Based Differences in Severity and Mortality in COVID-19 // *Rev. Med. Virol.* 2021. Vol. 31, № 6. Art. № e2223. <https://doi.org/10.1002/rmv.2223>
23. Guan W.J., Liang W.H., Zhao Y., Liang H.R., Chen Z.S., Li Y.M., Liu X.Q., Chen R.C., Tang C.L., Wang T., et al. China Medical Treatment Expert Group for COVID-19. Comorbidity and Its Impact on 1590 Patients with COVID-19 in China: A Nationwide Analysis // *Eur. Respir. J.* 2020. Vol. 55, № 5. Art. № 2000547. <https://doi.org/10.1183/13993003.00547-2020>

## References

1. Sohrabi C., Alsafi Z., O'Neill N., Khan M., Kerwan A., Al-Jabir A., Iosifidis C., Agha R. World Health Organization Declares Global Emergency: A Review of the 2019 Novel Coronavirus (COVID-19). *Int. J. Surg.*, 2020, vol. 76, pp. 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.ijisu.2020.02.034>
2. Torres-Castro R., Vasconcello-Castillo L., Alsina-Restoy X., Solis-Navarro L., Burgos F., Puppo H., Vilaró J. Respiratory Function in Patients Post-Infection by COVID-19: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pulmonology*, 2021, vol. 27, no. 4, pp. 328–337. <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2020.10.013>
3. Baratto C., Caravita S., Faini A., Perego G.B., Senni M., Badano L.P., Parati G. Impact of COVID-19 on Exercise Pathophysiology: A Combined Cardiopulmonary and Echocardiographic Exercise Study. *J. Appl. Physiol.*, 2021, vol. 130, no. 5, pp. 1470–1478. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00710.2020>
4. Vitacca M., Paneroni M., Brunetti G., Carlucci A., Balbi B., Spanevello A., Ambrosino N. Characteristics of COVID-19 Pneumonia Survivors with Resting Normoxemia and Exercise-Induced Desaturation. *Respir. Care*, 2021, vol. 66, no. 11, pp. 1657–1664. <https://doi.org/10.4187/respcare.09029>
5. Wang Y., Dong C., Hu Y., Li C., Ren Q., Zhang X., Shi H., Zhou M. Temporal Changes of CT Findings in 90 Patients with COVID-19 Pneumonia: A Longitudinal Study. *Radiology*, 2020, vol. 296, no. 2, pp. E55–E64. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200843>
6. Mo X., Jian W., Su Z., Chen M., Peng H., Peng P., Lei C., Chen R., Zhong N., Li S. Abnormal Pulmonary Function in COVID-19 Patients at Time of Hospital Discharge. *Eur. Respir. J.*, 2020, vol. 55, no. 6. Art. no. 2001217. <https://doi.org/10.1183/13993003.01217-2020>
7. Liu X., Zhang R., He G. Hematological Findings in Coronavirus Disease 2019: Indications of Progression of Disease. *Ann. Hematol.*, 2020, vol. 99, no. 7, pp. 1421–1428. <https://doi.org/10.1007/s00277-020-04103-5>
8. Rinaldo R.F., Mondoni M., Parazzini E.M., Pitari F., Brambilla E., Luraschi S., Balbi M., Sferrazza Papa G.F., Sotgiu G., Guazzi M., Di Marco F., Centanni S. Deconditioning as Main Mechanism of Impaired Exercise Response in COVID-19 Survivors. *Eur. Respir. J.*, 2021, vol. 58, no. 2. Art. no. 2100870. <https://doi.org/10.1183/13993003.00870-2021>
9. Pizarro-Pennarolli C., Sánchez-Rojas C., Torres-Castro R., Vera-Urbe R., Sanchez-Ramirez D.C., Vasconcello-Castillo L., Solis-Navarro L., Rivera-Lillo G. Assessment of Activities of Daily Living in Patients Post COVID-19: A Systematic Review. *PeerJ*, 2021, vol. 9. Art. no. e11026. <https://doi.org/10.7717/peerj.11026>

10. Ahmed I., Mustafaoglu R., Yeldan I., Yasaci Z., Erhan B. Effect of Pulmonary Rehabilitation Approaches on Dyspnea, Exercise Capacity, Fatigue, Lung Functions, and Quality of Life in Patients with COVID-19: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 2022, vol. 103, no. 10, pp. 2051–2062. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2022.06.007>
11. Paneroni M., Simonelli C., Saleri M., Bertacchini L., Venturelli M., Troosters T., Ambrosino N., Vitacca M. Muscle Strength and Physical Performance in Patients Without Previous Disabilities Recovering from COVID-19 Pneumonia. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, 2021, vol. 100, no. 2, pp. 105–109. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001641>
12. Borchev K.F., Bondarev D.V., Muromtsev A.B., Pechernaya N.V. Changes in Respiratory Function and Physical Performance in Middle-Aged and Old Inpatients Recovering from COVID-19 After a Rehabilitation Program. *Adv. Gerontol.*, 2021, vol. 34, no. 6, pp. 934–940 (in Russ.). <https://doi.org/10.34922/AE.2021.34.6.016>
13. Wong A.W., López-Romero S., Figueroa-Hurtado E., Vazquez-Lopez S., Milne K.M., Ryerson C.J., Guenette J.A., Cortés-Telles A. Predictors of Reduced 6-Minute Walk Distance After COVID-19: A Cohort Study in Mexico. *Pulmonology*, 2021, vol. 27, no. 6, pp. 563–565. <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2021.03.004>
14. Briko N.I., Korshunov V.A., Krasnova S.V., Protzenko D.N., Glazovskaya L.S., Gostishchev R.V., Saltykova T.S., Chernyavskaya O.P., Pozdnyakov A.A., Labanovich V.V., Kaneev A.I. Clinical and Epidemiological Characteristics of Hospitalized Patients with COVID-19 During Different Pandemic Periods in Moscow. *J. Microbiol. Epidemiol. Immunobiol.*, 2022, vol. 99, no. 3, pp. 287–299. <https://doi.org/10.36233/0372-9311-272>
15. Blitshteyn S., Whitelaw S. Postural Orthostatic Tachycardia Syndrome (POTS) and Other Autonomic Disorders After COVID-19 Infection: A Case Series of 20 Patients. *Immunol. Res.*, 2021, vol. 69, no. 2, pp. 205–211. <https://doi.org/10.1007/s12026-021-09185-5>
16. Mishina I.E., Chistyakova Yu.V., Pchelintseva E.V., Mityraeva I.V., Fokicheva S.O., Berezina E.V., Bendin D.S. Effectiveness of Medical Rehabilitation of Patients After a New Coronavirus Infection in a Day Hospital. *Bull. Rehabil. Med.*, 2022, vol. 21, no. 3, pp. 9–23 (in Russ.). <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-3-9-23>
17. Cortés-Telles A., López-Romero S., Figueroa-Hurtado E., Pou-Aguilar Y.N., Wong A.W., Milne K.M., Ryerson C.J., Guenette J.A. Pulmonary Function and Functional Capacity in COVID-19 Survivors with Persistent Dyspnoea. *Respir. Physiol. Neurobiol.*, 2021, vol. 288. Art. no. 103644. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2021.103644>
18. Borchev K.F. Association Between the Degree of Lung Tissue Damage and Voluntary Breath-Holding Time in Adults After COVID-19. *J. Med. Biol. Res.*, 2022, vol. 10, no. 4, pp. 307–316. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z115>
19. Eksombatchai D., Wongsinin T., Phongnarudech T., Thammavaranucupt K., Amornputtisathaporn N., Sungkanuparph S. Pulmonary Function and Six-Minute-Walk Test in Patients After Recovery from COVID-19: A Prospective Cohort Study. *PLoS One*, 2021, vol. 16, no. 9. Art. no. e0257040. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257040>
20. Kumar A., Narayan R.K., Kulandhasamy M., Prasoon P., Kumari C., Kumar S., Pareek V., Sesham K., Shekhawat P.S., Kant K., Kumar S. COVID-19 Pandemic: Insights into Molecular Mechanisms Leading to Sex-Based Differences in Patient Outcomes. *Expert Rev. Mol. Med.*, 2021, no. 23. Art. no. e7. <https://doi.org/10.1017/erm.2021.9>
21. Moran K.R., Del Valle S.Y. A Meta-Analysis of the Association Between Gender and Protective Behaviors in Response to Respiratory Epidemics and Pandemics. *PLoS One*, 2016, vol. 11, no. 10. Art. no. e0164541. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164541>
22. Alwani M., Yassin A., Al-Zoubi R.M., Aboumarzouk O.M., Nettleship J., Kelly D., Al-Qudimat A.R., Shabsigh R. Sex-Based Differences in Severity and Mortality in COVID-19. *Rev. Med. Virol.*, 2021, vol. 31, no. 6. Art. no. e2223. <https://doi.org/10.1002/rmv.2223>
23. Guan W.J., Liang W.H., Zhao Y., Liang H.R., Chen Z.S., Li Y.M., Liu X.Q., Chen R.C., Tang C.L., Wang T., et al. China Medical Treatment Expert Group for COVID-19. Comorbidity and Its Impact on 1590 Patients with COVID-19 in China: A Nationwide Analysis. *Eur. Respir. J.*, 2020, vol. 55, no. 5. Art. no. 2000547. <https://doi.org/10.1183/13993003.00547-2020>

Received 15 April 2023

Accepted 15 September 2023

Published 30 November 2023

Поступила 15.04.2023

Принята 15.09.2023

Опубликована 30.11.2023



Журнал медико-биологических исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 451–461.

*Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 451–461.

Научная статья

УДК 613.633:629.5.081.2

DOI: 10.37482/2687-1491-Z163

## Гигиеническая характеристика загрязнения воздуха рабочей зоны сварочного производства в судостроении (на примере верфей Санкт-Петербурга)

Максим Валерьевич Чащин<sup>\*/\*\*</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6759-5481>

Антон Ильич Атабеков<sup>\*\*</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9735-5729>

Елена Анатольевна Кайк<sup>\*\*</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7971-5866>

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

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

<sup>\*</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
(Москва)

<sup>\*\*</sup>Северо-Западный государственный медицинский университет  
имени И.И. Мечникова  
(Санкт-Петербург)

<sup>\*\*\*</sup>Северный государственный медицинский университет  
(г. Архангельск)

**Аннотация.** Лабораторно-инструментальные исследования загрязнения воздуха на судостроительных предприятиях показали, что частицы пыли сварочного аэрозоля состоят как из слабо растворимых соединений Al, Fe, Ti и Pb, так и из хорошо растворимых в искусственном растворе соединений Co, Cr, Cu, Mn и V, а их соотношение отличается в зависимости от способа сварки. **Цель** данной работы – гигиеническая оценка загрязнения воздуха рабочей зоны судостроительных верфей с учетом анализа растворимости соединений металлов, содержащихся в сварочном аэрозоле. **Материалы и методы.** Объектом исследования стали сварочные производства двух судостроительных верфей Санкт-Петербурга. Отбор 97 проб воздуха из-под защитного лицевого щитка сварщика выполнен с помощью мембранных фильтров с размером пор 5,0 мкм и персональных насосов фирмы SKC Sidekick. Анализ растворимых и нерастворимых химических соединений сварочного аэрозоля в искусственном растворе проведен с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (Thermo Scientific Element XR) и оптико-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (Perkin Elmer Optima 7300V). **Результаты.** Установлены значимые различия между предприятиями по среднесменным концентрациям химических веществ в воздухе сварочных производств: в 19,6 раза – по марганцу (181,04 и 3563,80 мкг/м<sup>3</sup>) и в 1,5 раза – по железу (1291,71 и 862,49 мкг/м<sup>3</sup>). В сварочных производствах исследуемых верфей зарегистрирован

---

**Ответственный за переписку:** Чащин Максим Валерьевич, адрес: 191015, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41; e-mail: maksim.chaschin@szgmu.ru

широкий диапазон среднесменных концентраций сварочного аэрозоля сложного химического состава, при этом имеются значимые гигиенические различия результатов замеров на разных предприятиях. Одной из важных изучаемых характеристик сварочного аэрозоля является растворимость содержащихся в нем элементов, определяющая способность токсических веществ проникать через ткани легкого в кровь, вызывая острые или хронические нарушения здоровья. Таким образом, гигиеническая оценка загрязнения воздуха рабочей зоны сварочного производства в судостроении должна проводиться персонализированно и учитывать смену применяемых способов сварки, типов сварочных материалов и др.

**Ключевые слова:** сварочный аэрозоль, гигиеническая оценка условий труда, вредные и опасные производственные факторы, растворимость химических веществ, судостроение.

**Благодарности.** Коллектив авторов выражает особую благодарность и признательность сотрудникам Национального института профессионального здоровья (STAMI, Осло, Норвегия) Дагу Эллингсену (Dag G. Ellingsen) и Ингвару Томассену (Yngvar Thomassen), а также коллективу ФГБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» (Санкт-Петербург, Россия) за помощь в проведении исследования.

**Для цитирования:** Чашин М.В., Атабеков А.И., Кайк Е.А., Гудков А.Б., Попова О.Н. Гигиеническая характеристика загрязнения воздуха рабочей зоны сварочного производства в судостроении (на примере верфей Санкт-Петербурга) // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 451–461. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z163>

Original article

## Hygienic Characteristics of the Air Pollution in the Welding Working Area in Shipbuilding (the Case of St. Petersburg Shipyards)

Maksim V. Chashchin<sup>\*/\*\*</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6759-5481>

Anton I. Atabekov<sup>\*\*</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9735-5729>

Elena A. Kayk<sup>\*\*</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7971-5866>

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

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

<sup>\*</sup>National Research University Higher School of Economics  
(Moscow, Russian Federation)

<sup>\*\*</sup>North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov  
(St. Petersburg, Russian Federation)

<sup>\*\*\*</sup>Northern State Medical University  
(Arkhangelsk, Russian Federation)

**Abstract.** Laboratory tests of air pollution at shipbuilding enterprises have shown that dust particles of welding aerosol consist of both poorly soluble Al, Fe, Ti and Pb compounds and Co, Cr, Cu, Mn and V compounds that are highly soluble in an artificial solution, while their ratio varies depending on the welding method.

**Corresponding author:** Maksim Chashchin, address: ul. Kirochnaya 41, St. Petersburg, 191015, Russian Federation; e-mail: maksim.chashchin@szgmu.ru

The **purpose** of this article was to perform a hygiene assessment of the air pollution in the shipyards' working areas, taking into account solubility test results for the metal compounds contained in the welding aerosol. **Materials and methods.** The object of the study were the welding processes of two shipyards in St. Petersburg, Russia. We collected 97 air samples from under the welder's face shield using 5.0 µm membrane filters and SKC Sidekick personal pumps. The soluble and insoluble chemical compounds of the welding aerosol in the artificial solution were analysed using an inductively coupled plasma mass spectrometer (Thermo Scientific Element XR) and an inductively coupled plasma optical emission spectrometer (Perkin Elmer Optima 7300V). **Results.** Significant differences were established between the enterprises in the shift-weighted average concentrations of chemicals in the air of welding areas: by the factor of 19.6 for manganese (181.04 and 3563.80 µg/m<sup>3</sup>) and 1.5 for iron (1291.71 and 862.49 µg/m<sup>3</sup>). We recorded a wide range of shift-weighted average concentrations of welding aerosols with a complex chemical composition in the welding working areas. However, there were significant hygienic differences in the test results between the shipyards. One of the important characteristics of welding aerosol studied here is the solubility of its elements, which determines the ability of toxic substances to penetrate through the lung tissue into the bloodstream, causing acute or chronic health effects. Thus, hygiene assessments of the air pollution in the working areas in shipbuilding should be based on a personalized approach and take into account changes in the welding methods applied, types of welding materials, etc.

**Keywords:** *welding aerosol, hygienic assessment of working conditions, harmful and hazardous occupational factors, chemical solubility, shipbuilding.*

**Acknowledgments.** The authors would like to express their appreciation and gratitude to Dag G. Ellingsen and Yngvar Thomassen at the National Institute of Occupational Health (STAMI, Oslo, Norway) as well as to the staff of the Northwest Public Health Research Center (St. Petersburg, Russia) for their assistance in the study.

**For citation:** Chashchin M.V., Atabekov A.I., Kayk E.A., Gudkov A.B., Popova O.N. Hygienic Characteristics of the Air Pollution in the Welding Working Area in Shipbuilding (the Case of St. Petersburg Shipyards). *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 451–461. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z163>

Судостроительная промышленность в значительной мере обеспечивает реализацию национальных интересов России во многих сферах экономики: в энергетике, транспорте, внешней торговле и оборонно-промышленном комплексе. Новая Морская доктрина Российской Федерации определяет развитие морской деятельности и морского потенциала, что является одним из решающих условий устойчивого социально-экономического развития России в XXI веке<sup>1</sup>.

Особое место в отечественном строительстве судов занимают верфи Санкт-Петербурга, продукция этой индустрии составляет более 1/2 всей продукции оборонно-промышленного комплекса и около 20 % от всего промышленного производства города. На предприятиях «Объединенной судостроительной корпорации» трудятся более 77 тыс. чел., из которых более 3 тыс. чел. заняты в сварочном производстве<sup>2</sup>.

Ручная, полуавтоматическая и автоматическая сварка до сих пор остается основной

---

<sup>1</sup>Об утверждении Морской доктрины Российской Федерации: указ Президента РФ от 31 июля 2022 г. № 512. URL: <https://base.garant.ru/405077499/> (дата обращения: 22.11.2023).

<sup>2</sup>Стратегия развития Открытого акционерного общества «Объединенная судостроительная корпорация» на период до 2030 года: утв. протоколом заседания Совета директоров от 30 октября 2013 года № 106СД-П. URL: [https://portnews.ru/upload/basefiles/1028\\_strategy\\_2013.pdf](https://portnews.ru/upload/basefiles/1028_strategy_2013.pdf) (дата обращения: 28.03.2023).

технологией сборки судов, надводных и подводных кораблей, и, согласно обзору рынка труда, в судостроении профессия сварщика является наиболее массовой и востребованной [1–3]. В связи с этим актуальна проблема сохранения здоровья работников сварочного производства, а ее решение относится к числу приоритетных задач гигиены и медицины труда. Исследователи из Уфимского научно-исследовательского института медицины труда и экологии человека отмечают, что в комплексе превентивных мер особое место принадлежит лабораторно-инструментальному контролю загрязнения воздуха в месте сварочных работ [4]. В научной литературе сведений о характере загрязнения воздуха рабочей зоны, данных о реальных среднесменных концентрациях сварочного аэрозоля на отдельных судостроительных верфях недостаточно, что вызывает определенные трудности у врачей-гигиенистов и профпатологов как при оценке вклада периодов деятельности во вредных и опасных условиях на предыдущих местах работы при составлении санитарно-гигиенической характеристики условий труда, так и при проведении последующей экспертизы связи заболевания с профессией. Воздействие сварочного аэрозоля на организм человека может вызывать разнообразные нарушения здоровья, в т. ч. интоксикацию марганцем [5]. В ранее проведенных экспериментальных исследованиях получены убедительные доказательства токсичности растворимых соединений марганца [6, 7]. В связи с этим цель нашей работы – гигиеническая оценка загрязнения воздуха рабочей зоны судостроительных верфей с учетом анализа растворимости соединений металлов, содержащихся в сварочном аэрозоле.

**Материалы и методы.** Объектом исследования стали сварочные производства двух судостроительных верфей Санкт-Петербурга, на которых был организован отбор 97 проб воздуха рабочей зоны. Процедура проводилась с помощью специальных аэрозольных пластиковых кассет (Merck KGaA, г. Дарм-

штадт, Германия), оснащенных мембранными фильтрами (SKC Ltd, Дорсет, Великобритания) из поливинилхлорида с размером пор 5,0 мкм, и персональных насосов фирмы SKC Sidekick (SKC Ltd, Дорсет, Великобритания). Отбор загрязненного воздуха осуществлялся из зоны дыхания – из-под защитного лицевого щитка сварщика. Прокачивание воздуха через установленную систему производилось в течение всей рабочей смены со скоростью 2,0 л/мин. Пробы были отобраны во время применения ручной электродуговой сварки металлическим электродом с покрытием, автоматической и полуавтоматической сварки металлов в среде инертного газа. Основными свариваемыми материалами были легированная конструкционная сталь и легированные виды стали. В изучаемом сварочном производстве применялись 11 разных типов сварочных электродов. В большинстве из них содержание легирующих элементов было незначительным. Например, содержание марганца (Mn) составляло от 0,6 до 2,2 % в зависимости от типа электрода и его покрытия. Некоторые электроды содержали никель (Ni) и хром (Cr) в количестве от 9,8 до 19,0 %.

Для решения задачи по оценке степени растворимости химических веществ, содержащихся в сварочном аэрозоле, проводились пробоподготовка и эксперименты по выщелачиванию, описанные ранее (с небольшими изменениями) [8]. Растворимые и нерастворимые соединения химических элементов сварочного аэрозоля в искусственном растворе (ИР), который по своим химическим характеристикам и биодоступности приближался к жидкости, получаемой при бронхоальвеолярном лаваже, определялись с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (Thermo Scientific Element XR) и оптико-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (Perkin Elmer Optima 7300V).

Поскольку значительная часть исследованных образцов имела концентрации хими-

ческих веществ ниже порога определения, статистический анализ растворимости проводился согласно рекомендациям D.R. Helsel, применяемым для обработки цензурированных данных [9]. При статистической обработке основное внимание уделялось оценке показателей растворимости в ИР, которые вычислялись как отношение массы растворимой фракции химического элемента к сумме масс растворимой и нерастворимой его фракций в ИР ( $IP = M_p / M_p + M_{нер}$ ). Сводная статистика для всего набора данных, а также для подгруппы (установки и технологии сварки отдельно) рассчитывалась с применением методов непараметрического анализа, т. к. набор состоял из интервальных цензурированных данных. Для расчета и определения квантилей использовался алгоритм максимального правдоподобия (NPMLE) Тернбулла [10]. Возможное влияние способа сварки на растворимость химических соединений в ИР анализировалось путем двустороннего дисперсионного анализа (ANOVA) с применением рангов. В обоих случаях набор данных включал 97 проб, при этом из анализа были исключены образцы с неизвестными местами отбора (3 образца), а также образцы, полученные при смешанных видах сварки или при отсутствии сведений об используемой технологии сварки (5 образцов). Пробы были распределены в зависимости от места отбора образца (предприятия), а также от способа сварки. Поправка Бонферрони применялась для оценки значимости различий при парных сравнениях. Используемые ранги в двухфакторном дисперсионном анализе рассчитывались и проверялись с помощью теста Уилкоксона–Манна–Уитни.

**Результаты.** Производственная задача электросварщиков на судостроительных предприя-

тиях заключается в соединении деталей изготавливаемых изделий под действием температуры электрической дуги, включая наплавку металла или покрытие внутренних поверхностей деталей слоем особо прочной стали. В связи с тем, что большинство сварщиков трудятся в составе комплексной бригады, один и тот же работник может иметь дело как с ручной, так и с полуавтоматической сваркой. Хронометраж рабочего времени электросварщиков показал, что доля каждого из перечисленных способов в структуре занятости в различные смены колеблется в широком диапазоне. Например, в течение года от 14 до 15 % от общего объема работ занимает автоматическая сварка под флюсом, от 31 до 34 % – автоматическая наплавка под флюсом, от 10 до 14 % – ручная электродуговая сварка и от 7 до 23 % – ручная наплавка. Установлено, что интенсивность испарения металлического и шлакового расплавов, образующихся при плавлении электрода и основного металла, зависит от режима, технологии, состава электродного покрытия, основного и присадочного металлов, что хорошо согласуется с ранее проведенными исследованиями [11]. Из железомарганцевых расплавов при нагреве испаряется прежде всего марганец, причем этот процесс тем интенсивнее, чем выше содержание марганца в расплаве [12]. Результаты анализа проб воздуха рабочей зоны на судостроительных верфях Санкт-Петербурга показали, что при ручной сварке от 28,7 до 31,5 % проб характеризовались превышением предельно допустимой концентрации марганца ( $ПДК = 0,2 \text{ мг/м}^3$ , при содержании марганца в сварочном аэрозоле до 20 %), установленной санитарными правилами и нормами<sup>3</sup>, при полуавтоматической – от 57,4 до 61,5 %, при автоматической – от 5,5 до 7,9 % (табл. 1).

<sup>3</sup>СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: утв. постановлением Гл. гос. санитар. врача Рос. Федерации от 28 янв. 2021 г. № 2. URL: <https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/npa-files/2021/01/28/sanpin1.2.3685-21.pdf> (дата обращения: 29.03.2023).

Таблица 1

Доля среднесменных концентраций марганца, превышающих предельно-допустимую концентрацию (ПДК), в воздухе рабочей зоны сварочных производств на судостроительных верфях Санкт-Петербурга  
 Percentage of the shift-weighted average concentrations of manganese exceeding the permissible exposure limit in the air of the welding working areas at St. Petersburg shipyards

Сварка	Диапазон среднесменных концентраций, мг/м <sup>3</sup>	Доля проб, превышающих ПДК (0,2 мг/м <sup>3</sup> ), %
Ручная	0,015–0,720	28,7–31,5
Полуавтоматическая	0,031–0,904	57,4–61,5
Автоматическая	0,003–0,265	5,5–7,9

Средние концентрации марганца составили 181,04 и 3563,80 мкг/м<sup>3</sup> на верфях № 1 и 2 соответственно. Большие концентрации железа, наоборот, были зарегистрированы на предприятии № 1 по сравнению с предприятием № 2 – 1291,71 и 862,49 мкг/м<sup>3</sup> соответственно. Сравнение полученных данных показало (табл. 2), что содержание Mn и Fe в воздухе сварочных производств отличалось между предприятиями в 19,6 и 1,5 раза соответственно (различия были статистически значимы по *U*-критерию Манна–Уитни).

Изучение растворимости химических элементов, загрязняющих воздух судостроительных цехов, выявило отсутствие однообразия структуры сварочного аэрозоля как на отдельных верфях, так и при разных способах сварки. Соединения Al, Fe, Ti и Pb продемонстрировали не только преобладание слаборастворимых форм в ИР, моделирующем состав смыва слизистой бронхов, но и статистически значимые различия соотношения растворимых и нерастворимых форм между представленными производствами и способами сварки.

Таблица 2

Сравнительный анализ среднесменных концентраций марганца и железа в воздухе рабочей зоны сварочных производств на судостроительных верфях Санкт-Петербурга  
 Comparative analysis of the shift-weighted average concentrations of manganese and iron in the air of the welding working areas at St. Petersburg shipyards

Верфи (число проб)	Концентрация, мкг/м <sup>3</sup>				
	<i>M</i>	<i>Me</i>	$\sigma$	Min	Max
<i>Марганец</i>					
1 ( <i>n</i> = 40)	181,04	127,50	29,25	12,00	1131,00
2 ( <i>n</i> = 57)	3563,80*	2923,00	396,80	119,00	11292,00
1 и 2 ( <i>n</i> = 97)	2168,85	508,00	288,09	12,00	11292,00
<i>Железо</i>					
1 ( <i>n</i> = 40)	1291,71	1198,00	100,97	377,00	3792,00
2 ( <i>n</i> = 57)	862,49**	560,00	135,55	7,00	5105,00
1 и 2 ( <i>n</i> = 97)	1039,49	917,00	92,04	7,00	5105,00

Примечание: *M* – среднее значение; *Me* – медиана;  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение; min, max – минимальное и максимальное значения соответственно; \*, \*\* – установлены статистически значимые различия между верфями по *U*-критерию Манна–Уитни ( $p < 0,001$  и  $p < 0,05$  соответственно).

Соединения с такими элементами, как Cd, Mo, Ni, W и Zn, имели примерно одинаковую растворимость независимо от техники сварки и верфи. Все другие химические вещества, присутствующие

в сварочном аэрозоле, имели значительные различия в соотношении растворимых и нерастворимых форм соединений при сравнении различных сварочных производств (табл. 3).

Таблица 3

Соотношение растворимых и нерастворимых форм соединений химических элементов в сварочном аэрозоле на судостроительных верфях Санкт-Петербурга  
Ratio of soluble and insoluble forms of chemical compounds in the welding aerosol at St. Petersburg shipyards

Элемент	Квантиль	Показатель растворимости	
		Верфь 1	Верфь 2
Al	0,1	0,002	0,001
	0,5	0,003	0,003
	0,9	0,020	0,010
Cd	0,1	0,113	0,133
	0,5	0,231	0,255
	0,9	0,378	0,540
Co	0,1	0,012	0,012
	0,5	0,033	0,043
	0,9	0,069	0,105
Cr	0,1	0,011	0,008
	0,5	0,033	0,022
	0,9	0,065	0,096
Cu	0,1	0,024	0,050
	0,5	0,242	0,185
	0,9	0,320	0,371
Fe	0,1	0,002	0,002
	0,5	0,007	0,009
	0,9	0,039	0,028
Mn	0,1	0,046	0,059
	0,5	0,134	0,178
	0,9	0,269	0,299
Mo	0,1	0,166	0,262
	0,5	0,308	0,582
	0,9	0,499	0,745
Ni	0,1	0,017	0,029
	0,5	0,034	0,043
	0,9	0,084	0,075
Pb	0,1	0,000	0,001
	0,5	0,001	0,001
	0,9	0,002	0,012
Ti	0,1	0,001	0,001
	0,5	0,001	0,001
	0,9	0,005	0,005
V	0,1	0,033	0,005
	0,5	0,073	0,043
	0,9	0,145	0,138
W	0,1	0,006	0,003
	0,5	0,048	0,013
	0,9	0,088	0,116
Zn	0,1	0,086	0,100
	0,5	0,238	0,186
	0,9	0,530	0,342

Установлено, что 90-й перцентиль (квантиль 0,9) соотношения растворимых и нерастворимых соединений марганца на изучаемых верфях соответствует сравниваемым показателям растворимости 0,269 и 0,299. Ранее проведенные исследования показали, что применяемая технология сварки практически не влияет на растворимость в ИР соединений таких элементов, как Al, Cd, Fe, Mo, Ni, Pb, Ti, W и Zn [13]; соответственно, можно предположить, что проникновение их в ткани легких и бронхов возможно только в виде твердой фракции сварочного аэрозоля. Напротив, более высокая степень растворимости соединений Co, Cr, Cu, Mn и V ассоциируется с тем или иным способом сварки. Например, соединения хрома в процессе полуавтоматической сварки в среде инертных газов присутствовали в воздухе в виде Cr (III), а при ручной сварке – в виде Cr (VI) [13]. Теоретическим обоснованием данного феномена является то, что такие хроматы, как  $K_2CrO_4$ ,  $Na_2(CrO_4)_2$ , более стабильны при высоких температурах, чем большинство других, что может объяснить значительное содержание Cr (VI) во флюсах при обработке легированных сталей. Аналогичным образом может быть представлен ванадий (V), который, согласно нашим данным, может выделяться в более низких степенях окисления при полуавтоматической сварке и в более высоких степенях окисления – при автоматической.

**Обсуждение.** С одной стороны, при составлении санитарно-гигиенической характеристики условий труда сравнение состава, характеристик и концентраций химических веществ в сварочном аэрозоле на двух судостроительных верфях с аналогичными производственными процессами не должно вызывать затруднений у врача-гигиениста, т. к. они находятся, на первый взгляд, в одном диапазоне, с небольшим разбросом доли проб, превышающих ПДК. С другой, выявленные нами значимые различия резуль-

татов лабораторно-инструментальных исследований доказывают оправданность проведения дополнительного отбора образцов воздуха рабочей зоны с помощью индивидуальных пробоотборников и персональной оценки экспозиции с учетом содержания растворимых соединений таких металлов, как Mn, Fe, Cr, Mo, V, W и др. Например, оценивая растворимость соединений марганца с позиций токсикокинетики, можно предположить, что сварочный аэрозоль, выделяющийся в процессе полуавтоматической сварки в среде защитного газа, представляет более высокий риск развития интоксикации у работника по сравнению с двумя другими способами сварки. В ранее опубликованных исследованиях было показано, что различные технологические параметры сварочных операций могут влиять на некоторые характеристики сварочного аэрозоля [13]. Однако анализу степени растворимости содержащихся в нем химических веществ с точки зрения гигиены и медицины труда уделяется недостаточно внимания. Настоящее исследование позволяет расширить подходы к изучению патофизиологического влияния производственных факторов, а также является научным обоснованием перехода к персонализированной медицине в практике врача-гигиениста, что соответствует направлению Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации<sup>4</sup>. Не вызывает сомнений необходимость дальнейших гигиенических исследований, включая оценку индивидуального уровня воздействия на организм сварщика сварочного аэрозоля на других производствах, особенно в свете применения новых технологий сварки и соединения композиционных материалов, основанием которых служит металлическая матрица с волокнистым или дисперсным упрочнением [14].

Таким образом, в сварочном производстве судостроения регистрируется широкий диапазон среднесменных концентраций сварочного аэрозоля сложного химического состава,

<sup>4</sup>О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: указ Президента РФ от 1 дек. 2016 г. № 642 (ред. от 15.03.2021). URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_207967](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207967) (дата обращения: 03.04.2023).

имеющего значимые гигиенические различия при сравнении результатов лабораторно-инструментального контроля загрязнений воздуха рабочей зоны на разных предприятиях с аналогичными производственными процессами. Одной из важных изучаемых характеристик последнего является растворимость содержащихся в нем элементов, которая определяет способность токсических веществ проникать через ткани легкого в кровь, вызывая острые или хронические нарушения здоровья. В связи с этим гигиеническая оценка загрязнения воздуха рабочей зоны сварочного производства в судостроении должна проводиться

персонализированно, с учетом применяемых сварщиком в течение рабочей смены способов сварки, типов сварочных материалов, режимов сварки и др. Данная методика оценки особенно актуальна в случае, если при выяснении обстоятельств и причин возникновения профессионального заболевания установлен факт осуществления работником деятельности во вредных и опасных условиях труда на предыдущих местах работы и необходимо отразить вклад данных периодов работы в возникновение профессионального заболевания при составлении санитарно-гигиенической характеристики условий труда.

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

**Вклад авторов:** Чашин М.В. – разработка концепции статьи, редактирование окончательной версии текста, одобрение финальной версии перед публикацией; Атабеков А.И. – существенный вклад в написание текста статьи, оформление ссылок, списка литературы; Кайк Е.А. – подбор и анализ источников литературы, написание текста статьи; Гудков А.Б. – написание текста статьи, ответственность за целостность всех ее частей; Попова О.Н. – доработка рукописи, методологические аспекты.

**Authors' contributions:** M.V. Chashchin developed the concept of the study, edited the final version of the manuscript and approved it before the publication; A.I. Atabekov made a significant contribution to writing the text of the article as well as formatted citations and references; E.A. Kayk selected and analysed literature sources, participated in writing the text of the article; A.B. Gudkov participated in writing the text of the article and ensured the integrity of all its parts; O.N. Popova revised the manuscript and was responsible for the methodological aspects of the study.

## Список литературы

1. Горбач В.Д. Сварочное производство в судостроении // Мир сварки. 2022. № 1(56). С. 12–14.
2. Обзор рынка труда в сфере судостроения: итоги первого квартала 2021 года. 6 мая 2021 г. URL: <https://spb.hh.ru/article/28489> (дата обращения: 28.03.2023).
3. Соколова Л.А., Попова О.Н., Калинина М.М., Богданов М.Ю., Кочешова Г.Ф., Гудков А.Б. Прогнозирование риска развития профессиональных заболеваний среди сборщиков корпусов металлических судов машиностроительного предприятия // Экология человека. 2015. № 1. С. 10–14.
4. Красовский В.О., Халфин Р.Р., Галиуллин А.Р. К поиску реальных концентраций аэрозоля, действующего на электросварщика // Соврем. проблемы науки и образования. 2017. № 5. Ст. № 21.
5. Минакова П.С., Войцева А.С., Игнатова В.Р. Анализ вредных и опасных производственных факторов при ручной дуговой сварке на рабочем месте сварщика // Безопасность и охрана труда. 2020. № 4. С. 36–38.
6. Обламская И.С., Пестерева Н.С., Скоморохова Е.А., Карпенко М.Н. Признаки нейровоспаления у крыс с марганцевой токсической энцефалопатией // Мед. академ. журн. 2016. Т. 16, № 4. С. 32–33.

7. Ivleva I., Pestereva N., Zubov A., Karpenko M. Intranasal Exposure of Manganese Induces Neuroinflammation and Disrupts Dopamine Metabolism in the Striatum and Hippocampus // *Neurosci. Lett.* 2020. Vol. 738. Art. № 135344. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2020.135344>
8. Чащин М.В., Эллинген Д.Г., Чащин В.П., Кабушка Я.С., Томассен И., Берлингер Б., Баст-Петтерсен Р., Кусраева З.С., Федоров В.Н., Хлябова П.М., Колесникова Т.А. Оценка экспозиции к соединениям марганца и железа у сварщиков // *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО.* 2014. № 10(259). С. 28–31.
9. Helsel D.R. *Statistics for Censored Environmental Data Using Minitab® and R.* Hoboken, 2012. 324 p. <https://doi.org/10.1002/9781118162729>
10. Turnbull B.W. The Empirical Distribution Function with Arbitrarily Grouped, Censored and Truncated Data // *J. R. Stat. Soc. B.* 1976. Vol. 38, № 3. P. 290–295. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1976.tb01597.x>
11. Кузнецов Д.А., Игнатов М.Н., Игнатова А.М. Физико-химические методы исследования твердой составляющей сварочных аэрозолей // *Вестн. Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Машиностроение, материаловедение.* 2014. Т. 16, № 4. С. 140–150.
12. Гришагин В.М. Твердая составляющая сварочного аэрозоля как наполнитель металлокерамических изоляционных втулок сварочных горелок. URL: <https://waste.ua/eco/2009/industrial-waste/aerosol> (дата обращения: 29.03.2023).
13. Гришагин В.М. Сварочный аэрозоль: образование, исследование, локализация, применение: моногр. Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2011. 213 с.
14. Рудской А.И., Паршин С.Г. Передовые тренды в металлургии и свариваемости хладостойких и криогенных сталей для Арктики и водородной энергетики // *Мир сварки.* 2022. № 1(56). С. 15–18.

## References

1. Gorbach V.D. Svarochnoe proizvodstvo v sudostroenii [Welding Processes in Shipbuilding]. *Mir svarki*, 2022, no. 1, pp. 12–14.
2. *Review of the Labour Market in the Shipbuilding Sector: Results of the First Quarter of 2021.* 6 May 2021. Available at: <https://spb.hh.ru/article/28489> (accessed: 28 March 2023) (in Russ.).
3. Sokolova L.A., Popova O.N., Kalinina M.M., Bogdanov M.Yu., Kocheshova G.F., Gudkov A.B. Prognozirovanie riska razvitiya professional'nykh zabolevaniy sredi sborshchikov korpusov metallicheskih sudov mashinostroitel'nogo predpriyatiya [Prediction of Occupational Diseases Risk Among Assemblers of Vessel Metal Hulls of Machine Building Plant]. *Ekologiya cheloveka*, 2015, no. 1, pp. 10–14.
4. Krasovskiy V.O., Khalfin R.R., Galiullin A.R. K poisku real'nykh kontsentratsiy aerolya, deystvuyushchego na elektrosvarshchika [To Search of Real Concentration of the Aerosol of the Acting Electric Welder]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2017, no. 5. Art. no. 21.
5. Minakova P.S., Voysheva A.S., Ignatova V.R. Analiz vrednykh i opasnykh proizvodstvennykh faktorov pri ruchnoy dugovoy svarke na rabochem meste svarshchika [Analysis of Manual Arc Welding Harmful and Dangerous Production Factors at the Welder's Workplace]. *Bezopasnost' i okhrana truda*, 2020, no. 4, pp. 36–38.
6. Oblamskaya I.S., Pestereva N.S., Skomorokhova E.A., Karpenko M.N. Priznaki neyrovspaleniya u krysa s margantsevoy toksicheskoy entsefalopatiey [Signs of Neuroinflammation in Rats with Manganese Encephalopathy]. *Meditinskiy akademicheskiy zhurnal*, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 32–33.
7. Ivleva I., Pestereva N., Zubov A., Karpenko M. Intranasal Exposure of Manganese Induces Neuroinflammation and Disrupts Dopamine Metabolism in the Striatum and Hippocampus. *Neurosci. Lett.*, 2020, vol. 738. Art. no. 135344. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2020.135344>
8. Chashchin M.V., Ellingsen D.G., Chashchin V.P., Cabushka Ya.S., Thomassen I., Berlinger B., Bast-Pettersen R., Kusraeva Z.S., Fedorov V.N., Hliabova P.M., Kolesnikova T.A. Otsenka ekspozitsii k soedineniyam margantsa i zheleza u svarshchikov [Exposure Assessment of Airborne Manganese and Iron in Welders]. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*, 2014, no. 10, pp. 28–31.
9. Helsel D.R. *Statistics for Censored Environmental Data Using Minitab® and R.* Hoboken, 2012. 324 p. <https://doi.org/10.1002/9781118162729>
10. Turnbull B.W. The Empirical Distribution Function with Arbitrarily Grouped, Censored and Truncated Data. *J. R. Stat. Soc. B.* 1976, vol. 38, no. 3, pp. 290–295. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1976.tb01597.x>

11. Kuznetsov D.A., Ignatov M.N., Ignatova A.M. Fiziko-khimicheskie metody issledovaniya tverдой sostavlyayushchey svarochnykh aerorozley [Physics-Chemical Methods of Studies of Solid Part Welding Fumes]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2014, vol. 16, no. 4, pp. 140–150.

12. Grishagin V.M. Tverdaya sostavlyayushchaya svarochnogo aerorozlya kak napolnitel' metallokeramicheskikh izolyatsionnykh vtulok svarochnykh gorelok [Solid Ingredient of Welding Aerosol as Filler for Metal Ceramic Insulating Bushings of Gas Torches]. Available at: <https://waste.ua/eco/2009/industrial-waste/aerosol> (accessed: 29 March 2023).

13. Grishagin V.M. *Svarochnyy aerorozl': obrazovanie, issledovanie, lokalizatsiya, primeneniye* [Welding Aerosol: Education, Research, Localization, Application]. Tomsk, 2011. 213 p.

14. Rudskoy A.I., Parshin S.G. Peredovye trendy v metallurgii i svarivaemosti khladostoykikh i kriogennykh staley dlya Arktiki i vodorodnoy energetiki [Cutting-Edge Trends in Metallurgy and Weldability of Cold-Resistant and Cryogenic Steels for the Arctic and Hydrogen Energy Industry]. *Mir svarki*, 2022, no. 1, pp. 15–18.

**Received 25 May 2023**

**Accepted 5 September 2023**

**Published 30 November 2023**

**Поступила 25.05.2023**

**Принята 05.09.2023**

**Опубликована 30.11.2023**



Журнал медико-биологических исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 462–470.  
*Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 462–470.

Научная статья  
УДК 616-092.12  
DOI: 10.37482/2687-1491-Z167

## Критерии напряжения механизмов адаптации у здоровых мужчин, работающих вахтовым методом в условиях Крайнего Севера

Анна Евгеньевна Баянова\* ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2016-0975>  
Екатерина Васильевна Жданова\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7938-5470>  
Екатерина Георгиевна Лукьянова\* ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3329-4355>

\*Тюменский государственный медицинский университет  
(г. Тюмень)

**Аннотация.** Переход от состояния здоровья к состоянию болезни у человека в условиях Крайнего Севера, в связи с постоянной повышенной нагрузкой на функциональные системы организма, может происходить незаметно, поэтому разработка критериев для оценки адаптационных резервов организма вахтовиков является актуальной. **Цель** работы – оценить адаптационный потенциал здоровых мужчин, работающих вахтовым методом на Крайнем Севере, и выявить скрининговые критерии состояния адаптации. **Материалы и методы.** Обследованы 56 мужчин в возрасте от 35 до 60 лет, работающих вахтовым методом в нефтегазовой отрасли более трех лет. На основании демографических, антропометрических и гемодинамических параметров рассчитывали индекс функциональных изменений. Силу нервной системы устанавливали с использованием методики «Теппинг-тест». Психоэмоциональное состояние оценивали с помощью прибора «Активациометр АЦ-6». Для определения реактивности организма измерение уровня психоэмоционального состояния, артериального давления и частоты сердечных сокращений проводили до и после нагрузки в виде теппинг-теста. **Результаты.** Расчет индекса функциональных изменений позволил выявить у обследуемых две степени адаптации: удовлетворительную и напряжение ее механизмов. Мужчины с напряжением механизмов адаптации в большинстве своем имели избыточную массу тела и часто – слабую нервную систему. Напряжение адаптационных механизмов проявлялось повышенным фоновым психоэмоциональным состоянием и отсутствием реакции этого показателя на психоэмоциональную нагрузку (теппинг-тест). Снижение мощности регуляторных систем организма при напряжении механизмов адаптации проявлялось возрастанием среднединамического давления на фоне повышенной жесткости сосудов и усиления потребности миокарда в кислороде. В качестве скрининговых критериев напряжения механизмов адаптации возможно использование таких показателей, как фоновое увеличение диастолического давления (более 80 мм рт. ст.) у лиц с повышенным индексом массы тела, а также низкая реактивность сердечно-сосудистой системы на психоэмоциональную нагрузку.

**Ключевые слова:** индекс функциональных изменений, сила нервной системы, адаптационный потенциал, психоэмоциональное состояние.

**Ответственный за переписку:** Баянова Анна Евгеньевна, адрес: 625023, г. Тюмень, ул. Одесская, д. 54; e-mail: b-a-e-84@mail.ru

*Для цитирования:* Баянова А.Е., Жданова Е.В., Лукьянова Е.Г. Критерии напряжения механизмов адаптации у здоровых мужчин, работающих вахтовым методом в условиях Крайнего Севера // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 462–470. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z167>

Original article

## Criteria of the Strain on the Adaptive Mechanisms in Healthy Male Rotational Workers in the Far North

Anna E. Bayanova\* ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2016-0975>

Ekaterina V. Zhdanova\* ORCID: <https://orcid.org/0004-0002-7938-5470>

Ekaterina G. Luk'yanova\* ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3329-4355>

\*Tyumen State Medical University  
(Tyumen, Russian Federation)

**Abstract.** Due to the persistent high stress the human body's functional systems are subjected to in the Far North, the transition from a state of health to a state of illness can occur gradually and unnoticed. Therefore, developing criteria for assessing the body's adaptive reserves in rotational workers is relevant. The **purpose** of this article was to study the adaptive potential of healthy men working in rotation in the Far North and to identify screening criteria for the state of adaptation. **Materials and methods.** A total of 56 men aged 35 to 60 years who have been working in rotation in the oil and gas industry for more than three years were examined. The index of functional changes was calculated based on demographic, anthropometric and haemodynamic parameters. The strength of the nervous system was determined using the tapping test technique. The psycho-emotional state was assessed using the AC-6 Aktivatsiometr device. To determine body reactivity, the subjects' psycho-emotional state, blood pressure and heart rate were measured before and after the tapping test. **Results.** The calculation of the index of functional changes allowed us to identify two degrees of adaptation in the subjects: satisfactory and strain on the adaptive mechanisms. Men with strain on the adaptive mechanisms were mostly overweight and often had a weak nervous system. The strain was manifested in heightened psycho-emotional state at rest and this parameter's lacking reaction to the psycho-emotional stress (tapping test). The weakening of the body's regulatory systems during strain on the adaptive mechanisms was manifested in an increase in mean dynamic arterial pressure at high vascular stiffness and growing myocardial oxygen demand. As screening criteria of the strain on the adaptive mechanisms, the following can be used: increased diastolic pressure (over 80 mm Hg) at rest in people with high body mass index, as well as low reactivity of the cardiovascular system to psycho-emotional stress.

**Keywords:** *index of functional changes, strength of the nervous system, adaptive potential, psycho-emotional state.*

**For citation:** Bayanova A.E., Zhdanova E.V., Luk'yanova E.G. Criteria of the Strain on the Adaptive Mechanisms in Healthy Male Rotational Workers in the Far North. *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 462–470. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z167>

---

**Corresponding author:** Anna Bayanova, *address:* ul. Odesskaya 54, Tyumen, 625023, Russian Federation; *e-mail:* b-a-e-84@mail.ru

Одним из приоритетных направлений экономического развития нашей страны является освоение нефтегазоносных месторождений на Крайнем Севере и в Арктике. Однако эти районы характеризуются суровыми климатогеографическими условиями: длительным периодом низких температур, резкими перепадами атмосферного давления, повышенными уровнями электромагнитной активности и радиации, своеобразным фотопериодизмом, особым составом питьевой воды, сухостью воздуха и т. д. [1, 2]. Отсутствие социальной инфраструктуры, промышленное загрязнение внешней среды также являются факторами, неблагоприятно воздействующими на пришлое население, что обуславливает повышенную заболеваемость и смертность в трудоспособном возрасте. В связи с этим экономически целесообразно использование на этих территориях экспедиционно-вахтового метода организации труда с привлечением трудоспособного населения из других регионов. Наиболее часто практикуются вахты, связанные с временными перемещениями специалистов из других районов страны на дальние расстояния. При этом стрессогенные факторы самой вахты (ограничение перемещения и общения людей, монотонность обстановки и распространение вредных привычек) [3–5], наряду с климатогеографическими, приводят к напряжению адаптационных механизмов. Постоянные циклы «адаптация – реадаптация» повышают требования как к физиологической, так и к социально-психологической адаптации человека [6, 7]. Таким образом, вахтовый труд на Крайнем Севере является одним из самых экстремальных [6].

В условиях Севера переход от состояния здоровья к состоянию болезни может происходить стремительно и незаметно для самого человека [8–10]. В связи с повышенной нагрузкой на функциональные системы организма человека при работе на Севере [11] разработка критериев для оценки адаптивных резервов организма, а также стадии адаптационного про-

цесса на пути от здоровья к болезни актуальна в плане здоровьесбережения вахтовиков.

Цель работы – оценить адаптационный потенциал здоровых мужчин, работающих вахтовым методом в условиях Крайнего Севера, и выявить скрининговые критерии состояния адаптации.

**Материалы и методы.** Обследованы 56 мужчин с I группой здоровья в возрасте от 35 до 60 лет, работающих вахтовым способом в нефтегазовой отрасли более трех лет. Критериями включения служили: отсутствие хронических заболеваний сердечно-сосудистой и других систем, хорошее самочувствие и добровольное информированное согласие на проведение исследования. Все манипуляции осуществляли согласно этическим стандартам Хельсинкской декларации и в соответствии с ГОСТ Р 52379–2005 «Надлежащая клиническая практика».

На основании результатов измерений систолического (САД) и диастолического (ДАД) артериального давления, частоты сердечных сокращений (ЧСС), длины (ДТ) и массы (МТ) тела, а также данных о возрасте (В) обследованных рассчитывали индекс функциональных изменений ИФИ =  $0,011\text{ЧСС} + 0,014\text{САД} + 0,008\text{ДАД} + 0,014\text{В} + 0,009\text{МТ} - 0,009\text{ДТ} - 0,27$  [12].

Для оценки состояния гемодинамики вычисляли: пульсовое давление (мм рт. ст.) ПД = САД – ДАД; среднее гемодинамическое давление (мм рт. ст.) СДД = ПД/3 + САД<sup>1</sup>. Минутный объем крови определяли по формуле Старра: МОК = СО · ЧСС, где СО – систолический объем крови (мл), СО =  $90,97 + 0,54\text{ПД} - 0,57\text{ДАД} - 0,61\text{В}$ .

Периферическое сопротивление сосудов рассчитывали следующим образом: ПСС =  $\text{СДД} \cdot 1330 \cdot 60 / (\text{МОК} \cdot 1000)$ . Потребность миокарда в кислороде оценивали по индексу Робинсона – двойному произведению (у. е.): ДП = ЧСС · САД / 100.

На основании антропометрических параметров рассчитывали индекс массы тела ИМТ = МТ / ДТ<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Справочник по функциональной диагностике / под ред. И.А. Кассирского. М.: Медицина, 1970. 857 с.

Показатели силы нервной системы определяли с использованием методики «Теппинг-тест» (автор – Е.П. Ильин [13]). Психоэмоциональное состояние (ПЭС) оценивали с помощью прибора «Активациометр АЦ-6» [14], на основании изменений кожно-гальванических реакций (КГР) обеих рук. Для выявления реактивности организма измерение ПЭС, артериального давления и ЧСС проводили до и после нагрузки в виде теппинг-теста.

Статистический анализ результатов осуществляли в программе SPSS. Показатели между группами сравнивали с помощью непараметрического *U*-критерия Манна–Уитни с поправкой Бонферрони и критерия Краскела–Уоллиса для независимых выборок. Различия в показателях связанных выборок оценивали по

*U*-критерию Вилкоксона. Данные представляли в виде  $M \pm m$ , где  $M$  – среднее арифметическое значение;  $m$  – ошибка среднего.

**Результаты.** На основании оценки адаптационного потенциала все обследованные мужчины были разделены на две группы: 27 мужчин со значениями ИФИ до 2,59 балла ( $2,40 \pm 0,03$  балла) составили группу с удовлетворительной адаптацией, а 29 мужчин с ИФИ от 2,60 до 3,09 балла ( $2,81 \pm 0,03$  балла) – группу с напряжением механизмов адаптации [12]. Группы оказались сопоставимы по возрасту, росту и массе тела (табл. 1). Однако ИМТ был выше у мужчин с напряжением механизмов адаптации ( $p < 0,05$ ) – в данной группе он составил  $27,52 \pm 0,74$  кг/м<sup>2</sup>, при этом в 53 % случаев отмечен избыток массы тела, в 26 % – ожирение

Таблица 1

**Антропометрические, гемодинамические и психофизиологические показатели здоровых мужчин-вахтовиков с различным адаптационным потенциалом ( $M \pm m$ )**

**Anthropometric, haemodynamic and psycho-physiological indicators of healthy male rotational workers with different adaptive potential ( $M \pm m$ )**

Показатель	Группа с удовлетворительной адаптацией ( $n = 27$ )	Группа с напряжением механизмов адаптации ( $n = 29$ )
ИФИ	2,40±0,03	2,81±0,03***
Возраст, годы	41,41±2,02	46,21±1,92
Длина тела, см	176,00±1,55	177,79±2,09
Масса тела, кг	78,18±2,10	87,58±3,71
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	25,28±0,70	27,52±0,74*
ЧСС, уд/мин	67,29±2,43	71,79±2,39
САД, мм рт. ст.	114,59±2,37	127,26±2,28***
ДАД, мм рт. ст.	75,88±1,77	85,63±1,51**
ПД, мм рт. ст.	38,71±1,09	41,63±1,91
СДД, мм рт. ст.	127,49±2,63	141,14±2,79***
ДП, у. е.	76,84±2,77	90,95±2,89**
ПСС, дин·с·см <sup>-5</sup>	3828,19±303,72	4931,48±395,39*
Абсолютный прирост точек теппинг-теста	2,78±1,92	-7,14±2,90*
ПЭС, у. е.	59,12±9,15	87,79±13,61

*Примечание.* Установлены статистически значимые отличия от группы мужчин с удовлетворительной адаптацией: \*, \*\*\* – по *U*-критерию Манна–Уитни с поправкой Бонферрони ( $p < 0,05$  и  $p < 0,005$  соответственно); \*\*, \*\* и \*\*\* – по критерию Краскела–Уоллиса для независимых выборок ( $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$  и  $p < 0,005$  соответственно).

I степени, и только в 21 % случаев зафиксирована нормальная масса тела. Напротив, у большинства мужчин с удовлетворительной адаптацией (53 %) была нормальная масса тела, у 41 % – ее избыток, и только в 6 % случаев наблюдалось ожирение.

При оценке гемодинамических показателей установлено, что ЧСС была примерно одинаковой в обеих исследуемых группах, но при напряжении механизмов адаптации САД было статистически значимо выше ( $p < 0,001$ ), несмотря на его соответствие нормативным значениям, а ДАД оказалось выше физиологической нормы (60–80 мм рт. ст.) [15]. ПСС в обеих группах обследованных было выше нормы ( $2500 \text{ дин}\cdot\text{с}\cdot\text{см}^{-5}$ ), что может быть связано с вахтовым режимом труда. Известно, что для пришлого населения Крайнего Севера характерно повышение ПСС, подобные изменения зависят от срока проживания и носят фазовый характер [4]. Однако на фоне напряжения механизмов адаптации показатель был значительно выше ( $4931,48 \pm 395,39 \text{ дин}\cdot\text{с}\cdot\text{см}^{-5}$ ), чем при удовлетворительной адаптации ( $3828,19 \pm 303,72 \text{ дин}\cdot\text{с}\cdot\text{см}^{-5}$ ).

При напряжении механизмов адаптации были статистически значимо выше СДД ( $141,14 \pm 2,79 \text{ мм рт. ст.}$ ,  $p < 0,01$ ), а также потребность миокарда в кислороде (по ДП –  $90,95 \pm 2,89 \text{ у. е.}$ ,  $p < 0,01$ ), чем при удовлетворительной адаптации. Значения показателя ДП более 90 у. е. свидетельствуют о нарушении регуляции деятельности сердечно-сосудистой системы [16].

Способность организма воспринимать факторы внешней среды, особенно социальные, в качестве стрессоров и приспосабливаться к ним с наименьшими энергопотерями зависит от индивидуальных психофизиологических характеристик личности, таких как сила и лабильность нервной системы.

В качестве психоэмоциональной нагрузки был использован теппинг-тест, предполагающий выполнение максимальной работы в течение 30 с: заполнение точками 6 квадратов  $20 \times 20 \text{ см}$  на листе бумаги, 5 с – на каждый квадрат. Для оценки силы нервной системы была подсчитана разница между количеством

точек в последнем и первом квадратах, что позволило облегчить статистическую обработку результатов. Оказалось, что мужчины с удовлетворительной адаптацией способны не только поддерживать предложенный рабочий темп, но и повышать качество работы: количество точек в последнем квадрате у них возрастало. Напротив, у лиц с напряжением адаптационных механизмов качество работы ухудшалось, что говорит о более низкой приспособительной способности нервной системы (табл. 1).

Процентное распределение результатов теппинг-теста на основании подсчета количества точек в каждом квадрате [13] свидетельствует о том, что у мужчин с напряжением механизмов адаптации в 21 % случаев была слабая нервная система, в 37 % – средняя и только в 42 % – сильная, тогда как при удовлетворительной адаптации большинство (71 %) мужчин демонстрировали сильный тип нервной системы, 18 % – средний и лишь 11 % – слабый.

На основании измерения КГР на «Активациометре АЦ-6» установлено, что ПЭС мужчин с напряжением механизмов адаптации в покое несколько выше, чем у лиц с удовлетворительной адаптацией, однако различия были статистически незначимы. После психоэмоциональной нагрузки в виде теппинг-теста при удовлетворительной адаптации значения ПЭС возросли ( $p < 0,05$  по  $U$ -критерию Вилкоксона), тогда как при напряжении механизмов адаптации они оставались практически неизменными ( $87,79 \pm 13,61 \text{ у. е.}$  до нагрузки и  $96,10 \pm 16,83 \text{ у. е.}$  после нее,  $p > 0,05$  по  $U$ -критерию Вилкоксона) (табл. 1, 2).

При оценке чувствительности системы кровообращения к психоэмоциональной нагрузке установлено, что после выполнения теппинг-теста у мужчин с удовлетворительной адаптацией статистически значимо увеличились значения САД – со  $114,59 \pm 2,37 \text{ мм рт. ст.}$  до  $116,75 \pm 2,14 \text{ мм рт. ст.}$ ,  $\Delta \text{САД} = 2,50 \pm 1,99 \text{ мм рт. ст.}$  ( $p < 0,05$ ) (табл. 1, 2). У лиц с напряжением механизмов адаптации САД изначально было выше ( $127,26 \pm 2,28 \text{ мм рт. ст.}$ ;  $p < 0,001$ ) и статистически значимого подъема показателя не про-

изошло, что соответствует «закону исходной величины», при этом  $\Delta\text{САД} = -1,74 \pm 1,45$  мм рт. ст.

Значения СДД после выполнения теста в группе мужчин с удовлетворительной адаптацией закономерно повысились до  $130,92 \pm 2,45$  мм рт. ст. ( $\Delta\text{СДД} = 3,79 \pm 2,52$  мм рт. ст.), а в группе с напряжением механизмов адаптации, наоборот, понизились до  $139,19 \pm 2,48$  мм рт. ст. ( $\Delta\text{СДД} = -1,95 \pm 1,96$  мм рт. ст.). Уменьшение ДАД было незначительным в обеих группах, но если АД после нагрузки при удовлетворительной адаптации возрастало, то при неудовлетворительной – снижалось (табл. 2).

а на фоне напряжения адаптационных механизмов –  $\Delta\text{ПСС} = -92,14 \pm 189,48$  дин·с·см<sup>-5</sup> (табл. 2), при этом значения ПСС после выполнения теппинг-теста у лиц с напряжением механизмов адаптации оставались более высокими ( $p < 0,05$ ). О том, что сердечная мышца испытывала большее напряжение и в большей степени нуждалась в кислороде у лиц с напряжением механизмов адаптации, свидетельствуют более высокие значения ДП после выполнения теппинг-теста по сравнению с таковыми у лиц с удовлетворительной адаптацией ( $p < 0,01$ ).

Таблица 2

**Изменение показателей психоэмоционального состояния и гемодинамики в ответ на психоэмоциональную нагрузку (теппинг-тест) у здоровых мужчин-вахтовиков с различным адаптационным потенциалом ( $M \pm m$ )**

**Changes in indicators of psycho-emotional state and haemodynamics in response to psycho-emotional stress (tapping test) in healthy male rotational workers with different adaptive potential ( $M \pm m$ )**

Показатель	Группа с удовлетворительной адаптацией ( $n = 27$ )		Группа с напряжением механизмов адаптации ( $n = 29$ )	
	После теста	$\Delta$	После теста	$\Delta$
ПЭС, у. е.	71,69±10,76*	11,83±4,07	96,10±16,83	8,95±5,05
ЧСС, уд/мин	67,37±2,56	0,12±1,01	73,05±2,32	1,26±1,04
САД, мм рт. ст.	116,75±2,14*	2,50±1,99	125,53±2,09**	-1,74±1,41•
ДАД, мм рт. ст.	74,25±2,02	-1,37±1,29	84,53±2,04**	-1,10±1,37
ПД, мм рт. ст.	42,50±1,72	3,87±1,89	41,00±1,96	-0,63±2,02
СДД, мм рт. ст.	130,92±2,45	3,79±2,52	139,19±2,48•	-1,95±1,96•
ДП, у. е.	78,55±3,11	2,01±1,53	91,24±2,54**	0,29±2,14
ПСС, дин·с·см <sup>-5</sup>	3596,06±239,71	-175,41±118,25	4839,34±422,92•	-92,14±189,48

Примечание:  $\Delta$  – абсолютный прирост показателя после выполнения теппинг-теста (по сравнению с результатом до него – см. табл. 1); \* – установлены статистически значимые различия с результатами до теппинг-теста (табл. 1) по U-критерию Вилкоксона ( $p < 0,05$ ); •, \*\* – установлены статистически значимые различия с группой мужчин с удовлетворительной адаптацией по U-критерию Манна–Уитни ( $p < 0,05$  и  $p < 0,01$  соответственно).

В связи с доминированием гипертензивных реакций на различные экзо- и эндогенные воздействия у мужчин начиная с 35 лет [17], после психической нагрузки наблюдалось закономерное снижение ПСС в обеих группах, однако на фоне удовлетворительной адаптации  $\Delta\text{ПСС} = -175,41 \pm 118,25$  дин·с·см<sup>-5</sup>,

**Обсуждение.** Таким образом, согласно результатам нашего исследования, состояние напряжения механизмов адаптации формируется чаще у мужчин-вахтовиков с избытком массы тела на фоне слабой нервной системы. Вероятно, слабость нервной системы ограничивает как резервы психосоциальной

адаптации, так и приспособительные реакции со стороны других систем, в частности сердечно-сосудистой. Напряжение механизмов адаптации проявляется повышенным фоновым ПЭС и отсутствием его реакции на психоэмоциональную нагрузку. Нарушение регуляторных механизмов при напряжении механизмов адаптации проявляется возрастанием СДД на фоне повышенной жесткости сосудов, однако ДП и потребность миокарда в кислороде растут. В некоторых исследованиях отмечается повышение ПСС и артериального давления у пришлого населения Севера с увеличением срока проживания [4]. Ряд авторов выделяют «северную легочную гипертензию», возникающую при адаптации к «синдрому полярного напряжения» и сопровождающуюся небольшим возрастанием САД при изменениях в вегетативной нервной системе [10].

Незначительные изменения гемодинамических показателей в ответ на психоэмоциональную нагрузку свидетельствуют об ограничении адаптационных резервов сердечно-сосудистой системы у обследованных нами мужчин. В качестве скрининговых критериев напряжения адаптационного процесса, вероятно, могут быть использованы фоновое повышенное ДАД (более 80 мм рт. ст.) у мужчин с избытком массы тела, а также низкая реактивность сердечно-сосудистой системы: отсутствие прироста значений САД и СДД после психоэмоциональной нагрузки.

Надеемся, что данную методику можно использовать для раннего выявления напряжения механизмов адаптации здоровых мужчин, работающих в условиях Крайнего Севера, в качестве донозологического скрининга. На сегодняшний день планируем продолжить исследование на других возрастных группах.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

## Список литературы

1. Саликова С.П., Власов А.А., Гриневиц В.Б. Адаптация человека к условиям Крайнего Севера: фокус на коррекцию микробно-тканевого комплекса желудочно-кишечного тракта // Экология человека. 2021. Т. 28, № 2. С. 4–12. <http://dx.doi.org/10.33396/1728-0869-2021-2-4-12>
2. Space Storms and Space Weather Hazard / ed. by I.A. Daglis. Kluwer Academic Publishers, 2001. 482 p.
3. Sutherland V.J., Cooper C.L. Stress in the Offshore Oil and Gas Exploration and Production Industries: An Organizational Approach to Stress Control // Stress Med. 1996. Vol. 12, № 1. P. 27–34. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1700\(199601\)12:1<27::AID-SMI675>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1700(199601)12:1<27::AID-SMI675>3.0.CO;2-0)
4. Черкашин Д.В., Макиев Р.Г., Кириченко П.Ю., Марин А.И., Фисун А.Я., Аланичев А.Е. Современные подходы и технологии, используемые при медицинском обеспечении военнослужащих в условиях Крайнего Севера // Воен.-мед. журн. 2020. Т. 341, № 3. С. 4–9.
5. Paradies Y. A Theoretical Review of Psychosocial Stress and Health // Role of Stress in Psychological Disorders / ed. by A.P. Barnes, J.E. Montefusco. Nova Science Publishers, 2011. P. 1–20.
6. Корнеева Я.А., Симонова Н.Н., Дегтева Г.Н., Дубинина Н.И. Стратегии адаптации вахтовых работников на Крайнем Севере // Экология человека. 2013. Т. 20, № 9. С. 9–16. <http://dx.doi.org/10.17816/humeco17305>
7. Parkes K.R. Psychosocial Aspects of Work and Health in the North Sea Oil and Gas Industry: Summaries of Reports Published 1996–2001. Sudbury: HSE Books, 2002. 43 p.
8. Багнетова Е.А., Малюкова Т.И., Болотов С.В. К вопросу об адаптации организма человека к условиям жизни в северном регионе // Успехи соврем. естествознания. 2021. № 4. С. 111–116. <https://doi.org/10.17513/use.37616>
9. Sato M., Matsuo T., Atmore H., Akashi M. Possible Contribution of Chronobiology to Cardiovascular Health // Front. Physiol. 2014. Vol. 4. Art. № 409. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00409>

10. Шуркевич Н.П., Ветошкин А.С., Гапон Л.И., Симонян А.А., Дьячков С.М. Гендерный фактор и риск развития сердечно-сосудистых заболеваний у вахтовых рабочих в Арктике // Артер. гипертензия. 2021. Т. 27, № 4. С. 446–456. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2021-27-4-446-456>
11. Луговая Е.А., Аверьянова И.В. Оценка коэффициента напряжения адаптационных резервов организма при хроническом воздействии факторов Севера // Анализ риска здоровью. 2020. № 2. С. 101–109. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.2.11>
12. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Введение в донозологическую диагностику. М.: Слово, 2008. 220 с.
13. Шириев Р.Р., Закиева Р.Р. «Теппинг-тест» как метод исследования воздействия светоцветовой среды на качество профессиональной подготовки студентов технических вузов // Вестн. Марийск. гос. ун-та. 2018. Т. 12, № 2. С. 84–91. <https://doi.org/10.30914/2072-6783-2018-12-2-84-91>
14. Логинов А.А., Кузнецова З.М., Мутаева И.Ш. Анализ показателей психоэмоционального состояния кадетов после реализации средств саморегуляции // Пед.-психол. и мед.-биол. проблемы физ. культуры и спорта. 2020. Т. 15, № 4. С. 84–90. <https://doi.org/10.14526/2070-4798-2020-15-4-84-90>
15. Williams B., Mancia G., Spiering W., Agabiti Rosei E., Azizi M., Burnier M., Clement D.L., Coca A., de Simone G., Dominiczak A., Kahan T., Mahfoud F., Redon J., Ruijlope L., Zanchetti A., Kerins M., Kjeldsen S.E., Kreuz R., Laurent S., Lip G.Y.H., McManus R., Narkiewicz K., Ruschitzka F., Schmieder R.E., Shlyakhto E., Tsioufis C., Aboyans V., Desormais I. 2018 ESC/ESH Guidelines for the Management of Arterial Hypertension: The Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Hypertension (ESH) // Eur. Heart J. 2018. Vol. 39, № 33. P. 3021–3104. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy339>
16. Гречкина Л.И. Оценка показателей гемодинамики как маркеров потенциального риска заболеваний сердечно-сосудистой системы у юношей с разным типом саморегуляции кровообращения // Анализ риска здоровью. 2019. № 1. С. 118–124. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.1.13>
17. Zellweger M.J. Prognostic Significance of Silent Coronary Artery Disease in Type 2 Diabetes // Herz. 2006. Vol. 31, № 3. P. 240–246. <https://doi.org/10.1007/s00059-006-2790-1>

## References

1. Salikova S.P., Vlasov A.A., Grinevich V.B. Human Adaptation to the Conditions of the Far North: Emphasis on the Correction of the Microbial-Tissue Complex of the Gastrointestinal Tract. *Hum. Ecol.*, 2021, vol. 28, no. 2, pp. 4–12. <http://dx.doi.org/10.33396/1728-0869-2021-2-4-12>
2. Daglis I.A. (ed.). *Space Storms and Space Weather Hazard*. Kluwer Academic Publishers, 2001. 482 p.
3. Sutherland V.J., Cooper C.L. Stress in the Offshore Oil and Gas Exploration and Production Industries: An Organizational Approach to Stress Control. *Stress Med.*, 1996, vol. 12, no. 1, pp. 27–34. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1700\(199601\)12:1<27::AID-SMI675>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1700(199601)12:1<27::AID-SMI675>3.0.CO;2-0)
4. Cherkashin D.V., Makiev R.G., Kirichenko P.Yu., Marin A.I., Fisun A.Ya., Alanichev A.E. Sovremennye podkhody i tekhnologii, ispol'zuemye pri meditsinskom obespechenii voennosluzhashchikh v usloviyakh Kraynego Severa [Modern Approaches and Technologies Used in the Medical Support of Military Personnel in the Far North]. *Voенно-meditsinskiy zhurnal*, 2020, vol. 341, no. 3, pp. 4–9.
5. Paradies Y. A Theoretical Review of Psychosocial Stress and Health. Barnes A.P., Montefuscio J.E. (eds.). *Role of Stress in Psychological Disorders*. New York, 2011, pp. 1–20.
6. Korneeva Ya.A., Simonova N.N., Degteva G.N., Dubinina N.I. Strategii adaptatsii vakhtovykh rabotnikov na Kraynem Severe [Shift Workers' Adaptation Strategies in the Far North]. *Ekologiya cheloveka*, 2013, vol. 20, no. 9, pp. 9–16. <http://dx.doi.org/10.17816/humeco17305>
7. Parkes K.R. *Psychosocial Aspects of Work and Health in the North Sea Oil and Gas Industry: Summaries of Reports Published 1996–2001*. Sudbury, 2002. 43 p.
8. Bagnetova E.A., Malyukova T.I., Bolotov S.V. K voprosu ob adaptatsii organizma cheloveka k usloviyam zhizni v severnom regione [Adapting the Human Body to Living Conditions in the Northern Region]. *Uspekhi sovremennoy estestvoznaniya*, 2021, no. 4, pp. 111–116. <https://doi.org/10.17513/use.37616>
9. Sato M., Matsuo T., Atmore H., Akashi M. Possible Contribution of Chronobiology to Cardiovascular Health. *Front. Physiol.*, 2014, vol. 4. Art. no. 409. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00409>

10. Shurkevich N.P., Vetoshkin A.S., Gapon L.I., Simonyan A.A., Dyachkov S.M. Gender and Cardiovascular Risk in Rotational Shift Workers in the Arctic. *Arter. Hypertens.*, 2021, vol. 27, no. 4, pp. 446–456. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2021-27-4-446-456>
11. Lugovaya E.A., Aver'yanova I.V. Assessing Tension Coefficient of Body Adaptation Reserves Under Chronic Exposure to Factors Existing in Polar Regions. *Health Risk Anal.*, 2020, no. 2, pp. 101–109. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.2.11.eng>
12. Baevskiy R.M., Berseneva A.P. *Vvedenie v donozologicheskuyu diagnostiku* [Introduction to Prenosological Diagnosis]. Moscow, 2008. 220 p.
13. Shiriev R.R., Zakieva R.R. “Tapping Test” as a Method of Investigation of the Light-Color Environment Influence on the Quality of Professional Training of Technical University Students. *Vestnik Mari State Univ.*, 2018, vol. 12, no. 2, pp. 84–91 (in Russ.). <https://doi.org/10.30914/2072-6783-2018-12-2-84-91>
14. Loginov A.A., Kuznetsova Z.M., Mutaeva I.Sh. Psycho-Emotional State Indices Analysis Among Cadets After Self-Regulation Means Realization. *Russ. J. Phys. Educ. Sport*, 2020, vol. 15, no. 4, pp. 84–90. <https://doi.org/10.14526/2070-4798-2020-15-4-84-90>
15. Williams B., Mancia G., Spiering W., Agabiti Rosei E., Azizi M., Burnier M., Clement D.L., Coca A., de Simone G., Dominiczak A., Kahan T., Mahfoud F., Redon J., Ruilope L., Zanchetti A., Kerins M., Kjeldsen S.E., Kreutz R., Laurent S., Lip G.Y.H., McManus R., Narkiewicz K., Ruschitzka F., Schmieder R.E., Shlyakhto E., Tsioufis C., Aboyans V., Desormais I. 2018 ESC/ESH Guidelines for the Management of Arterial Hypertension: The Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Hypertension (ESH). *Eur. Heart J.*, 2018, vol. 39, no. 33, pp. 3021–3104. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy339>
16. Grechkina L.I. Hemodynamics Parameters as Risk Markers of Potential Diseases in the Cardiovascular System and Their Assessment in Young Men with Different Types of Blood Circulation Self-Regulation. *Health Risk Anal.*, 2019, no. 1, pp. 118–124. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.1.13.eng>
17. Zellweger M.J. Prognostic Significance of Silent Coronary Artery Disease in Type 2 Diabetes. *Herz*, 2006, vol. 31, no. 3, pp. 240–245. <https://doi.org/10.1007/s00059-006-2790-1>

Received 25 March 2023  
Accepted 21 September 2023  
Published 30 November 2023

Поступила 25.03.2023  
Принята 21.09.2023  
Опубликована 30.11.2023



Журнал медико-биологических исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 471–482.

*Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 471–482.

Обзорная статья

УДК [796.1.071.2/.077.2:004.946]:612.821

DOI: 10.37482/2687-1491-Z166

## Экспериментальные способы изучения нейрофизиологических особенностей киберспортсменов (обзор)

Василий Федорович Пятин\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9310-9413>

Юлия Валерьевна Мякишева\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0947-511X>

Дарья Сергеевна Громова\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0650-0252>

Андрей Федорович Павлов\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0614-7914>

\*Самарский государственный медицинский университет  
(г. Самара)

**Аннотация.** Электронные виды спорта, имеющие соревновательный характер, объединены в направление, называемое киберспортом. Соревновательная деятельность в киберспорте способствует формированию когнитивных навыков, развитию абстрактного мышления, памяти, пространственного мышления и способности ориентироваться в условиях дефицита времени в виртуальном пространстве. В связи с этим перспективным является изучение нейрофизиологических механизмов, обеспечивающих реализацию и регуляцию физиологических процессов в ходе занятий электронными видами спорта. Согласно классификации Л.П. Матвеева (2017), киберспорт относится к пятой группе видов спортивной деятельности, которая характеризуется абстрактно-логическим обыгрыванием при сниженной двигательной активности. Компьютерные игры стимулируют развитие когнитивных функций, таких как время реакции, скорость принятия решений, внимание, координация рук и др., что невольно наводит исследователей на мысль о сходстве психоэмоциональных и психофизиологических параметров киберспортсменов и спортсменов, занимающихся другими видами спорта. Однако следует отметить, что нейрофизиологические механизмы этих процессов у киберспортсменов практически не исследовались. Поскольку основой данных механизмов является деятельность центральной нервной системы, представляется интересным рассмотреть особенности биоэлектрической активности больших полушарий мозга киберспортсменов во взаимосвязи с особенностями их когнитивного стиля. Представленная обзорная статья составлялась при использовании электронных библиотек PubMed, Scopus, Google Scholar и ряда отечественных научных баз данных путем введения следующих поисковых запросов: «видеоигры», «игровая зависимость», «киберспорт», «когнитивные функции», «нейрофизиологические особенности киберспортсменов», «методы нейрофизиологического исследования в киберспорте», «неинвазивные методы исследования». На основе проведенного анализа литературных источников были выделены методы, позволяющие оценить функциональное состояние

**Ответственный за переписку:** Павлов Андрей Федорович, адрес: 443001, г. Самара, ул. Арцыбушевская, д. 171; e-mail: a.f.pavlov@samsmu.ru

головного мозга в процессе обработки сенсорных сигналов, физиологические изменения функционирования высшей нервной деятельности, установить пиковую амплитуду мышечного усилия посредством интеграции сигнала. Перечислены методы, которые демонстрируют спорные результаты, поскольку не дают возможности установить механизмы функционирования нервной системы. Также отмечены перспективные методы, позволяющие считывать активность мозга путем применения инфракрасного света.

**Ключевые слова:** киберспорт, киберспортсмен, когнитивная нагрузка, возбудимость нейронов, функциональное состояние головного мозга, нейрофизиологические механизмы.

**Для цитирования:** Пятин В.Ф., Мякишева Ю.В., Громова Д.С., Павлов А.Ф. Экспериментальные способы изучения нейрофизиологических особенностей киберспортсменов (обзор) // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 471–482. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z166>

Review article

## Experimental Methods of Studying the Neurophysiological Features of Esports Players (Review)

Vasiliy F. Pyatin\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9310-9413>

Yuliya V. Myakisheva\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0947-511X>

Dar'ya S. Gromova\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0650-0252>

Andrey F. Pavlov\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0614-7914>

\*Samara State Medical University  
(Samara, Russian Federation)

**Abstract.** Electronic sports (esports) is a form of competition using video games. Competitions in esports help to develop cognitive skills, abstract thinking, memory, spatial thinking and the ability to navigate the virtual space under time pressure. In this regard, neurophysiological mechanisms implementing and regulating physiological processes when playing esports are a promising topic of research. According to L.P. Matveyev's classification (2017), esports belongs to the fifth group of sports activities, which is characterized by applying abstract logic under decreased motor activity. Computer games stimulate the development of cognitive functions, such as reaction time, speed of decision making, attention, hand coordination and others, which suggests that the psycho-emotional and psycho-physiological parameters in esports players are similar to those in other athletes. However, it should be noted that the neurophysiological mechanisms of these processes in esports players have been little studied. Since these mechanisms are based on the activity of the central nervous system, it is interesting to consider the bioelectric activity of the cerebral hemispheres in esports players in relation to their cognitive style. In the PubMed, Scopus and Google Scholar electronic libraries as well as a number of Russian scientific databases, the authors entered the following search queries: *video games, video game addiction, esports, cognitive functions, neurophysiology of esports players, neurophysiological research methods in esports, non-invasive research methods*. Based on the literature analysis, methods were identified that allow us to assess the functional state of the brain when processing

**Corresponding author:** Andrey Pavlov, address: ul. Artsybushevskaya 171, Samara, 443001, Russian Federation; e-mail: [a.f.pavlov@samsmu.ru](mailto:a.f.pavlov@samsmu.ru)

sensory signals and physiological changes in higher nervous activity as well as to determine peak amplitude of muscle force through signal integration. Further, methods demonstrating controversial results are listed, which do not make it possible to establish the mechanisms of the nervous system. In addition, promising methods are identified that allow us to read brain activity using infrared light.

**Keywords:** *esports, esports player, cognitive load, neuronal excitability, functional state of the brain, neurophysiological mechanisms.*

**For citation:** Pyatin V.F., Myakisheva Yu.V., Gromova D.S., Pavlov A.F. Experimental Methods of Studying the Neurophysiological Features of Esports Players (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol.11, no. 4, pp. 471–482. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z166>

Киберспорт на сегодняшний день является одним из популярнейших видов спорта и представляет собой соревновательную деятельность или специальные практики подготовки к соревнованиям, проводимые на основе компьютерных или видеоигр [1, 2]. С каждым годом увеличивается количество соревнований по данному виду спорта как на профессиональном, так и на любительском уровне [2].

Для достижения успеха, как и в любом другом спорте, киберспортсмен должен иметь высокий уровень подготовки и обладать некоторыми типологическими качествами, обеспечивающими высокий уровень мотивации, выносливость и сфокусированность на результате [3, 4].

В связи с ростом популярности электронных видов спорта особую научную ценность приобретают технологии неинвазивного мониторинга физиологических биомаркеров у киберспортсменов, анализ которых представлен в публикациях с перечислением ряда коммерчески доступных инструментов [1].

В относительно немногих исследованиях, касающихся киберспорта, изучалось его физиологическое воздействие на организм спортсмена. Как правило, используются методы регистрации частоты сердечных сокращений (ЧСС), частоты дыхания и минутной вентиляции легких во время нагрузки, а также сравнение указанных параметров с величинами, характерными для состояния покоя испытуемых [5–6]. В ряде исследований [7–11] было установлено, что перечисленные показатели функционирования дыхательной и сердечно-

сосудистой систем были достоверно выше у спортсменов-победителей, чем у проигравшей команды. Соревновательные видеоигры не предполагают высокого уровня физической нагрузки, необходимого для многих других видов спорта, но, как правило, вызывают состояние психологического стресса или психоэмоционального напряжения с ответными реакциями вегетативной нервной системы. Наряду с функциональными сдвигами, выявляемыми у киберспортсменов, в публикациях приводятся данные, описывающие жалобы игроков на боли в суставах, головную боль, проблемы со сном, а также эффекты от цифрового напряжения на зрительный анализатор [4, 12, 13].

В ходе игры регистрируется высокая активность когнитивных процессов, а также происходит усиление электрических паттернов, связанных с процессами принятия решений, планированием, распределением времени; вовлекается активность исполнительных и когнитивных функций, управляющих поведением человека, способностью принимать решения, организацией, планированием и постановкой целей, саморегуляцией. В исследованиях показано, что у субъектов, которые играют в видеоигры, сокращается время простой и сложной сенсомоторных реакций, но при этом снижается точность реализации двигательных функций, время моторной реакции, точность некоторых показателей исполнительской функции [14–16]. Анализ разных типов игр (например, шутер от первого лица (FPS) и многопользовательская игровая арена

(МОБА)) показал, что киберспортсмены, которые играли в FPS, демонстрировали более короткое время сенсомоторной реакции, у них выявлялось ослабление процессов торможения в сравнении с игроками МОБА [14, 16, 17]. С исследовательской точки зрения, жанр FPS (first-person shooter) интересен при изучении скорости движений, точности попадания в цель, времени реакции, ориентации в пространстве и концентрации внимания.

Таким образом, при анализе доступных источников выявлено, что сведения о вегетативных и нейрофизиологических особенностях/показателях/процессах лиц, занятых в соревновательных видеоиграх, разрозненны и недостаточны для целостного анализа проблемы.

Цель настоящей работы – провести системный анализ литературных данных о современных способах изучения вегетативных и нейрофизиологических особенностей киберспортсменов.

Изучая феномен киберспортсменов и сравнивая их с традиционными спортсменами, можно отметить, что, независимо от вида деятельности, у профессионалов существует потребность в быстром и качественном развитии таких навыков, как выносливость, быстрая скорость реакции, точность и высокая адаптивность. Их можно выработать за длительное время путем изнуряющих тренировок. При анализе научных баз данных выясняется, что исследователи всего мира заинтересованы в том, чтобы за короткое время развивать качества, которые необходимы в профессиональных соревнованиях [18–20]. Оптимальным является приобретение подобных навыков без чрезмерных тренировок, провоцирующих эмоциональное выгорание и феномен перетренированности. Именно такую цель преследуют физиологи и спортивные врачи во всем мире.

Наибольшей популярностью при изучении нейрофизиологических особенностей киберспортсменов пользуются неинвазивные методы, среди которых особое место занимают электроэнцефалография (ЭЭГ), функ-

циональная магнитно-резонансная томография (фМРТ), функциональная ближняя инфракрасная спектроскопия (fNIRS) [20–21].

В последние годы наблюдается рост интереса к применению ЭЭГ. Метод используется для регистрации биоэлектрической активности головного мозга. С помощью него можно изучать функциональное состояние мозга в процессе обработки сенсорных сигналов, при формировании ощущений различной модальности, а также при замысливании и реализации двигательных программ в ходе занятия различными видами спорта [23]. Основными преимуществами ЭЭГ являются, с одной стороны, ее портативность (можно использовать беспроводные приборы), с другой – высокое временное разрешение.

В 1961 году американский психолог Грегори Разран впервые предложил концепцию биологической обратной связи, предположив, что люди могут использовать специальные инструменты для наблюдения за своими физиологическими изменениями и научиться контролировать себя для наиболее успешной адаптации к действию различных факторов среды. С тех пор биологическая обратная связь стала важной темой исследований. Особенно это касается обучения нейрофидбэку (neurofeedback – NFT), который позволяет изучать сигналы собственного мозга и механизмы восприятия [19, 24, 25].

Основываясь на модальности сигнала, NFT задействует методы ЭЭГ, фМРТ и fNIRS. NFT ЭЭГ – один из наиболее часто используемых методов [26]. Инструментальным прибором является Emotiv Insight – 5-канальное устройство ЭЭГ с сухими датчиками, которое измеряет активность всех долей коры головного мозга, приводя подробную информацию [27].

Исследование фМРТ, проведенное в 2014 году Найто Хироши, предоставило доказательства того, что мозг профессионального футболиста использует меньше нейронов, связанных с двигательной активностью, чем у людей, далеких от спорта. Аналогичные результаты были получены в других направлениях: тен-

нисе, гандболе [24, 28]. На сегодняшний день отсутствуют данные об использовании фМРТ при обследовании киберспортсменов.

МРТ является оптимальным способом изучения распределения и локализации функций в мозге. Однако с ее помощью по-прежнему невозможно установить механизмы функционирования нервной системы. Поэтому перспективен является метод оптической нейровизуализации (fNIRS) [24, 29].

Метод fNIRS используется для считывания мозговой активности путем введения ближнего инфракрасного света (NIR) в интересующую область головы. Измерение активности мозга методом fNIRS основано на регистрации изменений содержания кислорода в крови сосудов мозга с помощью NIR. Исследования [30–32] показали, что уровень в процессе игры с использованием видеотехнологий существенно всего снижается в префронтальной коре как у взрослых, так и у детей 7–14 лет. С помощью fNIRS фиксируются изменения концентраций коркового дезоксигенированного и оксигенированного гемоглобина [33].

В другом исследовании [34, 35] основное внимание уделялось оценке того, приводит ли длительное взаимодействие с видеоиграми к снижению уровня охуНв в дорсальной префронтальной коре (prefrontal cortex – PFC) у детей в возрасте 7–14 лет. Авторы пришли к выводу, что снижение внимания пользователя во время игры в течение длительного времени не имеет возрастной корреляции [36].

Еще одним неинвазивным методом изучения показателей организма при занятиях киберспортом является электромиография (ЭМГ). Датчики ЭМГ фиксируют электрическую мышечную активность на участке кожи, при этом наиболее часто используются биполярные установки [37]. Сумма последовательных потенциалов действия регистрируется во время наблюдаемой двигательной задачи и подвергается последующей обработке для удаления шума или нормализации сигнала с целью межпредметного и внутриобъектного сравнения [37]. Сигнал ЭМГ предоставляет информацию для количе-

ственной оценки мышечного усилия посредством исправления и интеграции сигнала или вычисления пиковой амплитуды, а также для определения конкретных паттернов активации мышц и синергии, которые обуславливаются временными событиями (т. е. началом и смещением мышечной активации) [38–40]. В спортивных приложениях анализ ЭМГ обычно выполняется для оценки амплитуды мышечной активности или определения начала и смещения активности ЭМГ; в других случаях частотный анализ позволяет оценить развитие мышечного утомления [41]. В настоящее время появление коммерчески доступных и портативных беспроводных систем ЭМГ способствует прогрессу в изучении контроля центральной нервной системы при замысливании и реализации сложных произвольных движений.

Взаимосвязь между психологическим и физиологическим состояниями игрока отражена еще в работе М. Hahn (1973), в которой продемонстрировано влияние психических состояний, развивающихся при занятиях спортом, на протекание физиологических процессов [42].

С целью установления динамики вегетативного состояния киберспортсменов авторы другой статьи изучают изменение их физиологического состояния при использовании видеоигр различных жанров боевого типа [43]. При этом у игроков зарегистрированы повышение уровня кортизола в слюне, изменение параметров variability сердечного ритма перед соревнованиями, что, вероятно, связано с повышением уровня стресса и беспокойства. Такие данные напрямую свидетельствуют об усилении активности симпатической нервной системы [44].

Соревновательный стресс изменяет ряд вегетативных показателей организма, в частности вызывает нарушение процессов реполяризации сердца, что отражается на амплитуде Т-зубца, изменении ST-интервала на ЭКГ и является маркером аритмии [44–46].

Интересно, что командный спорт влияет на физиологические показатели всех игро-

ков. Так, межличностное взаимодействие в рамках командных диад способствует физиологической синхронизации, которая определяется как изменение физиологического состояния у двух или более людей в одно и то же время [46].

Поскольку игроки в киберспортивных соревнованиях обмениваются некоторой сенсорной информацией и взаимодействуют друг с другом, активность вегетативной нервной системы в диадах синхронизируется либо положительно, либо отрицательно [47, 48]. Обнаружено большее увеличение ЧСС во время командной соревновательной игры по сравнению с одиночной. Отмечается изменение ЧСС по ходу игры таким образом, что средняя ЧСС значительно выше к концу игр или матчей, за исключением первой игры, в которой средняя ЧСС в 1-м раунде также высока, как и в финальном. Обнаружено, что временная структура ЧСС (Heart Rate – HR) во время каждого матча сильно коррелирована между двумя соперниками [47, 49].

Гальваническая реакция кожи (GSR) также может использоваться в качестве инструмента оценки стресса у киберспортсменов в различные периоды игры и в покое. Проводимость кожи зависит от состояния потовых желез, которое регулируется автономной нервной системой (ANS). Во время соревновательного стресса происходит возбуждение симпатической ветви ANS, которая воздействует на центральную нервную систему, в частности гипоталамус. Ответ на стрессор выражается в виде активации эккринных желез, влияющей на потовые железы, заставляя их выделять больше пота, что, в свою очередь, увеличивает проводимость кожи [49].

Сегодня киберспорт – широко обсуждаемое и распространенное направление современного спорта. Киберспортсмены принимают участие в соревнованиях перед многочисленной аудиторией. Чтобы быть в отличной форме и справляться с ситуацией стресса и психоэмоционального напряжения, а также противодействовать общим проблемам со здоровьем, вызванным особыми качествами киберспортсменов, им

необходимы оптимальные когнитивные, физические и умственные способности. Однако на сегодняшний день целостная система управления здоровьем таких спортсменов отсутствует. В связи с этим наиболее актуальными направлениями современной физиологии являются изучение физиологических механизмов адаптации к спорту у киберспортсменов, а также подбор наиболее адекватных методов.

Имеющиеся методы позволяют:

- изучить функциональное состояние мозга в покое и в процессе обработки сенсорных сигналов, при формировании ощущений различной модальности, а также при замысливании и реализации двигательных программ во время занятий различными видами спорта;

- отследить физиологические изменения и улучшить самоконтроль для наиболее успешной адаптации к действию различных факторов среды;

- исследовать распределение и локализацию функций в мозге;
- зарегистрировать изменения содержания кислорода в крови сосудов мозга с помощью инфракрасного света;

- провести количественную оценку мышечного усилия посредством исправления и интеграции сигнала или вычисления пиковой амплитуды, а также определить конкретные паттерны активации мышц и синергии, которые обуславливаются временными событиями (т. е. началом и смещением мышечной активации);

- оценить изменение физиологического состояния при использовании видеоигр различных жанров боевого типа (у игроков регистрировались повышение уровня кортизола в слюне, изменение параметров variability сердечного ритма перед соревнованиями, что, вероятно, связано с повышением уровня стресса и беспокойства);

- доказать, что соревновательный психоэмоциональный стресс у киберспортсменов вызывает изменения вегетативных показателей организма, в частности нарушение процессов реполяризации сердца, отражающееся на ам-

плитуде Т-зубца, изменении ST-интервала на ЭКГ и являющееся маркером аритмии;

- отследить физиологическую синхронизацию, которая определяется как изменение физиологического состояния у двух или более людей в одно и то же время;

- определить уровень стресса у киберспортсменов в различные периоды при помощи гальванической проводимости кожных покровов.

Спорные результаты дает фМРТ, поскольку невозможно установить механизмы функционирования нервной системы.

Перспективными является метод fNIRS. Данный метод используется для считывания мозговой активности путем введения NIR в определенные области головы, активность мозга измеряется путем регистрации изменений содержания кислорода в крови сосудов мозга с помощью инфракрасного света.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

## Список литературы

1. Stepanov A., Lange A., Khromov N., Korotin A., Burnaev E., Somov A. Sensors and Game Synchronization for Data Analysis in eSports // 2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN). Helsinki, 2019. P. 933–938. <https://doi.org/10.1109/INDIN41052.2019.8972249>
2. Andreu-Perez A.R., Kiani M., Andreu-Perez J., Reddy P., Andreu-Abela J., Pinto M., Izzetoglu K. Single-Trial Recognition of Video Gamer's Expertise from Brain Haemodynamic and Facial Emotion Responses // Brain Sci. 2021. Vol. 11, № 1. Art. № 106. <https://doi.org/10.3390/brainsci11010106>
3. Gong D., Ma W., Liu T., Yan Y., Yao D. Electronic-Sports Experience Related to Functional Enhancement in Central Executive and Default Mode Areas // Neural Plast. 2019. Vol. 2019. Art. № 1940123. <https://doi.org/10.1155/2019/1940123>
4. Koshy A., Koshy G.M. The Potential of Physiological Monitoring Technologies in Esports // Int. J. Esports. 2020. Vol. 1, № 1.
5. Sharifat H., Suppiah S. Electroencephalography-Detected Neurophysiology of Internet Addiction Disorder and Internet Gaming Disorder in Adolescents – A Review // Med. J. Malaysia. 2021. Vol. 76, № 3. P. 401–413.
6. Watanabe K., Saijo N., Minami S., Kashino M. The Effects of Competitive and Interactive Play on Physiological State in Professional Esports Players // Heliyon. 2021. Vol. 7, № 4. Art. № e06844. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06844>
7. Martin-Niedecken A.L., Schättin A. Let the Body'n'Brain Games Begin: Toward Innovative Training Approaches in eSports Athletes // Front. Psychol. 2020. Vol. 11. Art. № 138. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00138>
8. Yang X., McCoy E., Anaya-Boig E., Avila-Palencia I., Brand C., Carrasco-Turigas G., Dons E., Gerike R., Goetschi T., Nieuwenhuijsen M., Pablo Orjuela J., Int Panis L., Standaert A., de Nazelle A. The Effects of Traveling in Different Transport Modes on Galvanic Skin Response (GSR) as a Measure of Stress: An Observational Study // Environ. Int. 2021. Vol. 156. Art. № 106764. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106764>
9. Tsuji T., Arikuni F., Sasaoka T., Suyama S., Akiyoshi T., Soh Z., Hirano H., Nakamura R., Saeki N., Kawamoto M., Yoshizumi M., Yoshino A., Yamawaki S. Peripheral Arterial Stiffness During Electrocutaneous Stimulation Is Positively Correlated with Pain-Related Brain Activity and Subjective Pain Intensity: An fMRI Study // Sci. Rep. 2021. Vol. 11, № 1. Art. № 4425. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83833-6>
10. DiFrancisco-Donoghue J., Werner W.G., Douris P.C., Zwibel H. Esports Players, Got Muscle? Competitive Video Game Players' Physical Activity, Body Fat, Bone Mineral Content, and Muscle Mass in Comparison to Matched Controls // J. Sport Health Sci. 2020. Vol. 11, № 6. P. 725–730. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.07.006>
11. Sousa A., Ahmad S.L., Hassan T., Yuen K., Douris P., Zwibel H., DiFrancisco-Donoghue J. Physiological and Cognitive Functions Following a Discrete Session of Competitive Esports Gaming // Front. Psychol. 2020. Vol. 11. Art. № 1030. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01030>

12. Yamagata K., Yamagata L.M., Abela M. A Review Article of the Cardiovascular Sequelae in Esport Athletes: A Cause for Concern? // *Hellenic J. Cardiol.* 2022. Vol. 68. P. 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.hjc.2022.06.005>
13. Church D., Stapleton P., Vasudevan A., O'Keefe T. Clinical EFT as an Evidence-Based Practice for the Treatment of Psychological and Physiological Conditions: A Systematic Review // *Front. Psychol.* 2022. Vol. 13. Art. № 951451. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.951451>
14. Melentev N., Somov A., Burnaev E., Strelnikova I., Strelnikova G., Melenteva E., Menshchikov A. eSports Players Professional Level and Tiredness Prediction Using EEG and Machine Learning // *2020 IEEE SENSORS*. Rotterdam, 2020. P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/SENSORS47125.2020.9278704>
15. Seidel-Marzi O., Ragert P. Neurodiagnostics in Sports: Investigating the Athlete's Brain to Augment Performance and Sport-Specific Skills // *Front. Hum. Neurosci.* 2020. Vol. 14. Art. № 133. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00133>
16. Glass J., McGregor C. Towards Player Health Analytics in Overwatch // *2020 IEEE 8th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*. Vancouver, 2020. P. 1–5. <https://doi.org/10.1109/SeGAH49190.2020.9201733>
17. Friedl K.E. Military Applications of Soldier Physiological Monitoring // *J. Sci. Med. Sport.* 2018. Vol. 21, № 11. P. 1147–1153. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.06.004>
18. Soler-Dominguez J.L., Gonzalez C. Using EEG and Gamified Neurofeedback Environments to Improve eSports Performance: Project Neurotrainer // *Proceedings of the 16th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISIGRAPP 2021)*. Vol. 1: GRAPP. SciTePress, 2021. P. 278–283.
19. Gong A., Gu F., Nan W., Qu Y., Jiang C., Fu Y. A Review of Neurofeedback Training for Improving Sport Performance from the Perspective of User Experience // *Front. Neurosci.* 2021. Vol. 15. Art. № 638369. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.638369>
20. Bolkenius D., Dumps C., Rupprecht B. Nahinfrarotspektroskopie: Technik, Entwicklung, aktueller Einsatz und Ausblick // *Anaesthesist.* 2021. Vol. 70, № 3. P. 190–203. <https://doi.org/10.1007/s00101-020-00837-z>
21. Crispin P., Forwood K. Near Infrared Spectroscopy in Anemia Detection and Management: A Systematic Review // *Transfus. Med. Rev.* 2021. Vol. 35, № 1. P. 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.tmr.2020.07.003>
22. Pratiher S., Radhakrishnan A., Sahoo K.P., ALAM S., Kerick S.E., Banerjee N., Ghosh N., Patra A. Classification of VR-Gaming Difficulty Induced Stress Levels Using Physiological (EEG & ECG) Signals and Machine Learning // *TechRxiv*. Preprint, 2021. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.16873471.v1>
23. Pedraza-Ramirez I., Musculus L., Raab M., Laborde S. Setting the Scientific Stage for Esports Psychology: A Systematic Review // *Int. Rev. Sport Exerc. Psychol.* 2020. Vol. 13, № 1. P. 319–352. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2020.1723122>
24. Listman J.B., Tsay J.S., Kim H.E., Mackey W.E., Heeger D.J. Long-Term Motor Learning in the “Wild” with High Volume Video Game Data // *Front. Hum. Neurosci.* 2021. Vol. 15. Art. № 777779. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.777779>
25. Toth A.J., Ramsbottom N., Kowal M., Campbell M.J. Converging Evidence Supporting the Cognitive Link Between Exercise and Esport Performance: A Dual Systematic Review // *Brain Sci.* 2020. Vol. 10, № 11. Art. № 859. <https://doi.org/10.3390/brainsci10110859>
26. Herold F., Gronwald T., Scholkmann F., Zohdi H., Wyser D., Müller N.G., Hamacher D. New Directions in Exercise Prescription: Is There a Role for Brain-Derived Parameters Obtained by Functional Near-Infrared Spectroscopy? // *Brain Sci.* 2020. Vol. 10, № 6. Art. № 342. <https://doi.org/10.3390/brainsci10060342>
27. Forcione M., Chiarelli A.M., Perpetuini D., Davies D.J., O'Halloran P., Hacker D., Merla A., Belli A. Tomographic Task-Related Functional Near-Infrared Spectroscopy in Acute Sport-Related Concussion: An Observational Case Study // *Int. J. Mol. Sci.* 2020. Vol. 21, № 17. Art. № 6273. <https://doi.org/10.3390/ijms21176273>
28. Yokota Y., Soshi T., Naruse Y. Error-Related Negativity Predicts Failure in Competitive Dual-Player Video Games // *PLoS One.* 2019. Vol. 14, № 2. Art. № e0212483. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212483>
29. Deng X., Wang J., Zang Y., Li Y., Fu W., Su Y., Chen X., Du B., Dong Q., Chen C., Li J. Intermittent Theta Burst Stimulation over the Parietal Cortex Has a Significant Neural Effect on Working Memory // *Hum. Brain Mapp.* 2022. Vol. 43, № 3. P. 1076–1086. <https://doi.org/10.1002/hbm.25708>
30. Sun W., Guo Z., Yang Z., Wu Y., Lan W., Liao Y., Wu X., Liu Y. A Review of Recent Advances in Vital Signals Monitoring of Sports and Health via Flexible Wearable Sensors // *Sensors (Basel)*. 2022. Vol. 22, № 20. Art. № 7784. <https://doi.org/10.3390/s22207784>

31. Antal A., Luber B., Brem A.K., Bikson M., Brunoni A.R., Cohen Kadosh R., Dubljević V., Fecteau S., Ferreri F., Flöel A., Hallett M., Hamilton R.H., Herrmann C.S., Lavidor M., Loo C., Lustenberger C., Machado S., Miniussi C., Moliadze V., Nitsche M.A., Rossi S., Rossini P.M., Santarnecchi E., Seeck M., Thut G., Turi Z., Ugawa Y., Venkatasubramanian G., Wenderoth N., Wexler A., Ziemann U., Paulus W. Non-Invasive Brain Stimulation and Neuroenhancement // *Clin. Neurophysiol. Pract.* 2022. Vol. 7. P. 146–165. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2022.05.002>
32. Fang Q., Fang C., Li L., Song Y. Impact of Sport Training on Adaptations in Neural Functioning and Behavioral Performance: A Scoping Review with Meta-Analysis on EEG Research // *J. Exerc. Sci. Fit.* 2022. Vol. 20, № 3. P. 206–215. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2022.04.001>
33. Kiani M., Andreu-Perez J., Hagrás H., Papageorgiou E.I., Prasad M., Lin C.-T. Effective Brain Connectivity for fNIRS with Fuzzy Cognitive Maps in Neuroergonomics // *IEEE Trans. Cogn. Dev. Syst.* 2022. Vol. 14, № 1. P. 50–63. <https://doi.org/10.1109/TCDS.2019.2958423>
34. Merletti R., Muceli S. Tutorial. Surface EMG Detection in Space and Time: Best Practices // *J. Electromyogr. Kinesiol.* 2019. Vol. 49. Art. № 102363. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2019.102363>
35. Campanini I., Disselhorst-Klug C., Rymer W.Z., Merletti R. Surface EMG in Clinical Assessment and Neurorehabilitation: Barriers Limiting Its Use // *Front. Neurol.* 2020. Vol. 11. Art. № 934. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00934>
36. Besomi M., Hodges P.W., Clancy E.A., Van Dieën J., Hug F., Lowery M., Merletti R., Søgaard K., Wrigley T., Besier T., Carson R.G., Disselhorst-Klug C., Enoka R.M., Falla D., Farina D., Gandevia S., Holobar A., Kiernan M.C., McGill K., Perreault E., Rothwell J.C., Tucker K. Consensus for Experimental Design in Electromyography (CEDE) Project: Amplitude Normalization Matrix // *J. Electromyogr. Kinesiol.* 2020. Vol. 53. Art. № 102438. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2020.102438>
37. Taborri J., Keogh J., Kos A., Santuz A., Umek A., Urbanczyk C., van der Kruk E., Rossi S. Sport Biomechanics Applications Using Inertial, Force, and EMG Sensors: A Literature Overview // *Appl. Bionics Biomech.* 2020. Vol. 23. Art. № 2041549. <https://doi.org/10.1155/2020/2041549>
38. Hyland-Monks R., Marchant D., Cronin L. Self-Paced Endurance Performance and Cerebral Hemodynamics of the Prefrontal Cortex: A Scoping Review of Methodology and Findings // *Percept. Mot. Skills.* 2022. Vol. 129, № 4. P. 1089–1114. <https://doi.org/10.1177/00315125221101017>
39. Tuesta M., Yáñez-Sepúlveda R., Verdugo-Marchese H., Mateluna C., Alvear-Ordenes I. Near-Infrared Spectroscopy Used to Assess Physiological Muscle Adaptations in Exercise Clinical Trials: A Systematic Review // *Biology (Basel)*. 2022. Vol. 11, № 7. Art. № 1073. <https://doi.org/10.3390/biology11071073>
40. Campanini I., Merlo A., Disselhorst-Klug C., Mesin L., Muceli S., Merletti R. Fundamental Concepts of Bipolar and High-Density Surface EMG Understanding and Teaching for Clinical, Occupational, and Sport Applications: Origin, Detection, and Main Errors // *Sensors (Basel)*. 2022. Vol. 22, № 11. Art. № 4150. <https://doi.org/10.3390/s22114150>
41. Sun J., Liu G., Sun Y., Lin K., Zhou Z., Cai J. Application of Surface Electromyography in Exercise Fatigue: A Review // *Front. Syst. Neurosci.* 2022. Vol. 16. Art. № 893275. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2022.893275>
42. Novak J. Assessment of the Impact of Acute Stress in Cases of Necessary Defense by Czech Courts // *Ido Mov. Cult. J. Martial Arts Anthropol.* 2019. Vol. 19. P. 89–91.
43. Domínguez-Jiménez J.A., Campo-Landines K.C., Martínez-Santos J.C., Contreras-Ortiz S.H. Emotion Detection Through Biomedical Signals: A Pilot Study // *Proceedings of the 14th International Symposium on Medical Information Processing and Analysis*. Vol. 10975. SPIE, 2018. Art. № 1097506. <https://doi.org/10.1117/12.2511598>
44. Vaez Mousavi S.M., Barry R.J., Clarke A.R. Individual Differences in Task-Related Activation and Performance // *Physiol. Behav.* 2009. Vol. 98, № 3. P. 326–330. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.06.007>
45. Mavros P., Wälti J.M., Nazemi M., Ong C.H., Hölscher C. A Mobile EEG Study on the Psychophysiological Effects of Walking and Crowding in Indoor and Outdoor Urban Environments // *Sci. Rep.* 2022. Vol. 12, № 1. Art. № 18476. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20649-y>
46. Mirifar A., Keil A., Ehrlenspiel F. Neurofeedback and Neural Self-Regulation: A New Perspective Based on Allostasis // *Rev. Neurosci.* 2022. Vol. 33, № 6. P. 607–629. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2021-0133>
47. Abed Alah M., Abdeen S., Selim N. Healthy Minds for Healthy Hearts: Tackling Stress-Induced Cardiac Events During the FIFA World Cup 2022 // *Vasc. Health Risk Manag.* 2022. Vol. 18. P. 851–856. <https://doi.org/10.2147/vhrm.s390549>

48. Hoenig T., Tenforde A.S., Strahl A., Rolvien T., Hollander K. Does Magnetic Resonance Imaging Grading Correlate with Return to Sports After Bone Stress Injuries? A Systematic Review and Meta-Analysis // *Am. J. Sports Med.* 2022. Vol. 50, № 3. P. 834–844. <https://doi.org/10.1177/0363546521993807>

49. Leis O., Lautenbach F. Psychological and Physiological Stress in Non-Competitive and Competitive Esports Settings: A Systematic Review // *Psychol. Sport Exerc.* 2020. Vol. 51. Art. № 101738.

## References

1. Stepanov A., Lange A., Khromov N., Korotin A., Burnaev E., Somov A. Sensors and Game Synchronization for Data Analysis in eSports. *2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. Helsinki, 2019, pp. 933–938. <https://doi.org/10.1109/INDIN41052.2019.8972249>

2. Andreu-Perez A.R., Kiani M., Andreu-Perez J., Reddy P., Andreu-Abela J., Pinto M., Izzetoglu K. Single-Trial Recognition of Video Gamer's Expertise from Brain Haemodynamic and Facial Emotion Responses. *Brain Sci.*, 2021, vol. 11, no. 1. Art. no. 106. <https://doi.org/10.3390/brainsci11010106>

3. Gong D., Ma W., Liu T., Yan Y., Yao D. Electronic-Sports Experience Related to Functional Enhancement in Central Executive and Default Mode Areas. *Neural Plast.*, 2019, vol. 2019. Art. no. 1940123. <https://doi.org/10.1155/2019/1940123>

4. Koshy A., Koshy G.M. The Potential of Physiological Monitoring Technologies in Esports. *Int. J. Esports*, 2020, vol. 1, no. 1.

5. Sharifat H., Suppiah S. Electroencephalography-Detected Neurophysiology of Internet Addiction Disorder and Internet Gaming Disorder in Adolescents – A Review. *Med. J. Malaysia*, 2021, vol. 76, no. 3, pp. 401–413.

6. Watanabe K., Saijo N., Minami S., Kashino M. The Effects of Competitive and Interactive Play on Physiological State in Professional Esports Players. *Heliyon*, 2021, vol. 7, no. 4. Art. no. e06844. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06844>

7. Martin-Niedecken A.L., Schättin A. Let the Body'n'Brain Games Begin: Toward Innovative Training Approaches in eSports Athletes. *Front. Psychol.*, 2020, vol. 11. Art. no. 138. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00138>

8. Yang X., McCoy E., Anaya-Boig E., Avila-Palencia I., Brand C., Carrasco-Turigas G., Dons E., Gerike R., Goetschi T., Nieuwenhuijsen M., Pablo Orjuela J., Int Panis L., Standaert A., de Nazelle A. The Effects of Traveling in Different Transport Modes on Galvanic Skin Response (GSR) as a Measure of Stress: An Observational Study. *Environ. Int.*, 2021, vol. 156. Art. no. 106764. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106764>

9. Tsuji T., Arikuni F., Sasaoka T., Suyama S., Akiyoshi T., Soh Z., Hirano H., Nakamura R., Saeki N., Kawamoto M., Yoshizumi M., Yoshino A., Yamawaki S. Peripheral Arterial Stiffness During Electrocutaneous Stimulation Is Positively Correlated with Pain-Related Brain Activity and Subjective Pain Intensity: An fMRI Study. *Sci. Rep.*, 2021, vol. 11, no. 1. Art. no. 4425. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83833-6>

10. DiFrancisco-Donoghue J., Werner W.G., Douris P.C., Zwibel H. Esports Players, Got Muscle? Competitive Video Game Players' Physical Activity, Body Fat, Bone Mineral Content, and Muscle Mass in Comparison to Matched Controls. *J. Sport Health Sci.*, 2020, vol. 11, no. 6, pp. 725–730. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.07.006>

11. Sousa A., Ahmad S.L., Hassan T., Yuen K., Douris P., Zwibel H., DiFrancisco-Donoghue J. Physiological and Cognitive Functions Following a Discrete Session of Competitive Esports Gaming. *Front. Psychol.*, 2020, vol. 11. Art. no. 1030. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01030>

12. Yamagata K., Yamagata L.M., Abela M. A Review Article of the Cardiovascular Sequelae in Esport Athletes: A Cause for Concern? *Hellenic J. Cardiol.*, 2022, vol. 68, pp. 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.hjc.2022.06.005>

13. Church D., Stapleton P., Vasudevan A., O'Keefe T. Clinical EFT as an Evidence-Based Practice for the Treatment of Psychological and Physiological Conditions: A Systematic Review. *Front. Psychol.*, 2022, vol. 13. Art. no. 951451. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.951451>

14. Melentev N., Somov A., Burnaev E., Strelnikova I., Strelnikova G., Melenteva E., Menshchikov A. eSports Players Professional Level and Tiredness Prediction Using EEG and Machine Learning. *2020 IEEE SENSORS*. Rotterdam, 2020, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/SENSORS47125.2020.9278704>

15. Seidel-Marzi O., Ragert P. Neurodiagnostics in Sports: Investigating the Athlete's Brain to Augment Performance and Sport-Specific Skills. *Front. Hum. Neurosci.*, 2020, vol. 14. Art. no. 133. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00133>

16. Glass J., McGregor C. Towards Player Health Analytics in Overwatch. *2020 IEEE 8th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*. Vancouver, 2020, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/SeGAH49190.2020.9201733>

17. Friedl K.E. Military Applications of Soldier Physiological Monitoring. *J. Sci. Med. Sport*, 2018, vol. 21, no. 11, pp. 1147–1153. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.06.004>
18. Soler-Dominguez J.L., Gonzalez C. Using EEG and Gamified Neurofeedback Environments to Improve eSports Performance: Project Neuroprotrainer. *Proceedings of the 16th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISIGRAPP 2021)*. Vol. 1: GRAPP. SciTePress, 2021, pp. 278–283. <https://doi.org/10.5220/0010314502780283>
19. Gong A., Gu F., Nan W., Qu Y., Jiang C., Fu Y. A Review of Neurofeedback Training for Improving Sport Performance from the Perspective of User Experience. *Front. Neurosci.*, 2021, vol. 15. Art. no. 638369. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.638369>
20. Bolkenius D., Dumps C., Rupperecht B. Nahinfrarotspektroskopie: Technik, Entwicklung, aktueller Einsatz und Ausblick. *Anaesthesist*, 2021, vol. 70, no. 3, pp. 190–203. <https://doi.org/10.1007/s00101-020-00837-z>
21. Crispin P., Forwood K. Near Infrared Spectroscopy in Anemia Detection and Management: A Systematic Review. *Transfus. Med. Rev.*, 2021, vol. 35, no. 1, pp. 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.tmr.2020.07.003>
22. Pratihier S., Radhakrishnan A., Sahoo K.P., Alam S., Kerick S.E., Banerjee N., Ghosh N., Patra A. Classification of VR-Gaming Difficulty Induced Stress Levels Using Physiological (EEG & ECG) Signals and Machine Learning. *TechRxiv*. Preprint, 2021. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.16873471.v1>
23. Pedraza-Ramirez I., Musculus L., Raab M., Laborde S. Setting the Scientific Stage for Esports Psychology: A Systematic Review. *Int. Rev. Sport Exerc. Psychol.*, 2020, vol. 13, no. 1, pp. 319–352. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2020.1723122>
24. Listman J.B., Tsay J.S., Kim H.E., Mackey W.E., Heeger D.J. Long-Term Motor Learning in the “Wild” with High Volume Video Game Data. *Front. Hum. Neurosci.*, 2021, vol. 15. Art. no. 777779. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.777779>
25. Toth A.J., Ramsbottom N., Kowal M., Campbell M.J. Converging Evidence Supporting the Cognitive Link Between Exercise and Esport Performance: A Dual Systematic Review. *Brain Sci.*, 2020, vol. 10, no. 11. Art. no. 859. <https://doi.org/10.3390/brainsci10110859>
26. Herold F., Gronwald T., Scholkman F., Zohdi H., Wyser D., Müller N.G., Hamacher D. New Directions in Exercise Prescription: Is There a Role for Brain-Derived Parameters Obtained by Functional Near-Infrared Spectroscopy? *Brain Sci.*, 2020, vol. 10, no. 6. Art. no. 342. <https://doi.org/10.3390/brainsci10060342>
27. Forcione M., Chiarelli A.M., Perpetuini D., Davies D.J., O’Halloran P., Hacker D., Merla A., Belli A. Tomographic Task-Related Functional Near-Infrared Spectroscopy in Acute Sport-Related Concussion: An Observational Case Study. *Int. J. Mol. Sci.*, 2020, vol. 21, no. 17. Art. no. 6273. <https://doi.org/10.3390/ijms21176273>
28. Yokota Y., Soshi T., Naruse Y. Error-Related Negativity Predicts Failure in Competitive Dual-Player Video Games. *PLoS One*, 2019, vol. 14, no. 2. Art. no. e0212483. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212483>
29. Deng X., Wang J., Zang Y., Li Y., Fu W., Su Y., Chen X., Du B., Dong Q., Chen C., Li J. Intermittent Theta Burst Stimulation over the Parietal Cortex Has a Significant Neural Effect on Working Memory. *Hum. Brain Mapp.*, 2022, vol. 43, no. 3, pp. 1076–1086. <https://doi.org/10.1002/hbm.25708>
30. Sun W., Guo Z., Yang Z., Wu Y., Lan W., Liao Y., Wu X., Liu Y. A Review of Recent Advances in Vital Signals Monitoring of Sports and Health via Flexible Wearable Sensors. *Sensors (Basel)*, 2022, vol. 22, no. 20. Art. no. 7784. <https://doi.org/10.3390/s22207784>
31. Antal A., Luber B., Brem A.K., Bikson M., Brunoni A.R., Cohen Kadosh R., Dubljević V., Fecteau S., Ferreri F., Flöel A., Hallett M., Hamilton R.H., Herrmann C.S., Lavidor M., Loo C., Lustenberger C., Machado S., Miniussi C., Moliadze V., Nitsche M.A., Rossi S., Rossini P.M., Santarnecchi E., Seeck M., Thut G., Turi Z., Ugawa Y., Venkatasubramanian G., Wenderoth N., Wexler A., Ziemann U., Paulus W. Non-Invasive Brain Stimulation and Neuroenhancement. *Clin. Neurophysiol. Pract.*, 2022, vol. 7, pp. 146–165. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2022.05.002>
32. Fang Q., Fang C., Li L., Song Y. Impact of Sport Training on Adaptations in Neural Functioning and Behavioral Performance: A Scoping Review with Meta-Analysis on EEG Research. *J. Exerc. Sci. Fit.*, 2022, vol. 20, no. 3, pp. 206–215. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2022.04.001>
33. Kiani M., Andreu-Perez J., Hagraas H., Papageorgiou E.I., Prasad M., Lin C.-T. Effective Brain Connectivity for fNIRS with Fuzzy Cognitive Maps in Neuroergonomics. *IEEE Trans. Cogn. Dev. Syst.*, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 50–63. <https://doi.org/10.1109/TCDS.2019.2958423>

34. Merletti R., Muceli S. Tutorial. Surface EMG Detection in Space and Time: Best Practices. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 2019, vol. 49. Art. no. 102363. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2019.102363>
35. Campanini I., Disselhorst-Klug C., Rymer W.Z., Merletti R. Surface EMG in Clinical Assessment and Neurorehabilitation: Barriers Limiting Its Use. *Front. Neurol.*, 2020, vol. 11. Art. no. 934. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00934>
36. Besomi M., Hodges P.W., Clancy E.A., Van Dieën J., Hug F., Lowery M., Merletti R., Søgaard K., Wrigley T., Besier T., Carson R.G., Disselhorst-Klug C., Enoka R.M., Falla D., Farina D., Gandevia S., Holobar A., Kiernan M.C., McGill K., Perreault E., Rothwell J.C., Tucker K. Consensus for Experimental Design in Electromyography (CEDE) Project: Amplitude Normalization Matrix. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 2020, vol. 53. Art. no. 102438. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2020.102438>
37. Taborri J., Keogh J., Kos A., Santuz A., Umek A., Urbanczyk C., van der Kruk E., Rossi S. Sport Biomechanics Applications Using Inertial, Force, and EMG Sensors: A Literature Overview. *Appl. Bionics Biomech.*, 2020, vol. 23. Art. no. 2041549. <https://doi.org/10.1155/2020/2041549>
38. Hyland-Monks R., Marchant D., Cronin L. Self-Paced Endurance Performance and Cerebral Hemodynamics of the Prefrontal Cortex: A Scoping Review of Methodology and Findings. *Percept. Mot. Skills*, 2022, vol. 129, no. 4, pp. 1089–1114. <https://doi.org/10.1177/00315125221101017>
39. Tuesta M., Yáñez-Sepúlveda R., Verdugo-Marchese H., Mateluna C., Alvear-Ordenes I. Near-Infrared Spectroscopy Used to Assess Physiological Muscle Adaptations in Exercise Clinical Trials: A Systematic Review. *Biology (Basel)*, 2022, vol. 11, no. 7. Art. no. 1073. <https://doi.org/10.3390/biology11071073>
40. Campanini I., Merlo A., Disselhorst-Klug C., Mesin L., Muceli S., Merletti R. Fundamental Concepts of Bipolar and High-Density Surface EMG Understanding and Teaching for Clinical, Occupational, and Sport Applications: Origin, Detection, and Main Errors. *Sensors (Basel)*, 2022, vol. 22, no. 11. Art. no. 4150. <https://doi.org/10.3390/s22114150>
41. Sun J., Liu G., Sun Y., Lin K., Zhou Z., Cai J. Application of Surface Electromyography in Exercise Fatigue: A Review. *Front. Syst. Neurosci.*, 2022, vol. 16. Art. no. 893275. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2022.893275>
42. Novak J. Assessment of the Impact of Acute Stress in Cases of Necessary Defense by Czech Courts. *Ido Mov. Cult. J. Martial Arts Anthropol.*, 2019, vol. 19, no. 1S, pp. 89–91. <https://doi.org/10.14589/ido.19.1S.13>
43. Domínguez-Jiménez J.A., Campo-Landines K.C., Martínez-Santos J.C., Contreras-Ortiz S.H. Emotion Detection Through Biomedical Signals: A Pilot Study. *Proceedings of the 14th International Symposium on Medical Information Processing and Analysis*. Vol. 10975. SPIE, 2018. Art. no. 1097506. <https://doi.org/10.1117/12.2511598>
44. Vaez Mousavi S.M., Barry R.J., Clarke A.R. Individual Differences in Task-Related Activation and Performance. *Physiol. Behav.*, 2009, vol. 98, no. 3, pp. 326–330. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.06.007>
45. Mavros P., Wälti J.M., Nazemi M., Ong C.H., Hölscher C. A Mobile EEG Study on the Psychophysiological Effects of Walking and Crowding in Indoor and Outdoor Urban Environments. *Sci. Rep.*, 2022, vol. 12, no. 1. Art. no. 18476. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20649-y>
46. Mirifar A., Keil A., Ehrlenspiel F. Neurofeedback and Neural Self-Regulation: A New Perspective Based on Allostasis. *Rev. Neurosci.*, 2022, vol. 33, no. 6, pp. 607–629. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2021-0133>
47. Abed Alah M., Abdeen S., Selim N. Healthy Minds for Healthy Hearts: Tackling Stress-Induced Cardiac Events During the FIFA World Cup 2022. *Vasc. Health Risk Manag.*, 2022, vol. 18, pp. 851–856. <https://doi.org/10.2147/vhrm.s390549>
48. Hoenig T., Tenforde A.S., Strahl A., Rolvien T., Hollander K. Does Magnetic Resonance Imaging Grading Correlate with Return to Sports After Bone Stress Injuries? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Am. J. Sports Med.*, 2022, vol. 50, no. 3, pp. 834–844. <https://doi.org/10.1177/0363546521993807>
49. Leis O., Lautenbach F. Psychological and Physiological Stress in Non-Competitive and Competitive Esports Settings: A Systematic Review. *Psychol. Sport Exerc.*, 2020, vol. 51. Art. no. 101738.

Received 20 March 2023  
Accepted 20 September 2023  
Published 30 November 2023

Поступила 20.03.2023  
Принята 20.09.2023  
Опубликована 30.11.2023

Журнал медико-биологических исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 483–491.

*Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 483–491.

Обзорная статья

УДК 612.1:616.74

DOI: 10.37482/2687-1491-Z168

## Механизмы влияния серотонина на физическую работоспособность: описательный обзор

Екатерина Сергеевна Иванова\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2828-8440>

Разина Рамазановна Нигматуллина\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4686-1231>

Алексей Викторович Безбрызгов\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2670-1385>

\*Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма  
(Республика Татарстан, г. Казань)

\*\*Казанский государственный медицинский университет  
(Республика Татарстан, г. Казань)

**Аннотация.** Доказано, что на снижение физической работоспособности влияет как центральное, так и периферическое утомление. Физические нагрузки вызывают биохимические изменения в организме. Одним из наиболее важных факторов, приводящих к биохимическим изменениям и утомляемости, является накопление во время тренировки внеклеточного серотонина как в крови, так и в мозге. Он представляет собой гормон, концентрация которого повышается при физических нагрузках. В данной статье описаны основные механизмы синтеза серотонина, его противоречивое воздействие на мотонейроны и прямое влияние на структуру мышечной ткани. Обширный поиск литературы проводился среди публикаций базы PubMed за период с момента ее создания до 2022 года по запросу «влияние серотонина на физическую работоспособность», а также по ключевым словам: «серотонин», «физическое утомление», «физическая работоспособность», «мышцы». Предметный поиск был расширен для выявления дополнительной информации и определения общих терминов. Найдены 82 ссылки, и вручную было добавлено 25 исследований, посвященных описанию влияния серотонина на физическую работоспособность как по месту действия, так и по механизмам образования серотонина. Отбор осуществлялся по критерию «здоровые люди и животные», но не был ограничен языком исследования или типом публикации. Среди результатов представлены обзоры статей, доклады и тезисы научных работ. Ссылки на исследования по интересующей нас теме в текстах работ рассматривались для выявления дополнительных публикаций.

**Ключевые слова:** серотонин, физическое утомление, физическая работоспособность, мышцы, физиологические механизмы, биохимические реакции.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-15-00417 (<https://rscf.ru/project/23-15-00417/>).

---

**Ответственный за переписку:** Иванова Екатерина Сергеевна, адрес: 420010, Республика Татарстан, г. Казань, Деревня Универсиады, д. 35; e-mail: [iiivanova1995@mail.ru](mailto:iiivanova1995@mail.ru)

*Для цитирования:* Иванова Е.С., Нигматуллина Р.Р., Безбрыззов А.В. Механизмы влияния серотонина на физическую работоспособность: описательный обзор // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 483–491. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z168>

Review article

## Mechanisms of Serotonin Effects on Physical Performance: A Descriptive Review

Ekaterina S. Ivanova\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2828-8440>  
Razina R. Nigmatullina\*/\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4686-1231>  
Aleksey V. Bezbryazov\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2670-1385>

\*Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism  
(Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation)

\*\*Kazan State Medical University  
(Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation)

**Abstract.** It has been proven that both central and peripheral fatigue contributes to a decrease in physical performance. Physical activity causes biochemical changes in the body. One of the most important factors causing biochemical changes and leading to fatigue is the accumulation of extracellular serotonin in both the blood and the brain during exercise. It is a hormone whose concentration increases with physical activity. This paper describes the basic mechanisms of serotonin synthesis, its contradictory effects on motor neurons and its direct impact on the structure of muscle tissue. An extensive literature search was conducted among publications in the PubMed database for the period from its launch to 2022 using the query *effects of serotonin on physical performance* and the following keywords: *serotonin, physical fatigue, physical performance, muscles*. The subject search was expanded to obtain additional information and define common terms. As a result, 82 records were found, while additional 25 studies were selected manually, describing the effects of serotonin on physical performance both by the site of action and by the mechanisms of its formation. Selection was based on the healthy people and animals criterion, but was not limited by the language or type of publication. The results include article reviews, reports and abstracts of scientific papers. References to studies on the topic of interest in the works were considered to identify additional publications.

**Keywords:** *serotonin, physical fatigue, physical performance, muscles, physiological mechanisms, biochemical reactions.*

**Funding.** The research was funded through the Russian Science Foundation grant no. 23-15-00417 (<https://rscf.ru/project/23-15-00417/>).

**For citation:** Ivanova E.S., Nigmatullina R.R., Bezbryazov A.V. Mechanisms of Serotonin Effects on Physical Performance: A Descriptive Review. *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 483–491. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z168>

**Corresponding author:** Ekaterina Ivanova, address: Derevnya Universiady 35, Kazan, 420010, Respublika Tatarstan, Russian Federation; e-mail: [iiivanova1995@mail.ru](mailto:iiivanova1995@mail.ru)

Известно, что физическая активность сопровождается рядом физиологических процессов, которые, в свою очередь, являются результатом биохимических реакций. Лабораторные исследования показывают взаимосвязь между интенсивностью физических упражнений и степенью утомляемости, проявляющейся в виде нейрохимических изменений [1, 2].

Утомление, вызванное постоянными физическими нагрузками, в целом подразделяется на периферическое и центральное. Первое снижает физические функции из-за истощения креатинфосфата, аденозинтрифосфата (АТФ), медиаторов нервно-мышечных сигналов и гликогена в активных мышцах, а также накопления продуктов обмена. Второе связано с уменьшением активности двигательных нейронов центральной нервной системы (ЦНС) из-за потери мотивации, нарушения психологической активности и контроля температуры. Как периферическая, так и центральная усталость вызвана изменениями в содержании нейротрансмиттеров, таких как серотонин, дофамин и катехоламины [3–5].

Утомление ЦНС при физической нагрузке определяется как спад произвольной активации мышц, непосредственно связанный со снижением частоты импульсов и скорости синхронизации мотонейронов, а также с уменьшением возбуждения двигательной коры [6].

Общеизвестно, что центральное утомление возникает в любой точке нервно-мышечной системы, в т. ч. затрагивает и поперечные мостики между актином и миозином. Однако недавние исследования показывают, что именно в головном мозге возникает центральная усталость [7]. Экспериментально доказано, что одним из наиболее важных факторов, вызывающих биохимические изменения и приводящих к утомляемости, является накопление серотонина в межклеточной среде между нейронами во время тренировки [4]. Этот гормон – основной модулятор физической активности – синтезируется и высвобождается нейронами из ядер шва ствола головного мозга. Данные нейроны проецируются на большую

часть ЦНС, в т. ч. на соматодендритные компартменты мотонейронов [4].

Ряд ученых отмечают, что у взрослых спортсменов с увеличением интенсивности физических нагрузок возрастает концентрация внеклеточного серотонина (5-НТ) в крови [3, 8–10]. Исследования на животных также доказывают, что при физических нагрузках уровень 5-НТ в крови повышается, что является основой для отдельных эффектов в организме [2, 11–13].

Следовательно, необходимо объяснить рост концентрации 5-НТ в крови в зависимости от физических упражнений, проанализировав механизмы ее увеличения.

Во-первых, показано, что усиление кровотока, вызванное физическими нагрузками, активирует тромбоциты, в которых депонируется более 98 % циркулирующего серотонина, что приводит к увеличению концентрации 5-НТ в сыворотке крови [11].

Во-вторых, ученые установили, что усиленный липолиз, вызванный физической активностью, приводит к интенсивному вытеснению триптофана из связывающих его белков альбуминов через свободные жирные кислоты. Тем самым физические нагрузки увеличивают поглощение несвязанного триптофана через гематоэнцефалический барьер (ГЭБ). Большое количество триптофана способствует центральному биосинтезу 5-НТ [14].

Согласно исследованиям на мышцах, центральный 5-НТ может пересекать ГЭБ через транспортер SERT (Serotonin Transporter), локализованный в эндотелиальных клетках капилляров головного мозга мышцей, что приводит к увеличению уровня 5-НТ в периферической крови [14, 15].

Таким образом, повышение уровня свободного триптофана в плазме способствует росту концентрации триптофана в ЦНС, и любое состояние, при котором увеличивается содержание этой аминокислоты в плазме, будет вызывать повышение ее концентрации в ЦНС и, следовательно, центральный биосинтез серотонина.

В-третьих, физические нагрузки активируют синтез тетрагидробиоптерина, который яв-

ляется важным кофактором фермента 5-триптофангидроксилазы. Это основной фермент для синтеза серотонина, следовательно, упражнения могут ускорить синтез 5-НТ за счет повышения количества тетрагидробιοптерина [11].

В-четвертых, физиологическое изменение концентрации 5-НТ в крови, вызванное физическими упражнениями, может быть уравновешено адаптацией экспрессии рецепторов [10, 11, 16].

В-пятых, основным источником 5-НТ в крови являются энтерохромаффинные клетки, содержащиеся в желудочно-кишечном тракте, где серотонин выделяется паракринно и воздействует на расположенные рядом клетки и с помощью SERT поступает в кровотоки. Данный механизм стимулируется симпатическими влияниями, усиливающимися при выполнении физических нагрузок [2, 11].

В-шестых, уникальный контроль высвобождения серотонина из дендритов позволяет пространственно разделять передачу сигналов серотонина. Таким образом, локальное высвобождение дендритным участком может регулировать локальные входы, которые обладают серотониновыми рецепторами, включая топографически организованные афференты и интернейроны, а также соседние серотониновые нейроны посредством дендродендритической активации ауторецепторов. Раздражающим фактором будет физическая активность [17].

Исследование механизмов увеличения концентрации серотонина в крови позволяет предположить существование эндокринной петли «мышца–мозг». Поскольку периферические факторы обеспечивают прямую связь между мышцами и мозгом, то возможно объяснить снижение физической работоспособности путем анализа крови.

В дополнение ко всему, 5-НТ может модулировать утомление путем регуляции температуры тела. Физические упражнения вызывают повышение температуры тела за счет активного расщепления АТФ [2]. Поскольку серотонинергические и катехоламинергические проекции иннервируют области гипоталамуса, центра

терморегуляции, можно сказать, что биохимические реакции по выделению тепла связаны с изменением активности нейронов, контролирующей температуру тела в состоянии покоя и во время упражнений [2]. Повышенная концентрация 5-НТ в преоптической области мозга стимулирует вегетативные термоэффекты, ускоряет накопление тепла и снижает работоспособность крыс. Можно предположить, что серотонин за счет влияния на температурный режим защищает организм от перегревания, поэтому и способствует снижению работоспособности [2].

По мнению ученых, занимающихся двигательным утомлением, серотонин ингибирует физическую активность благодаря явлению, известному как центральная усталость [3, 4, 6, 18]. Напротив, исследователи внутренних свойств мотонейронов убеждены, что серотонин служит активатором двигательной деятельности, повышая возбудимость мотонейронов. Контрастные физиологические роли приписываются серотонинергической модуляции мотонейронов [10]. Противоречивые исследования на животных доказывают, что в зависимости от уровня двигательной активности серотонин оказывает возбуждающее или тормозное действие на мотонейроны.

Так, эксперименты на мышах показали, что после 10 недель тренировок на выносливость у особей с дефицитом серотонина работоспособность снизилась, а уровень 5-НТ значительно увеличился, тогда как у контрольных животных он изменился незначительно, что указывает на адаптацию к нагрузкам на выносливость [19].

Однако у крыс при тренировках с препаратом, повышающим серотонинергическую активность (агонисты рецепторов 5-НТ), работоспособность снижалась, тогда как при применении ингибиторов она, напротив, увеличивалась [2].

В исследовании с участием людей усталость во время упражнений на выносливость накапливалась за счет фармакологического усиления серотонинергической активности мозга. Однако снижение синтеза 5-НТ с помощью аминокис-

лот с разветвленной цепью (ВСАА) не повлияло на физическую усталость [20].

У человека блокада переносчика серотонина увеличивает концентрацию 5-НТ в синаптической щели, тем самым усиливается активация серотониновых рецепторов постсинаптической мембраны, что приводит к возрастанию периода физической работоспособности (например, при езде на велосипеде или во время бега) [1].

Представленные выше данные показывают антагонистические действия серотонина на физическую работоспособность.

Противоположные эффекты серотонина были раскрыты в экспериментах, проведенных на срезах спинного мозга черепахи. Они показали, что умеренное синаптическое высвобождение серотонина за счет активации рецепторов 5-НТ<sub>2В</sub> мотонейронов усиливает двигательную активность, тогда как интенсивное высвобождение серотонина вызывает распространение 5-НТ на экстрасинаптические рецепторы 5-НТ<sub>1А</sub> на начальном сегменте аксона, снижая активность мотонейронов [4, 21]. Исследование Н.И. Калининой, А.В. Зайцева, Н.П. Веселкина свидетельствует о совместной модуляции аккомодационных свойств мотонейрона двумя типами серотониновых рецепторов – 5-НТ<sub>2В</sub> и 5-НТ<sub>1А</sub> [16]. Доказательством тому служит работа казанских ученых, которые установили, что увеличение концентрации 5-НТ у крыс, вызванное блокадой SERT, активирует наибольшее количество серотониновых рецепторов 5-НТ<sub>2В</sub>, что приводит к быстрому сокращению миокарда [22, 23].

Таким образом, двойное влияние серотонина на двигательный контроль происходит на уровне мотонейронов и зависит от количества высвобождаемого серотонина.

Остается открытым вопрос о прямом воздействии периферического серотонина на скелетные мышцы, что отражено в работе французских ученых. Их исследование показало, что после 10 недель тренировок на выносливость производительность мышечной с дефицитом серотонина в крови, при этом с нормальным уровнем 5-НТ в мозге, значительно снизилась

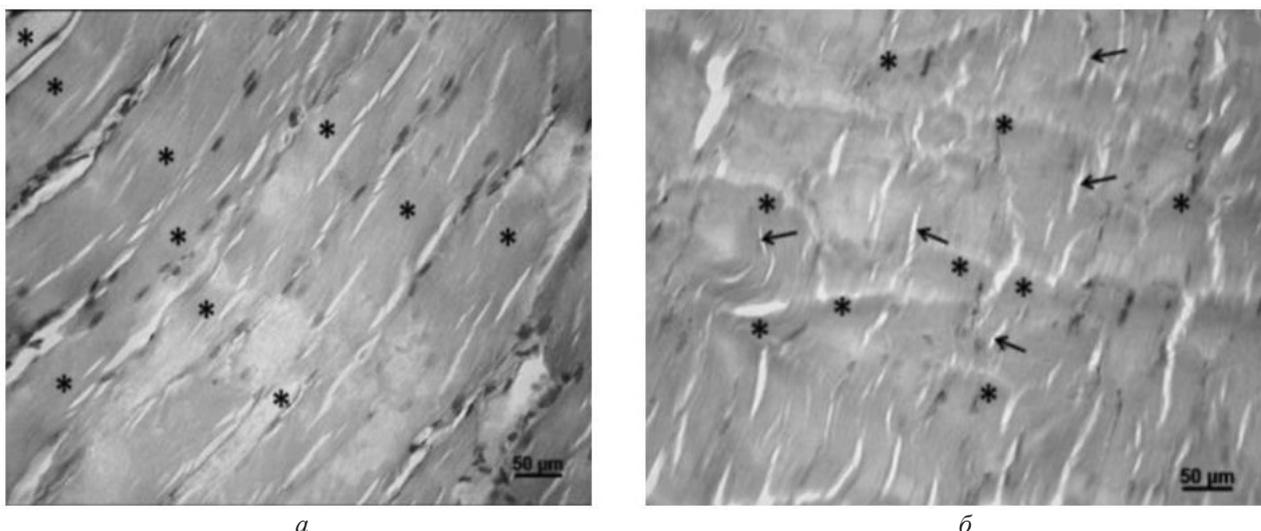
из-за нарушения метаболизма 5-НТ в скелетных мышцах [19]. Основные причины данного нарушения таковы:

1) серотонин вызывает быструю стимуляцию поглощения глюкозы (рост примерно на 50 % в изолированных скелетных мышцах крысы). Эта активация опосредована рецептором 5-НТ<sub>2А</sub>, который экспрессируется в мышечных клетках и скелетных мышцах. Низкое содержание серотонина в крови препятствует адаптации к тренировкам на выносливость, что связано с дефектом использования глюкозы в качестве энергетического субстрата [24];

2) серотонин может участвовать в сократительной реакции за счет вклада различных сигнальных путей (приток кальция через потенциалзависимые и потенциалнезависимые кальциевые каналы L-типа, высвобождение внутриклеточного Ca<sup>2+</sup> из саркоплазматического ретикулума, сенсбилизация сократительного аппарата кальцием) [15].

Это доказывают экспериментальные образцы мышечной ткани мышей, содержащихся на диете, лишенной триптофана, и с низким содержанием серотонина в крови: миофибриллы сильно повреждены, выглядят изношенными и грубо прерванными (см. рисунок, с. 488); саркоплазма отекает и богата плотными и неправильными митохондриями; саркоплазматический ретикулум недоразвит, а Т-трубочки немногочисленны и рассеяны между миофибриллами [13]. Перечисленные признаки очень похожи на то, что происходит в сердце, для которого установлен морфогенетический эффект серотонина, обеспечивающий формирование нормальной структуры кардиомиоцитов [25]. Снижение концентрации 5-НТ может объяснить изменение состояния миофибрилл, показанное в образцах проанализированных мышечных тканей.

Результаты вышеуказанных исследований свидетельствуют о том, что физические упражнения вызывают полезный сдвиг в скелетных мышцах в сторону использования периферического 5-НТ для адаптации к тренировкам на выносливость, что доказывается также изучением



Гистологическое строение мышечной ткани контрольных и экспериментальных (с дефицитом серотонина) мышей по данным оптической микроскопии (исходное увеличение  $\times 40$ ; линейки шкалы 50 мкм) [13, с. 270]: *a* – продольный разрез мышечной ткани контрольных мышей (четко выраженные мышечные волокна, отграниченные перимизием и эндомизием; ядра, хорошо окрашенные по периферии мышечных волокон; заметны полосы А–I (черные звездочки); никаких признаков видоизменений); *b* – продольный разрез мышечной ткани экспериментальных мышей (мышечные волокна с выраженной неправильной формой; наличие многочисленных разрывов в разрезе ткани (черные стрелки); отсутствие ядер; гиперсокращенные мышечные волокна (черные звездочки))

Histological structure of the muscle tissue of control and experimental (with serotonin deficiency) mice according to optical microscopy (initial magnification  $\times 40$ ; scale bar 50  $\mu\text{m}$ ) [13, с. 270]: *a* – longitudinal section of the muscle tissue of control mice (clearly defined muscle fibres separated by perimysium and endomysium; nuclei well-stained along the periphery of muscle fibres; visible A–I bands (black asterisks); no signs of changes); *b* – longitudinal section of the muscle tissue of experimental mice (muscle fibres with a pronounced irregular shape; numerous gaps in the tissue section (black arrows); no nuclei; hypercontracted muscle fibres (black stars))

влияния тренировок на показатели серотонина в крови у баскетболистов-подростков, в котором выявлено повышение концентрации 5-НТ в начале исследования и стабилизация показателей серотонина после 8 недель регулярных тренировок, связанные с положительным эффектом физических упражнений [9].

Таким образом, серотонин воздействует на центральное и периферическое утомление.

Высвобождение серотонина на спинальные мотонейроны не только активирует мышцы, но и вызывает центральную усталость из-за активации тормозных рецепторов 5-НТ<sub>1A</sub> на начальном сегменте аксона, что снижает мышечную активность во время сокращений. Также при недостатке серотонина нарушается сократительная способность мышц за счет влияния его на строение мышечной ткани.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

## Список литературы

1. Фудин Н.А., Еськов В.М., Филатова О.Е., Зилов В.Г., Борисова О.Н., Козлова В.В. Утомление человека при статической и динамической физической нагрузке и механизмы адаптации // Вестн. новых мед. технологий. Электрон. изд. 2015. № 1. Ст. № 2-1. <https://doi.org/10.12737/7589>
2. Cordeiro L.M.S., Rabelo P.C.R., Moraes M.M., Teixeira-Coelho F., Coimbra C.C., Wanner S.P., Soares D.D. Physical Exercise-Induced Fatigue: The Role of Serotonergic and Dopaminergic Systems // Braz. J. Med. Biol. Res. 2017. Vol. 50, № 12. Art. №. e6432. <https://doi.org/10.1590/1414-431X20176432>
3. Kwak J.J., Yook J.S., Ha M.S. Potential Biomarkers of Peripheral and Central Fatigue in High-Intensity Trained Athletes at High-Temperature: A Pilot Study with *Momordica charantia* (Bitter Melon) // J. Immunol. Res. 2020. Vol. 2020. Art. № 4768390. <https://doi.org/10.1155/2020/4768390>
4. Meeusen R., Watson P., Hasegawa H., Roelands B., Piacentini M.F. Central Fatigue: The Serotonin Hypothesis and Beyond // Sports Med. 2007. Vol. 36, № 10. P. 881–909. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636100-00006>
5. Nybo L., Secher N.H. Cerebral Perturbations Provoked by Prolonged Exercise // Prog. Neurobiol. 2004. Vol. 72, № 4. P. 223–261. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2004.03.005>
6. McKenna M.J., Hargreaves M. Resolving Fatigue Mechanisms Determining Exercise Performance: Integrative Physiology at Its Finest! // J. Appl. Physiol. 2008. Vol. 104, № 1. P. 286–287. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01139.2007>
7. Zajac A., Chalimoniuk M., Maszczyk A., Golaś A., Lngfort J. Central and Peripheral Fatigue During Resistance Exercise – A Critical Review // J. Hum. Kinet. 2015. Vol. 49. P. 159–169.
8. Исмайлов Ю.Б., Алиев С.Я. Влияния физической нагрузки различной интенсивности на активность серотонина в крови у волейболисток // Вестн. Моск. гос. обл. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2014. № 1. С. 57–62.
9. Kocahan S., Dundar A., Onderci M., Yilmaz Y. Investigation of the Effect of Training on Serotonin, Melatonin and Hematologic Parameters in Adolescent Basketball Players // Horm. Mol. Biol. Clin. Investig. 2021. Vol. 42, № 4. P. 383–388. <https://doi.org/10.1515/hmbci-2020-0095>
10. Perrier J.-F. If Serotonin Does Not Exhaust You, It Makes You Stronger // J. Physiol. 2019. Vol. 597, № 1. P. 5–6. <https://doi.org/10.1113/JP277317>
11. Alberghina D., Giannetto C., Piccione G. Peripheral Serotonergic Response to Physical Exercise in Athletic Horses // J. Vet. Sci. 2010. Vol. 11, № 4. P. 285–289. <https://doi.org/10.4142/jvs.2010.11.4.285>
12. Medica P., Giunta R.P., Bruschetta G., Ferlazzo A.M. The Influence of Training and Simulated Race on Horse Plasma Serotonin Levels // J. Equine Vet. Sci. 2020. Vol. 84. Art. № 102818. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2019.102818>
13. Musumeci G., Imbesi R., Trovato F.M., Szychlinska M.A., Aiello F.C., Buffa P., Castrogiovanni P. Importance of Serotonin (5-HT) and Its Precursor L-Tryptophan for Homeostasis and Function of Skeletal Muscle in Rats. A Morphological and Endocrinological Study // Acta Histochem. 2015. Vol. 117, № 3. P. 267–274. <https://doi.org/10.1016/j.acthis.2015.03.003>
14. Yamashita M. Potential Role of Neuroactive Tryptophan Metabolites in Central Fatigue: Establishment of the Fatigue Circuit // Int. J. Tryptophan Res. 2020. Vol. 13. Art. № 1178646920936279. <https://doi.org/10.1177/1178646920936279>
15. Ruchala I., Cabra V., Solis E. Jr., Glennon R.A., De Felice L.J., Eltit J.M. Electrical Coupling Between the Human Serotonin Transporter and Voltage-Gated Ca<sup>2+</sup> Channels // Cell Calcium. 2014. Vol. 56, № 1. P. 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.ceca.2014.04.003>
16. Калинина Н.И., Зайцев А.В., Веселкин Н.П. Агонисты 5-HT1 и 5-HT2-рецепторов по-разному модулируют возбудимость мотонейронов спинного мозга лягушки // Журн. эволюц. биохимии и физиологии. 2019. Т. 55, № 4. С. 255–262. <https://doi.org/10.1134/S0044452919040065>
17. Colgan L.A., Cavolo S.L., Commons K.G., Levitan E.S. Action Potential-Independent and Pharmacologically Unique Vesicular Serotonin Release from Dendrites // J. Neurosci. 2012. Vol. 32, № 45. P. 15737–15746. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0020-12.2012>
18. Kavanagh J.J., McFarland A.J., Taylor J.L. Enhanced Availability of Serotonin Increases Activation of Unfatigued Muscle but Exacerbates Central Fatigue During Prolonged Sustained Contractions // J. Physiol. 2019. Vol. 597, № 1. P. 319–332. <https://doi.org/10.1113/JP277148>
19. Falabrègue M., Boschat A.-C., Jouffroy R., Derquennes M., Djemai H., Sanquer S., Barouki R., Coumoul X., Toussaint J.-F., Hermine O., Noirez P., Côté F. Lack of Skeletal Muscle Serotonin Impairs Physical Performance // Int. J. Tryptophan Res. 2021. Vol. 14. Art. № 11786469211003109. <https://doi.org/10.1177/11786469211003109>

20. Strüder H.K., Hollmann W., Platen P., Donike M., Gotzmann A., Weber K. Influence of Paroxetine, Branched-Chain Amino Acids and Tyrosine on Neuroendocrine System Responses and Fatigue in Humans // *Horm. Metab. Res.* 1998. Vol. 30, № 4. P. 188–194. <https://doi.org/10.1055/s-2007-978864>
21. Perrier J.-F., Delgado-Lezama R. Synaptic Release of Serotonin Induced by Stimulation of the Raphe Nucleus Promotes Plateau Potentials in Spinal Motoneurons of the Adult Turtle // *J. Neurosci.* 2005. Vol. 25, № 35. P. 7993–7999. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1957-05.2005>
22. Ахметова М.Ж., Нигматуллина Р.Р., Миндубаева Ф.А. Влияние серотонина на время сокращения миокарда у крысят с избытком серотонина в эмбриональном периоде // *Рос. кардиол. журн.* 2021. Т. 26, № S5. С. 32–33. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-5S>
23. Нигматуллина Р.Р., Садыкова Д.И., Афлятумова Г.Н., Чибирева М.Д. Серотонин, оксид азота и эндотелин-1 крови как ранние маркеры артериальной гипертензии у неполовозрелых крысят // *Фундаментальная и клиническая электрофизиология сердца. Актуальные вопросы аритмологии: материалы II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. А.Ф. Самойлову. Казань, 2018. С. 39–40.*
24. Al-Zoairy R., Pedrini M.T., Khan M.I., Engl J., Tschoner A., Ebenbichler C., Niederwanger A. Serotonin Improves Glucose Metabolism by Serotonylation of the Small GTPase Rab4 in L6 Skeletal Muscle Cells // *Diabetol. Metab. Syndr.* 2017. Vol. 9, № 1. <https://doi.org/10.1186/s13098-016-0201-1>
25. Нигматуллина Р.Р., Недорезова П.С. Влияние блокатора кальциевых каналов L-типа метоксиверапамила на инотропную функцию миокарда крысят с измененным метаболизмом серотонина // *Рос. кардиол. журн.* 2022. Т. 27, № S5. С. 49–50. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2022-5S>

## References

- Fudin N.A., Es'kov V.M., Filatova O.E., Zilov V.G., Borisova O.N., Kozlova V.V. Utomlenie cheloveka pri staticheskoy i dinamicheskoy fizicheskoy nagruzke i mekhanizmy adaptatsii [The Human Fatigue Under Static and Dynamic Physical Activity and Adaptation Mechanisms]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoe izdanie*, 2015, no. 1. Art. no. 2-1. <https://doi.org/10.12737/7589>
- Cordeiro L.M.S., Rabelo P.C.R., Moraes M.M., Teixeira-Coelho F., Coimbra C.C., Wanner S.P., Soares D.D. Physical Exercise-Induced Fatigue: The Role of Serotonergic and Dopaminergic Systems. *Braz. J. Med. Biol. Res.*, 2017, vol. 50, no. 12. Art. no. e6432. <https://doi.org/10.1590/1414-431X20176432>
- Kwak J.J., Yook J.S., Ha M.S. Potential Biomarkers of Peripheral and Central Fatigue in High-Intensity Trained Athletes at High-Temperature: A Pilot Study with *Momordica charantia* (Bitter Melon). *J. Immunol. Res.*, 2020, vol. 2020. Art. no. 4768390. <https://doi.org/10.1155/2020/4768390>
- Meeusen R., Watson P., Hasegawa H., Roelands B., Piacentini M.F. Central Fatigue: The Serotonin Hypothesis and Beyond. *Sports Med.*, 2007, vol. 36, no. 10, pp. 881–909. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636100-00006>
- Nybo L., Secher N.H. Cerebral Perturbations Provoked by Prolonged Exercise. *Prog. Neurobiol.*, 2004, vol. 72, no. 4, pp. 223–261. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2004.03.005>
- McKenna M.J., Hargreaves M. Resolving Fatigue Mechanisms Determining Exercise Performance: Integrative Physiology at Its Finest! *J. Appl. Physiol.*, 2008, vol. 104, no. 1, pp. 286–287. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01139.2007>
- Zajac A., Chalimoniuk M., Maszyk A., Golaś A., Lngfort J. Central and Peripheral Fatigue During Resistance Exercise – A Critical Review. *J. Hum. Kinet.*, 2015, vol. 49, pp. 159–169.
- Ismaylov Yu.B., Aliev S.Ya. Vliyaniya fizicheskoy nagruzki razlichnoy intensivnosti na aktivnost' serotonina v krovi u voleybolistok [Effect of Physical Load of Different Intensity Levels on Serotonin Activity in the Blood of Female Volleyball Players]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki*, 2014, no. 1, pp. 57–62.
- Kocahan S., Dundar A., Onderci M., Yilmaz Y. Investigation of the Effect of Training on Serotonin, Melatonin and Hematologic Parameters in Adolescent Basketball Players. *Horm. Mol. Biol. Clin. Investig.*, 2021, vol. 42, no. 4, pp. 383–388. <https://doi.org/10.1515/hmbci-2020-0095>
- Perrier J.-F. If Serotonin Does Not Exhaust You, It Makes You Stronger. *J. Physiol.*, 2019, vol. 597, no. 1, pp. 5–6. <https://doi.org/10.1113/JP277317>
- Alberghina D., Giannetto C., Piccione G. Peripheral Serotonergic Response to Physical Exercise in Athletic Horses. *J. Vet. Sci.*, 2010, vol. 11, no. 4, pp. 285–289. <https://doi.org/10.4142/jvs.2010.11.4.285>

12. Medica P., Giunta R.P., Bruschetta G., Ferlazzo A.M. The Influence of Training and Simulated Race on Horse Plasma Serotonin Levels. *J. Equine Vet. Sci.*, 2020, vol. 84. Art. no. 102818. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2019.102818>
13. Musumeci G., Imbesi R., Trovato F.M., Szychlinska M.A., Aiello F.C., Buffa P., Castrogiovanni P. Importance of Serotonin (5-HT) and Its Precursor L-Tryptophan for Homeostasis and Function of Skeletal Muscle in Rats. A Morphological and Endocrinological Study. *Acta Histochem.*, 2015, vol. 117, no. 3, pp. 267–274. <https://doi.org/10.1016/j.acthis.2015.03.003>
14. Yamashita M. Potential Role of Neuroactive Tryptophan Metabolites in Central Fatigue: Establishment of the Fatigue Circuit. *Int. J. Tryptophan Res.*, 2020, vol. 13. Art. no. 1178646920936279. <https://doi.org/10.1177/1178646920936279>
15. Ruchala I., Cabra V., Solis E. Jr., Glennon R.A., De Felice L.J., Eltit J.M. Electrical Coupling Between the Human Serotonin Transporter and Voltage-Gated Ca<sup>2+</sup> Channels. *Cell Calcium*, 2014, vol. 56, no. 1, pp. 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.ceca.2014.04.003>
16. Kalinina N.I., Zaytsev A.V., Veselkin N.P. Agonisty 5-NT1 i 5-NT2-retseptorov po-raznomu moduliruyut vzbudimost' motoneuronov spinного mozga lyagushki [5-HT1 and 5-HT2 Receptor Agonists Differently Modulate the Excitability of the Frog Spinal Cord Motoneurons]. *Zhurnal evolyutsionnoy biokhimmii i fiziologii*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 255–262. <https://doi.org/10.1134/S0044452919040065>
17. Colgan L.A., Cavolo S.L., Commons K.G., Levitan E.S. Action Potential-Independent and Pharmacologically Unique Vesicular Serotonin Release from Dendrites. *J. Neurosci.*, 2012, vol. 32, no. 45, pp. 15737–15746. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0020-12.2012>
18. Kavanagh J.J., McFarland A.J., Taylor J.L. Enhanced Availability of Serotonin Increases Activation of Unfatigued Muscle but Exacerbates Central Fatigue During Prolonged Sustained Contractions. *J. Physiol.*, 2019, vol. 597, no. 1, pp. 319–332. <https://doi.org/10.1113/JP277148>
19. Falabrègue M., Bosch A.-C., Jouffroy R., Derquennes M., Djemai H., Sanquer S., Barouki R., Coumoul X., Toussaint J.-F., Hermine O., Noirez P., Côté F. Lack of Skeletal Muscle Serotonin Impairs Physical Performance. *Int. J. Tryptophan Res.*, 2021, vol. 14. Art. no. 11786469211003109. <https://doi.org/10.1177/11786469211003109>
20. Strüder H.K., Hollmann W., Platen P., Donike M., Gotzmann A., Weber K. Influence of Paroxetine, Branched-Chain Amino Acids and Tyrosine on Neuroendocrine System Responses and Fatigue in Humans. *Horm. Metab. Res.*, 1998, vol. 30, no. 4, pp. 188–194. <https://doi.org/10.1055/s-2007-978864>
21. Perrier J.-F., Delgado-Lezama R. Synaptic Release of Serotonin Induced by Stimulation of the Raphe Nucleus Promotes Plateau Potentials in Spinal Motoneurons of the Adult Turtle. *J. Neurosci.*, 2005, vol. 25, no. 35, pp. 7993–7999. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1957-05.2005>
22. Akhmetova M.Zh., Nigmatullina R.R., Mindubaeva F.A. Vliyanie serotoninina na vremya sokrashcheniya miokarda u krysyat s izbytkom serotoninina v embrional'nom periode [The Effect of Serotonin on the Time of Cardiac Muscle Contraction in Rat Pups with Excess Serotonin During the Embryonic Stage]. *Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal*, 2021, vol. 26, no. S5, pp. 32–33. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-5S>
23. Nigmatullina R.R., Sadykova D.I., Aflyatumova G.N., Chibireva M.D. Serotonin, oksid azota i endotelin-1 krovi kak rannie markery arterial'noy gipertenzii u nepolovozrelykh krysyat [Serotonin, Nitric Oxide and Blood Endothelin-1 as Early Markers of Arterial Hypertension in Immature Rat Pups]. *Fundamental'naya i klinicheskaya elektrofiziologiya serdtsa. Aktual'nye voprosy aritmologii* [Fundamental and Clinical Electrophysiology of the Heart. Current Issues in Arrhythmology]. Kazan, 2018, pp. 39–40.
24. Al-Zoairy R., Pedrini M.T., Khan M.I., Engl J., Tschoner A., Ebenbichler C., Gstraunthaler G., Salzmann K., Bakry R., Niederwanger A. Serotonin Improves Glucose Metabolism by Serotonylation of the Small GTPase Rab4 in L6 Skeletal Muscle Cells. *Diabetol. Metab. Syndr.*, 2017, vol. 9, no. 1. <https://doi.org/10.1186/s13098-016-0201-1>
25. Nigmatullina R.R., Nedorezova R.S. Vliyanie blokatora kal'tsievyykh kanalov L-tipa metoksyverapamila na inotropnyuyu funktsiyu miokarda krysyat s izmenennym metabolizmom serotoninina [Effect of the L-Type Calcium Channel Blocker Methoxyverapamil on the Inotropic Function of the Myocardium of Rat Pups with Altered Serotonin Metabolism]. *Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal*, 2022, vol. 27, no. S5, pp. 49–50. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2022-5S>

Received 24 March 2023

Accepted 22 September 2023

Published 30 November 2023

Поступила 24.03.2023

Принята 22.09.2023

Опубликована 30.11.2023



Журнал медико-биологических исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 492–497.  
*Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 492–497.

Краткое сообщение  
УДК 612.215.4  
DOI: 10.37482/2687-1491-Z164

## Модификация методики исследования функции внешнего дыхания с учетом особенностей его выполнения у хронических канюленосителей

Дмитрий Владимирович Файнштейн\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5420-1719>

Галина Александровна Севрюкова\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7933-3523>

Алексей Николаевич Долецкий\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6191-3901>

Сергей Всеволодович Клаучек\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5281-8734>

\*Волгоградский государственный медицинский университет  
(г. Волгоград)

**Аннотация.** Изучена функция внешнего дыхания (спокойный и форсированный маневр) у двух групп обследуемых: молодых людей (18–24 лет;  $n = 48$ ) и лиц старшего возраста (50–60 лет;  $n = 36$ ). Регистрация параметров осуществлялась с помощью прибора «Спиро-Спектр» (производитель – компания «Нейро-софт», г. Иваново). Апробирована модифицированная методика, учитывающая функциональные возможности выполнения дыхательных маневров хроническими канюленосителями. Построены регрессионные уравнения для оценки функции внешнего дыхания у людей, живущих с трахеостомой, и осуществлено сравнение их параметров с нормальными значениями.

**Ключевые слова:** внешнее дыхание, хронические канюленосители, методика оценки функции внешнего дыхания, спирометрия, трахеостомическая трубка, воздухоносные пути.

**Для цитирования:** Файнштейн Д.В., Севрюкова Г.А., Долецкий А.Н., Клаучек С.В. Модификация методики исследования функции внешнего дыхания с учетом особенностей ее выполнения у хронических канюленосителей // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 492–497. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z164>

---

**Ответственный за переписку:** Севрюкова Галина Александровна, адрес: 400131, г. Волгоград, пл. Павших Борцов, д. 1; e-mail: [sevrjukova2012@yandex.ru](mailto:sevrjukova2012@yandex.ru)

Brief communication

## Modified Technique for Assessing External Respiration Function in Chronic Tracheostomy Patients

Dmitriy V. Faynshteyn\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5420-1719>

Galina A. Sevriukova\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7933-3523>

Aleksey N. Doletskiy\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6191-3901>

Sergey V. Klauchek\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5281-8734>

\*Volgograd State Medical University  
(Volgograd, Russian Federation)

**Abstract.** The function of external respiration (quiet breathing and forced maneuver) was studied in two groups of subjects: 18–24-year-olds ( $n = 48$ ) and 50–60-year-olds ( $n = 36$ ). Their parameters were recorded using the Spiro-Spectrum device (Neurosoft). A modified technique was tested taking into account the functionality of respiratory maneuvers in people with a permanent tracheostomy tube. Regression equations were derived to assess the external respiration function in tracheostomy patients and compare their parameters with normal values.

**Keywords:** external respiration, chronic tracheostomy patients, assessment technique for external respiration, spirometry, tracheostomy tube, airways.

**For citation:** Faynshteyn D.V., Sevriukova G.A., Doletskiy A.N., Klauchek S.V. Modified Technique for Assessing External Respiration Function in Chronic Tracheostomy Patients. *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 492–497. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z164>

Проблема социально-физиологической адаптации хронических канюленосителей в настоящее время весьма актуальна. Люди, живущие с трахеостомой после проведения тотальной ларингэктомии, завершившие специальное лечение и перешедшие в III клиническую группу, относятся к числу лиц, излеченных от злокачественных новообразований [1, 2]. В данную категорию включаются пациенты, прошедшие курс радикального лечения, при условии отсутствия рецидивов и метастазов, что позволяет им считать себя «практически здоровыми людьми» и дает возможность сохранять активный образ жизни, продуктивно работать, вести полноценную рекреационную деятельность [3, 4].

Важно отметить, что у канюленосителей воздухоносные пути (полость носа, носоглотка и гортань до начального отдела трахеи) частично исключаются из процесса дыхания, которое в данном случае осуществляется только через трахеостому [5–7]. Это значительно осложняет процесс оценки показателей функции внешнего дыхания, т. к. использование трахеостомической трубки не позволяет создать условия для проведения спирометрии. Данное обстоятельство стало побудительным мотивом нашего исследования. Его цель состоит в апробации модификации методики изучения функции внешнего дыхания с учетом анатомо-физиологических особенностей хронических канюленосителей.

---

**Corresponding author:** Galina Sevriukova, address: pl. Pavshikh Bortsov 1, Volgograd, 400131, Russian Federation; e-mail: sevryukova2012@yandex.ru

В исследовании на добровольной основе и с соблюдением принципа информированного согласия приняли участие 84 человека. Данная выборка была разделена на две группы по возрастному критерию: лица старшего возраста (50–60 лет;  $n = 36$ ; 40 % мужчин, 60 % женщин) и молодые люди (18–24 лет;  $n = 48$ ; 30 % юношей, 70 % девушек). Все обследуемые не имели острых соматических патологий и хронических заболеваний дыхательной системы, не страдали новой коронавирусной инфекцией последние полгода. Изучение функции внешнего дыхания проводилось с использованием прибора «Спиро-Спектр» (производитель – компания «Нейрософт», г. Иваново) по стандартной методике с оценкой жизненной емкости легких (ЖЕЛ, л), форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ, л), объема форсированного выдоха за первую секунду маневра форсированного выдоха (ОФВ1, л) и расчетом индекса Тифно (ИТ, у. е.).

Каждый обследуемый выполнял спирометрию в двух вариантах: по стандартной методике и при моделировании дыхания через трахеостомическую трубку с раздуваемой манжетой (для полного исключения прохождения воздуха вне канюли). Использование последней позволило нивелировать анатомические различия у людей, перенесших ларингэктомию и не имеющих трахеостомы. Трахеостомическая трубка диаметром 9 мм соединялась со спирометром с помощью переходного устройства (мундштука, применяемого при проведении стандартной методики).

При статистической обработке данных использовался программный пакет SPSS Statistics 22. Проверялась гипотеза о нормальности распределения параметров функции внешнего дыхания, применялись параметрический  $t$ -критерий Стьюдента для парных выборок (вычислялись средняя арифметическая величина ( $M$ ) и стандартная ошибка средней арифметической ( $m$ )) и непараметрический  $W$ -критерий Вилкоксона (определялась медиана ( $Me$ ) с расчетом первого и третьего квартилей ( $Q_1$ ;  $Q_3$ )). В качестве пограничного уровня статистической значимости было принято значение  $p \leq 0,05$ .

По данным нашего исследования в группе людей молодого возраста выявлены значимые различия между показателями функции внешнего дыхания, полученными при выполнении стандартной методики и при моделировании дыхания с трахеостомической трубкой: как в группе юношей, так и в группе девушек ЖЕЛ уменьшилась на 3,2 % ( $p = 0,049$ ) и 7,6 % ( $p = 0,034$ ) соответственно. При выполнении форсированного маневра отмечалось снижение емкостных характеристик дыхания: у юношей ФЖЕЛ уменьшилась на 18,8 %, ОФВ1 – на 15,6 % ( $p = 0,01$ ); у девушек ФЖЕЛ сократилась на 11,5 %, ОФВ1 – на 13,5 % ( $p = 0,01$ ).

У обследуемых старше 50 лет сравнительный анализ продемонстрировал значимое различие показателей форсированной спирометрии по стандартной методике и в процессе моделируемого дыхания. При этом у мужчин ОФВ1 уменьшился на 14,2 % ( $p = 0,019$ ), ИТ – на 8,9 % ( $p = 0,031$ ). У женщин значимое различие отмечалось по показателю ЖЕЛ – снижение на 8,3 % ( $p = 0,038$ ).

Неоспорим факт наличия корреляционной связи между параметрами функций внешнего дыхания, полученными при выполнении маневров спокойного и форсированного дыхания по стандартной и модифицированной методикам. При этом необходимо учитывать сложность выполнения форсированного маневра дыхания хроническими канюленосителями. Поэтому в работе сделан акцент на оценке взаимосвязи ЖЕЛ (спокойное дыхание; стандартная методика) и  $ЖЕЛ_T$ ,  $ФЖЕЛ_T$ ,  $ОФВ1_T$  (спокойное и форсированное дыхание; модифицированная методика; индекс «Т» обозначает параметры, полученные при использовании модели с трахеостомической трубкой) для построения моделей прогноза вентиляционной функции легких с учетом функциональных возможностей выполнения дыхательных маневров хроническими канюленосителями. Вместе с тем при определении независимых переменных необходимо принять во внимание зависимость данных величин от антропометрических параметров (в основном от роста) и пола [8–10].

Построение регрессионных уравнений позволит по параметру ЖЕЛ<sub>т</sub>, полученному в ходе выполнения спирометрии хроническими канюленосителями (маневр спокойного дыхания), рассчитать результивные переменные (ЖЕЛ, ФЖЕЛ, ОФВ1) и оценить их отклонение от нормальных значений.

Для женщин вычисления выполняются по формулам:

$ЖЕЛ = 0,723 \cdot ЖЕЛ_{т} + 0,14 \cdot Рост - 22,003$ ,  
здесь  $r_{ЖЕЛ_{т}} = 0,036$ ;  $r_{Рост} = 0,032$ ;  
 $r_K = 0,05$  (где  $r_{Параметр}$  – коэффициент значимости параметра, входящего в уравнение;  $K$  – константа регрессионного уравнения); отклонение от истинного значения – не более 2,8 %;

$ФЖЕЛ = 1,987 \cdot ЖЕЛ_{т} + 0,257 \cdot Рост - 46,028$ ,  
 $r_{ЖЕЛ_{т}} = 0,006$ ;  $r_{Рост} = 0,029$ ;  $r_K = 0,029$ ;  
отклонение от истинного значения не более 4,82 %;

$ОФВ1 = 1,895 \cdot ЖЕЛ_{т} + 0,316 \cdot Рост - 55,929$ ,  
 $r_{ЖЕЛ_{т}} = 0,013$ ;  $r_{Рост} = 0,021$ ;  $r_K = 0,022$ ;  
отклонение от истинного значения не более 9,38 %.

Для мужчин:

$ЖЕЛ = 17,721 + 1,043 \cdot ЖЕЛ_{т} - 0,099 \cdot Рост$ ,  
здесь  $r_K = 0,001$ ;  $r_{ЖЕЛ_{т}} = 0,001$ ;  $r_{Рост} = 0,001$ ;  
отклонение от истинного значения не более 3,99 %;

$ФЖЕЛ = 1,018 \cdot ЖЕЛ_{т}$ ,  
 $r_{ЖЕЛ_{т}} = 0,002$ ; исключены из уравнения параметр «Рост» ( $r_{Рост} = 0,379$ ) и константа регрессионного уравнения ( $r_K = 0,371$ ); отклонение от истинного значения – не более 12,1 %;

$ОФВ1 = 18,038 + 0,541 \cdot ЖЕЛ_{т} - 0,091 \cdot Рост$ ,  
 $r_K = 0,045$ ;  $r_{ЖЕЛ_{т}} = 0,01$ ;  $r_{Рост} = 0,048$ ; отклонение от истинного значения не более 3,65 %.

Апробация модифицированной методики исследования функции внешнего дыхания с учетом анатомо-физиологических особенностей хронических канюленосителей и обобщение полученных данных позволили сделать следующие выводы:

1. Однонаправленное значимое изменение показателей функции внешнего дыхания в группе людей молодого возраста при выполнении спирометрии по стандартной методике и ее модификации свидетельствует о создании дополнительного ограничения, обусловленного использованием трахеостомической трубки, уменьшающей площадь поперечного сечения воздухоносных путей.

2. Установленная общая тенденция при проведении спирометрии с моделированием дыхания через трахеостомическую трубку подтверждает снижение всех показателей независимо от возрастного-половых критериев. Однако стоит отметить, что у лиц разного пола и возраста имеются свои отличительные характеристики. Это можно объяснить физиологическими особенностями, возрастными изменениями строения позвоночника, которые, в свою очередь, влияют на каркас внутригрудной полости и работу дыхательной мускулатуры. Рестриктивное уменьшение вентиляции обусловлено процессами, ограничивающими наполнение легких воздухом. Причиной таких процессов могут быть не только изменения в самих легких, связанные со снижением эластичности легочной ткани (отеки, фиброз легких и т. д.), но и внешние факторы, влияющие на подвижность грудной клетки (кифосколиозы, травмы грудной клетки и т. д.). Функциональным признаком рестриктивных нарушений, независимо от причины их возникновения, является снижение ЖЕЛ.

3. При прогнозировании функции внешнего дыхания у хронических канюленосителей, принимая во внимание сложности выполнения ими форсированного маневра дыхания, в качестве основных предикторов следует использовать параметры, полученные при выполнении спокойного маневра дыхания с учетом возраста и пола.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

## Список литературы

1. Раджабова З.А.-Г., Котов М.А., Эберт М.А., Митрофанов А.С., Раджабова М.А., Левченко Е.В. Распространенный рак гортани: обзор литературы // Сиб. онкол. журн. 2019. Т. 18, № 5. С. 97–107. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2019-18-5-97-107>
2. Kwon D.S., Choi Y.J., Kim T.H., Byun M.K., Cho J.H., Kim H.J., Park H.J. FEF<sub>25-75%</sub> Values in Patients with Normal Lung Function Can Predict the Development of Chronic Obstructive Pulmonary Disease // *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.* 2020. Vol. 15. P. 2913–2921. <https://doi.org/10.2147/COPD.S261732>
3. Park H.J., Byun M.K., Rhee C.K., Kim K., Kim H.J., Yoo K.-H. Significant Predictors of Medically Diagnosed Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Patients with Preserved Ratio Impaired Spirometry: A 3-Year Cohort Study // *Respir. Res.* 2018. Vol. 19, № 1. Art. № 185. <https://doi.org/10.1186/s12931-018-0896-7>
4. Knox-Brown B., Mulhern O., Feary J., Amaral A.F.S. Spirometry Parameters Used to Define Small Airways Obstruction in Population-Based Studies: Systematic Review // *Respir. Res.* 2022. Vol. 23, № 1. Art. № 67. <https://doi.org/10.1186/s12931-022-01990-2>
5. Балацкая Л., Чойнзон Е., Красавина Е., Костюченко Е., Новохрестова Д. Восстановление речевой функции у больных раком полости рта и ротоглотки с использованием инновационных технологий // *Вопр. онкологии.* 2020. Т. 66, № 3. С. 247–251. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2020-66-3-247-251>
6. Kharchenko S.S., Meshcheryakov R.V., Volf D.A., Balatskaya L.N., Choinzonov E.L. Software for Speech Rehabilitation of Cancer Patients After Larynx Resection // *Biomed. Eng.* 2016. Vol. 50, № 2. P. 142–146. <https://doi.org/10.1007/s10527-016-9606-2>
7. Hoesterey D., Das N., Janssens W., Buhr R.G., Martinez F.J., Cooper C.B., Tashkin D.P., Barjaktarevic I. Spirometric Indices of Early Airflow Impairment in Individuals at Risk of Developing COPD: Spirometry Beyond FEV<sub>1</sub>/FVC // *Respir. Med.* 2019. Vol. 156. P. 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2019.08.004>
8. Чучалин А.Г., Айсанов З.Р., Чукина С.Ю., Черняк А.В., Калманова Е.Н. Федеральные клинические рекомендации Российского респираторного общества по использованию метода спирометрии // *Пульмонология.* 2014. № 6. С. 11–24. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2014-0-6-11-24>
9. Goldstein G.H., Ilorreta A.M., Ojo B., Malkin B.D. Incentive Spirometry for the Tracheostomy Patient // *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2012. Vol. 147, № 6. P. 1065–1068. <https://doi.org/10.1177/0194599812457649>
10. Koltisda G., Konstantinopoulou S. Long Term Outcomes in Chronic Lung Disease Requiring Tracheostomy and Chronic Mechanical Ventilation // *Semin. Fetal Neonatal Med.* 2019. Vol. 24, № 5. Art. № 101044. <https://doi.org/10.1016/j.siny.2019.101044>

## References

1. Radzhabova Z.A.-G., Kotov M.A., Ebert M.A., Mitrophanov A.S., Radzhabova M.A., Levchenko E.V. Advanced Laryngeal Cancer (Literature Review). *Sibirskiy onkologicheskiy zhurnal*, 2019, vol. 18, no. 5, pp. 97–107 (in Russ.). <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2019-18-5-97-107>
2. Kwon D.S., Choi Y.J., Kim T.H., Byun M.K., Cho J.H., Kim H.J., Park H.J. FEF<sub>25-75%</sub> Values in Patients with Normal Lung Function Can Predict the Development of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.*, 2020, vol. 15, pp. 2913–2921. <https://doi.org/10.2147/COPD.S261732>
3. Park H.J., Byun M.K., Rhee C.K., Kim K., Kim H.J., Yoo K.-H. Significant Predictors of Medically Diagnosed Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Patients with Preserved Ratio Impaired Spirometry: A 3-Year Cohort Study. *Respir. Res.*, 2018, vol. 19, no. 1. Art. no. 185. <https://doi.org/10.1186/s12931-018-0896-7>
4. Knox-Brown B., Mulhern O., Feary J., Amaral A.F.S. Spirometry Parameters Used to Define Small Airways Obstruction in Population-Based Studies: Systematic Review. *Respir. Res.*, 2022, vol. 23, no. 1. Art. no. 67. <https://doi.org/10.1186/s12931-022-01990-2>
5. Balatskaya L., Choinzonov E., Krasavina E., Kostyuchenko E., Novokhrestova D. Vosstanovlenie rechevoy funktsii u bol'nykh rakom polosti rta i rotoglotki s ispol'zovaniem innovatsionnykh tekhnologiy [Voice Restoration in Patients with Oral Cavity and Oropharyngeal Cancers Using Innovative Technologies]. *Voprosy onkologii*, 2020, vol. 66, no. 3, pp. 247–251. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2020-66-3-247-251>

6. Kharchenko S.S., Meshcheryakov R.V., Volf D.A., Balatskaya L.N., Choinzonov E.L. Software for Speech Rehabilitation of Cancer Patients After Larynx Resection. *Biomed. Eng.*, 2016, vol. 50, no. 2, pp. 142–146. <https://doi.org/10.1007/s10527-016-9606-2>

7. Hoesterey D., Das N., Janssens W., Buhr R.G., Martinez F.J., Cooper C.B., Tashkin D.P., Barjaktarevic I. Spirometric Indices of Early Airflow Impairment in Individuals at Risk of Developing COPD: Spirometry Beyond FEV<sub>1</sub>/FVC. *Respir. Med.*, 2019, vol. 156, pp. 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2019.08.004>

8. Chuchalin A.G., Aysanov Z.R., Chikina S.Yu., Chernyak A.V., Kalmanova E.N. Federal'nye klinicheskie rekomendatsii Rossiyskogo respiratornogo obshchestva po ispol'zovaniyu metoda spirometrii [Federal Guidelines of Russian Respiratory Society on Spirometry]. *Pul'monologiya*, 2014, no. 6, pp. 11–24. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2014-0-6-11-24>

9. Goldstein G.H., Iloreta A.M., Ojo B., Malkin B.D. Incentive Spirometry for the Tracheostomy Patient. *Otolaryngol. Head Neck Surg.*, 2012, vol. 147, no. 6, pp. 1065–1068. <https://doi.org/10.1177/0194599812457649>

10. Koltsida G., Konstantinopoulou S. Long Term Outcomes in Chronic Lung Disease Requiring Tracheostomy and Chronic Mechanical Ventilation. *Semin. Fetal Neonatal Med.*, 2019, vol. 24, no. 5. Art. no. 101044. <https://doi.org/10.1016/j.siny.2019.101044>

Received 7 March 2023

Accepted 12 September 2023

Published 30 November 2023

Поступила 07.03.2023

Принята 12.09.2023

Опубликована 30.11.2023

## Указатель статей, опубликованных в 2023 году

### № 1

**Астахова Т.Ю.** Обеспеченность витамином D беременных женщин, проживающих в условиях Ханты-Мансийского автономного округа – Югры

**Варламова Н.Г., Паршукова О.И., Кудинова А.К., Бойко Е.Р.** Динамические характеристики функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков Республики Коми в годовом цикле

**Ветошкина У.В., Семушина О.П., Леонтьева О.Ю., Соколова О.В.** Клеточной вирусный энцефалит на территории Архангельской области в период пандемии COVID-19

**Волков Д.А., Киров М.Ю.** Физиологические основы целенаправленной инфузионной терапии в кардиохирургии (обзор)

**Гордеева А.Е., Курганова Э.А., Новоселов В.И.** Влияние пероксиредоксина 6 на нефроны в ранний реперфузионный период после ренальной ишемии у крыс

**Иржак Л.И., Русских Н.Г., Паршукова А.Н.** Соотношение ультразвуковых и электрокардиографических параметров внутрисердечной гемодинамики при физической нагрузке у человека

**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 позиции адаптации организма человека к двигательной активности (обзор)

**Кашина Ю.В., Покровский В.М., Чередник И.Л.** Роль генов серотонинергической медиаторной системы в формировании регуляторно-адаптивных возможностей человека

**Кашпанов М.Д., Попов В.В., Новикова И.А.** Взаимосвязь обеспеченности витамином D и показателей функционального статуса жителей г. Мурманска 60–80 лет, больных остеоартритом

К юбилею профессора С.Л. Совершаевой  
**Попова М.А., Чистова В.В., Щербакова А.Э.** Функциональное состояние педагогов северного университета при переходе к дистанционному формату работы

**Радыш И.И., Круглов Л.С., Бояринцев В.В.** Оценка эффективности реабилитации после артроскопической реконструкции передней крестообразной связки

### № 2

**Бушманова Е.А., Логинова Т.П., Людина А.Ю.** Влияние пищевого термогенеза низкокалорийной углеводной нагрузки на энерготраты покоя

**Гешавец Н.П., Пашинская К.О., Добродеева Л.К.** Цитокиновые реакции при дислипотеинемиях у взрослых жителей Европейского Севера России в зависимости от индекса массы тела

**Кунавин М.А., Фаркова А.А., Черкасова А.С., Чуб И.С., Борейко А.П.** Влияние осложненных родов на развитие высших психических функций детей 7-8 лет (на примере первоклассников г. Архангельска)

**Лебедева Е.И., Бабенко А.С., Щастый А.Т.** Уровень мРНК гена *Nos2* как маркер фиброгенеза печени крыс, индуцированного тиаоцетамидом

**Наймушина А.Г., Литовченко О.Г., Кошкарлова Н.И., Беккер Н.Р.** Функциональные показатели качества жизни студентов г. Тюмени

**Носков С.Н., Бузинов Р.В., Сюрин С.А., Еремин Г.Б., Карелин А.О., Гудков А.Б., Попова О.Н., Никанов А.Н.** Современные представления о влиянии земной и космической погоды на здоровье человека (обзор)

**Павлова А.З., Калёкин Р.А., Джувалыков П.Г., Волкова А.А., Павлов А.Л.** Нейротоксическое действие этанола и других психоактивных веществ как общепатологическое основание токсической энцефалопатии

---

---

**Попова Ю.А., Химова Е.С., Елисеев П.И., Колодкина О.Ф., Неминуций А.А., Маминава Г.И., Гаджизаде С.М., Марьяндышев А.О.** Роль биомаркеров мочи в диагностике туберкулеза легких (обзор)

**Продиус П.А., Баженов А.Е., Берстнева М.Д.** Асимметрия мозгового кровообращения в бассейне внутренних сонных артерий у студентов при кратковременной умственной нагрузке: связь с эффективностью контроля поведения

**Сагиров А.Ф.** Гемодинамическая асимметрия и альфа-асимметрия полушарий головного мозга человека при различных положениях тела

### № 3

**Абдрахманова А.Ш., Мавлиев Ф.А., Назаренко А.С.** Ретестовая надежность кистевой динамометрии для измерения максимальной произвольной силы

**Алхусейн-Кулягинова М.С., Котиева Е.М., Котиева В.М., Абоу Алоу М.Ш., Додохова М.А., Котиева И.М.** Патогенетические аспекты введения соединений с предполагаемым противоопухолевым действием в метрономном режиме (обзор)

**Артеменков А.А.** Цитокин-опосредованная дисрегуляция иммунного ответа при инфицировании SARS-CoV-2 (обзор)

**Воронцова А.С., Воробьева Н.А., Воробьева А.И., Мельничук Е.Ю.** Фолатный статус у студентов из Индии, обучающихся в г. Архангельске

**Гудков А.Б., Попова О.Н., Ефимова Н.В., Смолина В.С., Щербина Ю.Ф., Авдышов И.О.** Сезонная функциональная организация деятельности системы внешнего дыхания у молодых лиц в Арктической зоне Российской Федерации (краткое сообщение)

**Дей В.А., Полищук С.В., Покровский В.М., Заболотских Н.В.** Влияние ограничения или отказа от табакокурения на адаптационные возможности организма в условиях антарктической зимовки

**Круглов С.Д., Зубаткина О.В., Самодова А.В.** Влияние внутриклеточной регуляции

метаболизма на популяционный состав лимфоцитов периферической крови

**Кудинова А.К., Варламова Н.Г., Бойко Е.Р.** Амплитудные показатели ЭКГ у мужчин разного возраста при субмаксимальной физической нагрузке (на примере жителей Европейского Севера России)

**Марасанов А.В.** Инновационный подход к исследованию адаптационных резервов и элементного статуса у населения Арктической зоны Российской Федерации (обзор)

**Михайлова С.В., Хрычева Т.В.** Адаптационные, регуляторные и функциональные возможности студентов с разным биологическим возрастом по шкале «Bio-age»

Памяти профессора А.В. Грибанова

**Сабурцев С.А.** Ретроспективная оценка состояния учащихся начальных классов МБОУ «Гимназия» г. Арзамаса (Нижегородская область)

**Сверчков В.В., Быков Е.В.** Позитивное влияние низкоинтенсивных силовых тренировок с ограничением кровотока на показатели обмена веществ у мужчин с метаболическим синдромом

### № 4

**Баянова А.Е., Жданова Е.В., Лукьянова Е.Г.** Критерии напряжения механизмов адаптации у здоровых мужчин, работающих вахтовым методом в условиях Крайнего Севера

**Бебякова Н.А., Левицкий С.Н., Давыдова Н.Г., Галиева А.С.** Взаимосвязь полиморфизмов генов ренин-ангиотензиновой системы с показателями интенсивности кариеса зубов

**Борчев К.Ф.** Связь степени поражения легочной ткани с функциональными возможностями пациентов, переболевших коронавирусной пневмонией

**Иванова Е.С., Нигматуллина Р.Р., Безбрызгов А.В.** Механизмы влияния серотонина на физическую работоспособность: описательный обзор

**Кругликова Е.В., Айзман Р.И.** Суточное потребление жиров и параметры липидного профиля крови у студентов вуза на первом-втором годах обучения

---

---

**Мальцев В.П., Говорухина А.А., Мальков О.А.** Взаимосвязь полиморфизма C825T гена *GNB3* с морфологическими факторами нарушения соматического здоровья у студентов северного вуза

**Нестерова Е.В., Бичкаева Ф.А., Шенгоф Б.А.** Анализ содержания катехоламинов и параметров липидного обмена у аборигенного и местного европеоидного населения Арктической зоны Российской Федерации

**Огуй В.О., Сазонова Е.А., Быков Е.В.** Влияние авторского метода виброакустического массажа поющими чашами на статокINETическую устойчивость

**Пятин В.Ф., Мякишева Ю.В., Громова Д.С., Павлов А.Ф.** Экспериментальные

способы изучения нейрофизиологических особенностей киберспортсменов (обзор)

**Стрекаловская М.Ю.** Аутосенсibilизация при злокачественных новообразованиях

**Файнштейн Д.В., Севрюкова Г.А., Далецкий А.Н., Клаучек С.В.** Модификация методики исследования функции внешнего дыхания с учетом особенностей его выполнения у хронических канюленосителей (краткое сообщение)

**Чащин М.В., Атабеков А.И., Кайк Е.А., Гудков А.Б., Попова О.Н.** Гигиеническая характеристика загрязнения воздуха рабочей зоны сварочного производства в судостроении (на примере верфей Санкт-Петербурга)

---

---

## 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.**

<i>Общие требования</i>	Тексты представляются в электронном виде. Для этого необходимо зайти на сайт журнала <a href="https://vestnikmed.ru">https://vestnikmed.ru</a> 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.
<i>Параметры страницы</i>	Формат А4. Поля: правое, левое – 25 мм, верхнее, нижнее – 20 мм.
<i>Форматирование основного текста</i>	Абзацный отступ – 10 мм. Межстрочный интервал – полуторный. Порядковые номера страниц проставляются посередине верхнего поля страницы арабскими цифрами.
<i>Шрифт</i>	Times New Roman. Размер кегля (символов) – 14 пт; аннотации, ключевых слов – 12 пт.
<i>Объем статьи</i>	Максимальный объем статей: 10–15 страниц, обзорных статей – до 20 страниц, кратких сообщений – 4–6 страниц.
<i>Сведения об авторе</i>	Указываются на русском и английском языках фамилия, имя, отчество автора (полностью); ученая степень, звание, должность и место работы (кафедра, институт, университет). Общее количество научных публикаций, в т. ч. отдельно указать количество монографий; рабочий адрес с почтовым индексом; тел./факсы (служебный, домашний, мобильный), e-mail.
<i>ORCID</i>	В сведениях об авторах также необходимо указать международный авторский идентификатор ORCID в формате интерактивной ссылки <a href="https://orcid.org/0000-0000-0000-0000">https://orcid.org/0000-0000-0000-0000</a> . Если у автора нет номера ORCID, его необходимо получить, зарегистрировавшись на ресурсе <a href="https://orcid.org">orcid.org</a> . В профиле обязательно должна быть указана минимальная информация: место работы, ученая степень, ученое звание, должность.
<i>Индекс УДК</i>	Располагается отдельной строкой слева перед заглавием статьи. Индекс УДК (универсальная десятичная классификация книг) должен соответствовать заявленной теме, проставляется научной библиотекой.
<i>Заглавие</i>	Помещается перед текстом статьи на русском и английском языках. Используется не более 11 слов.

<b>Аннотация</b>	<p>Предоставляется на русском и английском языках. Аннотация должна быть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– информативной (не содержать общих фраз);</li> <li>– оригинальной;</li> <li>– содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);</li> <li>– структурированной (содержать те же разделы, что и статья);</li> <li>– компактной (укладываться в объем от 200 до 250 слов).</li> </ul> <p>Авторы статей в разделах «Научная жизнь» и «Критика и библиография» предоставляют аннотацию объемом 50–100 слов.</p>
<b>Ключевые слова</b>	<p>После аннотации указывается до 6–8 ключевых слов (словосочетаний), несущих в тексте основную смысловую нагрузку.</p>
<b>Примечания и комментарии</b>	<p>Примечания, комментарии, ссылки на сайты (если это не книга, сборник, нормативный документ, статья и т. п. в электронном виде) даются в виде подстрочных сносок (внизу страницы). Маркер сноски – арабская цифра (нумерация сквозная).</p>
<b>Библиографические ссылки</b>	<p>Библиографические ссылки на использованную литературу оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008 (п. 7 «Затекстовая библиографическая ссылка»).</p> <p>– Подпункт 7.4.1 – ссылка на текст.</p> <p><i>Например</i>, в тексте: Общий список справочников по терминологии, охватывающий время не позднее середины XX века, дает работа библиографа И.М. Кауфмана [59];</p> <p>в списке литературы: 59. <i>Кауфман И.М.</i> Терминологические словари: библиография. М., 1961.</p> <p>– Подпункт 7.4.2 – ссылка на фрагмент текста.</p> <p><i>Например</i>, в тексте: [10, с. 81], [10, с. 106] и т. д.;</p> <p>в списке литературы: 10. <i>Бердяев Н.А.</i> Смысл истории. М., 1990. 175 с.</p>
<b>Рисунки, схемы, диаграммы</b>	<p>Принимается не более 4 рисунков (черно-белых). Рисунки, схемы, диаграммы приводятся в тексте статьи и предоставляются отдельным файлом. Схемы выполняются с использованием штриховой заливки. Электронную версию рисунка следует сохранять в форматах *.tiff, *.tif (Grayscale – Оттенки серого, 300 dpi). Иллюстрации должны быть четкими. В тексте статьи следует дать ссылку на конкретный рисунок, например (<i>рис. 2</i>). На рисунках должно быть минимальное количество слов и обозначений. Под рисунком необходимо разместить порядковый номер, подпись и объяснение значений всех кривых, цифр, букв и прочих условных обозначений.</p>

---

---

### **Таблицы**

Таблиц должно быть не более 3. Каждую таблицу следует снабжать порядковым номером и заголовком. Все графы в таблицах должны также иметь тематические заголовки. Сокращение слов допускается только в соответствии с требованиями ГОСТ 7.0.12–2011 (касается русских слов), 7.11–2004 (касается слов на иностранных европейских языках). Таблицы должны быть предоставлены в текстовом редакторе «Microsoft Word» и пронумерованы по порядку. Одновременное использование таблиц и графиков (рисунков) для изложения одних и тех же результатов не допускается. Размерность всех физических величин следует указывать в системе единиц СИ.

### **Формулы**

Математические и физические формулы (только формулы!) выполняются в редакторе «MS Equation 3.0». Переменные в тексте набираются в обычном текстовом режиме.

- Решение о публикации статьи принимается редколлегией журнала. Электронные варианты отредактированного текста авторам не высылаются, присланные материалы не возвращаются.
  - Все статьи отправляются на независимую экспертизу и публикуются только в случае положительной рецензии. Редакция оставляет за собой право производить необходимые уточнения и сокращения.
  - Статьи публикуются на бесплатной основе.
  - Для отправки статьи воспользуйтесь кнопкой «Отправить материал» на сайте журнала <https://vestnikmed.ru>
- Тел.: (8182) 21-61-21; e-mail: [vestnik@narfu.ru](mailto:vestnik@narfu.ru); [vestnik\\_med@narfu.ru](mailto: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](http://www.ural-press.ru/catalog/97266/8652104/?sphrase_id=328738)

«Пресса по подписке» [https://www.akc.ru/itm/z\\_hurnal-mediko-biologic\\_heskih-issledovaniy/](https://www.akc.ru/itm/z_hurnal-mediko-biologic_heskih-issledovaniy/)

Свободная цена.