

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 ЭП № ФС77-89077
выдано 27 января 2025 года
Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Подписной индекс журнала – 82797

Главный редактор **А.О. Марьяндышев**

Редакционная коллегия:

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

Том 14, № 1
2026

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Юрьева Е.В., Кожевникова И.С., Карякина О.Е., Зеленцов Р.Н., Колтырина У.Д., Петрова Е.С. Нарушения миопической рефракции и уровень тревожности у молодых людей 18–22 лет.....	5
Абдрахманова А.Ш., Мавлиев Ф.А., Назаренко А.С., Капустинская В.А., Скиба И.А. Влияние когнитивной нагрузки на функциональное состояние спортсменов.....	14
Сидорова М.А., Мирошниченко И.В., Иванов К.М. Особенности силы дыхательных мышц у здоровых мужчин 20–23 лет с различными соматотипами.....	25
Монгалёв Н.П., Вахнина Н.А., Бойко Е.Р. Реакция эритроцитов у крыс на водно-холодовую среду в зависимости от уровня физической нагрузки	35
Сапёрова Е.В. Динамика показателей внешнего дыхания у молодых женщин в ходе менструального цикла.....	43
Болгов А.А., Корокина Л.В., Бочарова К.А., Круть У.А., Потапова М.С., Шайдорова Г.М., Присный А.А. Развитие тимуса в ходе раннего постнатального периода у цыплят при введении в рацион антибиотика и пробиотика.....	52
НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ	
Сверчков В.В., Быков Е.В. Связь между уровнем физической работоспособности и скоростью биологического старения (обзор)	61

СОДЕРЖАНИЕ

Индексируется в: Размещается в:



Редакторы:

А.В. Крюкова, М.Г. Аверина

Переводчик

С.В. Бирюкова

Верстка

О.В. Деревцовой

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

Адрес издателя:

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

Адрес редакции:

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

Выход в свет 11.03.2026.

Бумага писчая. Формат 84×108 1/16.
Усл. печ. л. 12,07. Уч.-изд. л. 10,00.

- Юнь Ю., Дьякова Е.Ю., Цюй С. Влияние различных типов физической нагрузки на функциональное состояние печени мышцей при диабете 2-го типа (обзор)..... 73
- Колодина М.В., Саркисян Н.С., Гавриш Д.А., Вольткина А.С., Куличенко А.Н. Оценка современного состояния российского биобанкинга в различных отраслях (обзор)..... 90

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Андреев В.П., Сороколетова Е.Ф., Плахотская Ж.В., Коновалова И.А. Номенклатура обязательных гигиенических исследований, проблемы и способы ее совершенствования в медицинской службе Вооруженных сил РФ..... 107
- К сведению авторов..... 113

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

Scientific
peer-reviewed
journal

Published since 2013

JOURNAL of Medical and Biological Research

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

Issued quarterly

Registration certificate EL no. FS77-89077
issued on January 27, 2025 by the Federal
Service for Supervision of Communications,
Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor)
Subscriptional index of the journal – 82797

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

Editorial Board:

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

Vol. 14, no. 1
2026

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

Yur'eva E.V., Kozhevnikova I.S., Karyakina O.E., Zelentsov R.N., Koltyrina U.D., Petrova E.S. Myopic Refractive Errors and Anxiety Level in 18- to 22-Year-Old People.....	5
Abdrakhmanova A.Sh., Mavliev F.A., Nazarenko A.S., Kapustinskaya V.A., Skiba I.A. Effect of Cognitive Load on the Functional State of Athletes.....	14
Sidorova M.A., Miroshnichenko I.V., Ivanov K.M. Respiratory Muscle Strength in Healthy Men Aged 20–23 Years with Different Somatotypes.....	25
Mongalev N.P., Vakhnina N.A., Boyko E.R. Response of Erythrocytes in Rats to a Cold Water Environment Depending on the Level of Physical Activity.....	35
Saperova E.V. Dynamics of Respiratory Parameters in Young Women During the Menstrual Cycle.....	43
Bolgov A.A., Korokina L.V., Bocharova K.A., Krut U.A., Potapova M.S., Shaidorova G.M., Prisnyi A.A. Thymus Development in the Early Postnatal Period in Chicks When an Antibiotic and a Probiotic Are Introduced into the Diet.....	52
REVIEW ARTICLES	
Sverchkov V.V., Bykov E.V. Relationship Between the Level of Physical Performance and the Rate of Biological Ageing (Review).....	61

CONTENTS

Indexed in:



Included in:



Editors:

A.V. Kryukova, M.G. Averina

Translator

S.V. Biryukova

Make-up by

O.V. Derevtsova

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

Publisher's address:

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

Editorial office address:

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

Publication date 11.03.2026.
Writing paper. Format 84×108 1/16.
Conv. printer's sh. 12.07.
Acad. publ. sh. 10.00.

Yun Y., Dyakova E.Yu., Xianbo Q. Effects of Different Types of Exercise on Liver Function in Type 2 Diabetes in Mice (Review)...	73
Kolodina M.V., Sarkisyan N.S., Gavrish D.A., Volynkina A.S., Kulichenko A.N. Assessment of the Current State of Russian Biobanking in Various Sectors (Review).....	90

BRIEF COMMUNICATIONS

Andreev V.P., Sorokoletova E.F., Plakhotskaya Zh.V., Konovalova I.A. Problems and Ways of Improving the Nomenclature of Mandatory Hygiene Tests in the Medical Service of the Russian Armed Forces.....	107
Information for Authors.....	113



Научная статья
УДК [617.753.2+616.89-008.441]:616.89-008.48-057.875
DOI: 10.37482/2687-1491-Z266

Нарушения миопической рефракции и уровень тревожности у молодых людей 18–22 лет

Елизавета Владимировна Юрьева* ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7480-1924>
Ирина Сергеевна Кожевникова*** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9465>
Ольга Евгеньевна Карякина* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0781-0164>
Роман Николаевич Зеленцов** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4875-0535>
Ульяна Дмитриевна Колтырина*** ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8798-4714>
Екатерина Сергеевна Петрова**** ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7837-9888>

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

**Северный государственный медицинский университет
(Архангельск, Россия)

***Первая городская клиническая больница имени Е.Е. Волосевич
(Архангельск, Россия)

****Судиславская районная больница
(пос. Судиславль, Костромская обл., Россия)

Аннотация. Современные исследования все чаще поднимают вопрос о взаимосвязи зрительных функций и состояния центральной нервной системы. Это позволяет предположить, что офтальмологические нарушения, включая миопию, могут оказывать влияние на психоэмоциональное состояние человека, в частности на уровень тревожности. **Цель** данной работы – изучить зависимость уровня выраженности тревожности у юношей и девушек, проживающих в Арктической зоне Российской Федерации, от степени миопии. **Материалы и методы.** Исследование проводилось в период с 2022 по 2024 год. В нем участвовали 184 студента Северного государственного медицинского университета обоего пола в возрасте от 18 до 22 лет (средний возраст – 19,5 года). При офтальмологическом обследовании проведена оценка некорригированной остроты зрения с помощью таблиц Сивцева–Головина, определены параметры максимально корригированной остроты зрения. Методом автоматической рефрактометрии измерена клиническая рефракция. У 104 испытуемых была диагностирована миопическая рефракция (миопия слабой, средней и высокой степени), тогда как у остальных 80 офтальмопатология отсутствовала. При психологическом тестировании осуществлена оценка уровня личностной тревожности с использованием «Шкалы тревожности Тейлора» (адаптация В.Г. Норакидзе). **Результаты.** В данном исследовании не выявлено влияния остроты зрения на психоэмоциональное со-

© Юрьева Е.В., Кожевникова И.С., Карякина О.Е., Зеленцов Р.Н., Колтырина У.Д., Петрова Е.С., 2026

Ответственный за переписку: Елизавета Владимировна Юрьева, *адрес:* 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17; *e-mail:* e.yureva@narfu.ru

стояние молодых людей, что, вероятно, связано с малой долей испытуемых с высокой степенью миопии и небольшим объемом выборки. Авторы предполагают, что расширение выборки и набор участников с разной степенью миопии, в т. ч. с высокой, могут привести к другим результатам. Дальнейшее углубленное изучение этой темы позволит сделать более точные выводы.

Ключевые слова: миопия, близорукость, уровень тревожности, офтальмологические нарушения, студенты вузов, миопическая рефракция

Для цитирования: Нарушения миопической рефракции и уровень тревожности у молодых людей 18–22 лет / Е. В. Юрьева, И. С. Кожевникова, О. Е. Карякина, Р. Н. Зеленцов, У. Д. Колтырина, Е. С. Петрова // Журнал медико-биологических исследований. – 2026. – Т. 14, № 1. – С. 5-13. – DOI 10.37482/2687-1491-Z266.

Original article

Myopic Refractive Errors and Anxiety Level in 18- to 22-Year-Old People

Elizaveta V. Yur'eva* ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7480-1924>
Irina S. Kozhevnikova** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9465>
Olga E. Karyakina* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0781-0164>
Roman N. Zelentsov** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4875-0535>
Ulyana D. Koltyrina*** ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8798-4714>
Ekaterina S. Petrova**** ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7837-9888>

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

**Northern State Medical University
(Arkhangelsk, Russia)

***City Clinical Hospital No. 1 named after E.E. Volosevich
(Arkhangelsk, Russia)

****Sudislavl District Hospital
(Sudislavl, Kostroma Region, Russia)

Abstract. Modern research is increasingly raising the question of the relationship between visual functions and the state of the central nervous system. This allows us to suggest that ophthalmological disorders, including myopia, may affect a person's psycho-emotional state, in particular, the level of anxiety. **The purpose** of this article was to study the dependence of the severity of anxiety on the degree of myopia in young men and women living in the Arctic zone of the Russian Federation. **Materials and methods.** The research was conducted in 2022–2024 and involved 184 male and female students of Northern State Medical University aged between 18 and 22 years (mean age 19.5 years). During the ophthalmic examination, uncorrected visual acuity was assessed using the Golovin–Sivtsev table and best-corrected visual acuity parameters were determined. Automated refractometry was applied to measure clinical refraction. A total of 104 subjects were diagnosed with myopic refraction (low, moderate and high myopia), while the remaining 80 had no ophthalmic pathology. During psychological testing, the level of trait anxiety was assessed using the Taylor Manifest Anxiety Scale (adapted by V.G. Norakidze). **Results.** The research found no effect of visual acuity on the psycho-emotional state of young people, which may be due to the small sample size and to the underrepresentation of subjects with high myopia in the study.

Corresponding author: Elizaveta Yur'eva, address: nab. Severnoy Dviny 17, Arkhangelsk, 163060, Russia; e-mail: e.yureva@narfu.ru

We assume that increasing the sample size and recruiting participants with various degrees of nearsightedness, including high myopia, may reveal other patterns. Further in-depth research into this topic will allow us to draw more accurate conclusions.

Keywords: *myopia, nearsightedness, anxiety level, visual impairments, university students, myopic refraction*

For citation: Yur'eva E.V., Kozhevnikova I.S., Karyakina O.E., Zelentsov R.N., Kolyrina U.D., Petrova E.S. Myopic Refractive Errors and Anxiety Level in 18- to 22-Year-Old People. *Journal of Medical and Biological Research*, 2026, vol. 14, no. 1, pp. 5–13. DOI: 10.37482/2687-1491-Z266

Тревожность представляет собой психоэмоциональное состояние, которому в клинической практике и научных изысканиях уделяется значительно меньше внимания по сравнению с депрессией, вследствие чего оно часто остается недооцененным и не выявленным в общей популяции [1]. В то же время, по данным исследования 2021 года, распространенность клинически выраженных симптомов тревожности среди детей и подростков в мире составляет 20,5 % [2]. Не менее актуальной проблемой в настоящее время является миопия (близорукость) – одно из наиболее часто встречающихся нарушений функции зрения, характеризующееся фокусировкой изображения перед сетчаткой глаза. Согласно мета-анализу [3], распространенность данной патологии среди детей и молодежи Российской Федерации достигает 46,17 %, и прогнозируется дальнейший рост этого показателя [4].

Современные исследователи все чаще обращают внимание на связь между зрительными функциями и работой центральной нервной системы, что позволяет предположить возможное влияние офтальмологических нарушений на эмоциональное состояние человека [5]. Нарушения зрения признаны фактором, повышающим риск ухудшения психического здоровья [6]. Однако вопрос о системной связи между степенью миопии и уровнем тревожности остается недостаточно изученным. Несмотря на наблюдаемые офтальмологами корреляции, в различных исследованиях встречаются противоречивые результаты [7, 8].

Современное научное сообщество обращает особое внимание на влияние нарушений зрения на психическое здоровье детей [9, 10]. Более того, показано, что близорукость воздействует

не только на психоэмоциональное состояние ребенка, но и на психическое здоровье его родителей, особенно матерей, что подтверждает значимость семейного контекста при изучении данной проблемы [11].

Особую ценность для психофизиологии, нейрофизиологии и офтальмологии представляет исследование уровня тревожности среди студентов 18–22 лет. Установлено, что миопия может выступать в качестве фактора, влияющего на интегративные показатели психофизиологического состояния, в частности – на уровень тревожности. Так, в одном из отечественных исследований показано, что у 1100 студентов-медиков со средней степенью миопии уровень тревожности в повседневной деятельности был достоверно выше по сравнению со здоровыми участниками. При этом их уровень тревожности в учебной деятельности, напротив, оказался ниже [12].

Анализ литературы показал, что в возрастной категории 18–25 лет миопия встречается у 30 % популяции [4]. В ряде работ зарубежных авторов выявлена связь между наличием близорукости и повышенным уровнем базовой тревожности, особенно в большой выборке (от 2000 чел.) [13–15]. В масштабном израильском исследовании юношей и девушек, охватившем 891 501 чел., было продемонстрировано, что тревожные расстройства и расстройства настроения чаще встречаются у молодых людей с миопией (1,2 %) по сравнению с их сверстниками без нарушения зрения (0,9 %) [16].

В условиях Арктической зоны Российской Федерации, где климатогеографические факторы оказывают негативное влияние как на физическое, так и на психическое здоровье человека, исследование взаимосвязи наличия миопии и уровня

тревожности приобретает особую актуальность в связи с тем, что люди, проживающие на данных территориях, испытывают высокую стрессорную нагрузку, которая связана с комплексом климатических воздействий и социально-психологических факторов.

Цель данной работы – изучение зависимости уровня выраженности тревожности от степени миопии у лиц обоего пола в возрасте от 18 до 22 лет, проживающих в Арктической зоне РФ.

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе консультативно-диагностической поликлиники Северного государственного медицинского университета (СГМУ) в период с 2022 по 2024 год. Его дизайн был одобрен локальным этическим комитетом СГМУ (протокол № 06/09-23 от 27.09.2023). Все выполняемые процедуры соответствовали требованиям Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (редакция 2013 года).

В исследовании приняли участие 184 студента СГМУ обоего пола (средний возраст – 19,5 года). Критерии включения в выборку: возраст от 18 до 22 лет; наличие подписанного информированного согласия на участие в исследовании; 1-я и 2-я группы здоровья диспансерного наблюдения по классам, группам болезней, отдельным нозологическим формам, за исключением рефракционных нарушений (лица, имеющие установленный диагноз по МКБ-10¹: H52 – нарушения рефракции и аккомодации). Критерии исключения: наличие психических, неврологических (острое нарушение мозгового кровообращения и черепно-мозговые травмы в анамнезе) и офтальмологических заболеваний (кроме H52 – нарушения рефракции и аккомодации; наличие установленного диагноза «миопия» (H51.1) на один глаз являлось критерием исключения), симптомов острых инфекций или обострения хронических заболеваний

(гипертонический криз, лихорадка, болевой синдром любой этиологии и т. д.).

Проведено офтальмологическое обследование участников в условиях амбулаторного приема у врача-офтальмолога в консультативно-диагностической поликлинике СГМУ. Оценка некорригированной остроты зрения (НКОЗ) в диапазоне от 0 до 1,0 у. е. и определение параметров максимально корригированной остроты зрения (МКОЗ) осуществлялись с помощью таблиц Сивцева–Головина [17]. Методом автоматической рефрактометрии с помощью прибора HRK-7000А с автонаведением (Huvitz, Южная Корея) была измерена клиническая рефракция. На основании данных первичного осмотра врачом-офтальмологом выставлялся диагноз в соответствии с МКБ-10.

По результатам офтальмологического обследования все участники были разделены на две группы без учета половой принадлежности: здоровые испытуемые ($n = 80$), лица с миопической рефракцией ($n = 104$) – миопией слабой, средней или высокой степени. Разделение по половому признаку не производилось, т. к. пол не рассматривался как переменная, влияющая на показатели в рамках настоящего исследования.

Оценка уровня личностной тревожности осуществлялась с использованием валидизированной психодиагностической методики «Шкала тревожности Тейлора» (адаптация В.Г. Норакидзе)². Опросник заполнялся в индивидуальном порядке в условиях, исключавших внешние отвлекающие факторы. Испытуемые были поделены на три группы по уровню тревожности в зависимости от количества набранных баллов: низкий (менее 15 баллов), средний (от 16 до 25 баллов), высокий (более 25 баллов).

Статистический анализ данных проводился с помощью программы Statistica 10.0. На начальном этапе была выполнена проверка рас-

¹Международная классификация болезней 10-го пересмотра.

²Личностная шкала проявления тревоги (Дж. Тейлор, адаптация В.Г. Норакидзе) // Диагностика эмоционально-нравственного развития / ред. и сост. И.Б. Дерманова. СПб., 2002. С. 126–129.

пределения количественных переменных с помощью критерия Колмогорова–Смирнова, результаты которой показали отклонение от нормального распределения. В связи с этим при последующей статистической обработке применялись непараметрические методы анализа: *U*-критерий Манна–Уитни, однофакторный дисперсионный анализ по Краскелу–Уоллису, корреляционный анализ по Спирмену и расчет точечных бисериальных коэффициентов корреляции, анализ таблиц сопряженности (кросс-табуляции) – для оценки частотных распределений и возможных связей между категориальными переменными. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Значимость коэффициента корреляции также оценивалась по уровню p , при использовании стандартного критерия Стьюдента.

Результаты. На основании данных офтальмологического обследования в 43,47 % случаев (80 чел.) не обнаружено патологии органа зрения. Наличие миопической рефракции было отмечено в 56,53 % случаев (104 чел.), из которых 39,67 и 13,04 % случаев – миопия слабой и средней степени соответственно. Миопия высокой степени была выявлена лишь в 3,82 % случаев (у 5 чел.).

НКОЗ была больше в группе лиц без офтальмопатологии по сравнению с лицами, имеющими миопическую рефракцию, а также имела тенденцию к снижению при увеличении степени близорукости. Так, острота зрения (без коррекции) у здоровых участников составила 1,0 у. е., у лиц с миопией слабой степени (от $-0,5$ до $-3,0$ дптр) – 0,2 у. е., у лиц с миопией средней степени (от $-3,25$ до $-6,0$ дптр) – 0,09 у. е., у лиц с миопией высокой степени (свыше $-6,25$ дптр) – 0,06 у. е. ($p < 0,001$). МКОЗ определялась у испытуемых с различной степенью миопии, но статистически значимых различий при сравнении группы лиц с миопией слабой степени с группой участников, имеющих миопию средней степени, выявлено не было ($p = 0,079$). Сравнение испытуемых с миопией слабой и средней степени с лицами с высокой

не выполнялось в связи с малочисленностью последней (5 чел.).

Проведен расчет точечного бисериального коэффициента корреляции, который позволяет оценить зависимость между переменной, представленной в номинальной (дихотомической) шкале (здоровые обследуемые и лица с миопией), и переменными, измеренными в интервальных шкалах (уровень тревожности). Получившаяся величина составила $r = 0,03$ ($p = 0,652$). Таким образом, связь между изучаемыми параметрами зрения и уровнем тревожности не была доказана.

При оценке выраженности тревожности у здоровых испытуемых и лиц с миопией по *U*-критерию Манна–Уитни значимых различий не выявлено ($U = 3980,5$; $p = 0,616$). В дальнейшем при сравнении трех групп: здоровые, с миопией слабой степени, с миопией средней степени – использовался критерий Краскела–Уоллиса (табл. 1). Только у одного испытуемого из 5 с высокой степенью миопии был зафиксирован высокий уровень тревожности (27 баллов). У всех остальных участников показатели находились в пределах низкого (6–9 баллов) и умеренного (17 баллов) уровней.

Таблица 1

**Выраженность тревожности
у здоровых испытуемых и лиц
с разной степенью миопии, $Me [Q_1; Q_3]$**

**Severity of anxiety in healthy subjects and individuals
with different degrees of myopia, $Me [Q_1; Q_3]$**

Группа	Тревожность, баллы		
	Me	Q_1	Q_3
Здоровые лица ($n = 80$)	12,5	6,0	22,0
Лица с миопией слабой степени ($n = 73$)	12,0	7,0	21,0
Лица с миопией средней степени ($n = 24$)	18,5	8,0	27,0
Лица с миопией высокой степени ($n = 5$)	9,0	7,0	17,0

Примечание. Критерий Краскела–Уоллиса: $H = 1,638$; $p = 0,441$.

Сравнение двух разных групп по качественным признакам проводилось с использованием статистического χ^2 -критерия, при количестве ожидаемых наблюдений менее 10 дополнительно применялась поправка Йейтса. Результаты оценки частоты встречаемости уровней тревожности среди здоровых испытуемых и лиц с миопией представлены в *табл. 2*.

Таблица 2

Частотность уровней тревожности у здоровых испытуемых и лиц с миопией, % (чел.)

Frequency of anxiety levels in healthy subjects and individuals with myopia, % (people)

Группа	Уровень тревожности		
	низкий	средний	высокий
Здоровые лица (<i>n</i> = 80)	55,00 (44)	27,50 (22)	17,50 (14)
Лица с миопией (<i>n</i> = 104)	56,73 (59)	22,12 (23)	21,15 (22)

В ходе анализа приведенных параметров не выявлено статистически значимых различий между здоровыми испытуемыми и лицами с миопией в частоте низкого и среднего уровней тревожности ($\chi^2_{(1)} = 0,480, p = 0,487$), аналогично – при сравнении частоты низкого и высокого ($\chi^2_{(1)} = 0,160, p = 0,688$) и среднего и высокого ($\chi^2_{(1)} = 0,810, p = 0,368$) уровней тревожности.

Обсуждение. В ряде исследований тревожность, связанная с близорукостью (myopia-related anxiety), описана как форма тревожного состояния, которая может возникать у людей с прогрессирующей миопией, особенно у взрослых с серьезными нарушениями зрения или у детей [15, 16]. Однако в нашей работе достоверных сведений о зависимости тревожности от уровня миопии получено не было. Такие результаты, вероятно, связаны с малым объемом выборки, поскольку в более масштабных рандомизированных исследованиях зарубежных ученых данная зависимость зарегистрирована [8, 13–16].

Результаты изучения тревожности у лиц с миопической рефракцией носят противо-

речивый характер. Так, в работе Q. Li et al. показано, что существует значительная разница в уровне тревожности между студентами с нормальным зрением (187 чел.) и студентами с нарушением зрения (916 чел.) [7]. Однако в исследовании Z. Li et al. уровень тревожности не коррелировал с уровнем остроты зрения [14], что соотносится с нашими данными.

Полученные нами результаты также могут быть обусловлены малой долей в выборке лиц с прогрессирующей миопией и миопией высокой степени, у которых чаще всего выявляют myopia-related anxiety [15, 16]. Еще одним фактором, вероятно, является ограниченность учета и изучения сочетанных психоэмоциональных нарушений, а именно – тревожно-депрессивных расстройств, которые в комплексе с нейровегетативными нарушениями могли бы обозначить более тесную связь с развитием нарушений рефракции. Возможно, свой вклад в специфику полученных результатов также вносит комплекс климатогеографических факторов Арктической зоны РФ, который может оказывать даже более значимое влияние, чем психоэмоциональное состояние. В последующих работах мы планируем расширить рамки исследования, увеличив выборку испытуемых, а также проанализировать корреляцию степени миопии с выраженностью депрессивных состояний и тревожности в зависимости от пола.

Мы предполагаем, что уровень остроты зрения является сложнейшим интегративным показателем, который взаимосвязан с работой центральной и вегетативной нервной систем, что, в свою очередь, может оказывать влияние на психоэмоциональное состояние человека и уровень его тревожности. Однако полученные нами данные не подтверждают этой зависимости, вероятно в связи с тем, что большую часть нашей выборки составили люди с низкой и средней степенью миопии.

Таким образом, в изученной нами выборке уровень личностной тревожности не показал корреляционной зависимости от уровня зрения у людей со слабой и средней степенью миопии.

Мы предполагаем, что исследование на более широкой выборке с включением в нее лиц с разной степенью миопии, в т. ч. с высокой, может показать другие результаты. Дальнейшее углубленное изучение этой темы позволит нам сделать более точные выводы.

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

Список литературы

1. Tian-Ci Quek T., Wai-San Tam W., Tran B.X., Zhang M., Zhang Z., Su-Hui Ho C., Chun-Man Ho R. The Global Prevalence of Anxiety Among Medical Students: A Meta-Analysis // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2019. Vol. 16, № 15. Art. № 2735. <http://doi.org/10.3390/ijerph16152735>
2. Racine N., McArthur B.A., Cooke J.E., Eirich R., Zhu J., Madigan S. Global Prevalence of Depressive and Anxiety Symptoms in Children and Adolescents During COVID-19: A Meta-Analysis // *JAMA Pediatr*. 2021. Vol. 175, № 11. P. 1142–1150. <http://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2021.2482>
3. Liang J., Pu Y., Chen J., Liu M., Ouyang B., Jin Z., Ge W., Wu Z., Yang X., Qin C., Wang C., Huang S., Jiang N., Hu L., Zhang Y., Gui Z., Pu X., Huang S., Chen Y. Global Prevalence, Trend and Projection of Myopia in Children and Adolescents from 1990 to 2050: A Comprehensive Systematic Review and Meta-Analysis // *Br. J. Ophthalmol*. 2025. Vol. 109, № 3. P. 362–371. <https://doi.org/10.1136/bjo-2024-325427>
4. Holden B.A., Fricke T.R., Wilson D.A., Jong M., Naidoo K.S., Sankaridurg P., Wong T.Y., Naduvilath T.J., Resnikoff S. Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 Through 2050 // *Ophthalmology*. 2016. Vol. 123, № 5. P. 1036–1042. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>
5. Yin X., Zhang S., Lee J.H., Dong H., Mourgos G., Terwilliger G., Kraus A., Geraldo L.H., Poulet M., Fischer S., Zhou T., Mohammed F.S., Zhou J., Wang Y., Malloy S., Rohner N., Sharma L., Salinas I., Eichmann A., Thomas J.-L., Saltzman W.M., Huttner A., Zeiss C., Ring A., Iwasaki A., Song E. Compartmentalized Ocular Lymphatic System Mediates Eye–Brain Immunity // *Nature*. 2024. Vol. 628, № 8006. P. 204–211. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07130-8>
6. Demmin D.L., Silverstein S.M. Visual Impairment and Mental Health: Unmet Needs and Treatment Options // *Clin. Ophthalmol*. 2020. Vol. 14, № 14. P. 4229–4251. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S258783>
7. Li Q., Yang J., He Y., Wang T., Zhong L., Zhu Z., Wang T., Ling S. Investigation of the Psychological Health of First-Year High School Students with Myopia in Guangzhou // *Brain Behav*. 2020. Vol. 10, № 4. Art. № e01594. <https://doi.org/10.1002/brb3.1594>
8. Zhang H., Gao H., Zhu Y., Zhu Y., Dang W., Wei R., Yan H. Relationship Between Myopia and Other Risk Factors with Anxiety and Depression Among Chinese University Freshmen During the COVID-19 Pandemic // *Front. Public Health*. 2021. Vol. 9. Art. № 774237. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.774237>
9. Li D., Chan V.F., Virgili G., Piyasena P., Negash H., Whitestone N., O'Connor S., Xiao B., Clarke M., Cherwek D.H., Singh M.K., She X., Wang H., Boswell M., Prakalapakorn S.G., Patnaik J.L., Congdon N. Impact of Vision Impairment and Ocular Morbidity and Their Treatment on Depression and Anxiety in Children: A Systematic Review // *Ophthalmology*. 2022. Vol. 129, № 10. P. 1152–1170. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2022.05.020>
10. Li D., Chan V.F., Virgili G., Mavi S., Pundir S., Singh M.K., She X., Piyasena P., Clarke M., Whitestone N., Patnaik J.L., Xiao B., Cherwek D.H., Negash H., O'Connor S., Prakalapakorn S.G., Huang H., Wang H., Boswell M., Congdon N. Impact of Vision Impairment and Ocular Morbidity and Their Treatment on Quality of Life in Children: A Systematic Review // *Ophthalmology*. 2024. Vol. 131, № 2. P. 188–207. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2023.09.005>
11. Chu H.-H., Zhang R., Han L.-L., Yu J.-F. Study on the Impact of Children's Myopia on Parental Anxiety Levels and Its Related Factors // *Eur. J. Pediatr*. 2025. Vol. 184, № 1. Art. № 94. <https://doi.org/10.1007/s00431-024-05938-0>
12. Сетко Н.П., Коршунова Р.В., Булычева Е.В. Гигиеническая характеристика электронной информационно-образовательной среды и риск ее влияния на психическое состояние студентов с миопией различной степени // *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. 2021. Т. 29, № 12. С. 48–55.

13. Ding Y., Chen X., Zhang L., Xue J., Guan H., Shi Y. Corrected Myopia and Its Association with Mental Health Problems Among Rural Primary School Students in Northwest China // *Ophthalmic Epidemiol.* 2025. P. 1–9. <https://doi.org/10.1080/09286586.2025.2457626>

14. Li Z., Wei J., Lu S., Wang F., Xia Y. Association Between Myopia and Anxiety: A Cross-Sectional Study Based on Chinese University Freshmen // *Ann. Transl. Med.* 2023. Vol. 11, № 8. Art. № 298. <https://doi.org/10.21037/atm-23-743>

15. Zhu X., Meng J., Han C., Wu Q., Du Y., Qi J., Wei L., Li H., He W., Zhang K., Lu Y. CCL2-Mediated Inflammatory Pathogenesis Underlies High Myopia-Related Anxiety // *Cell Discov.* 2023. Vol. 9, № 1. Art. № 94. <https://doi.org/10.1038/s41421-023-00588-2>

16. Nitzan I., Shmueli O., Safir M. Association of Myopia with Anxiety and Mood Disorders in Adolescents // *Eye (Lond.)*. 2024. Vol. 38, № 15. P. 3016–3018. <https://doi.org/10.1038/s41433-024-03170-6>

17. Зеленцов Р.Н., Унгурияну Т.Н., Поскотинова Л.В. Возрастные аспекты заболеваемости миопией на европейском севере России // *Экология человека.* 2022. Т. 29, № 1. С. 19–26. <https://doi.org/10.17816/humeco84128>

References

1. Tian-Ci Quek T., Wai-San Tam W., Tran B.X., Zhang M., Zhang Z., Su-Hui Ho C., Chun-Man Ho R. The Global Prevalence of Anxiety Among Medical Students: A Meta-Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2019, vol. 16, no. 15. Art. no. 2735. <http://doi.org/10.3390/ijerph16152735>

2. Racine N., McArthur B.A., Cooke J.E., Eirich R., Zhu J., Madigan S. Global Prevalence of Depressive and Anxiety Symptoms in Children and Adolescents During COVID-19: A Meta-Analysis. *JAMA Pediatr.*, 2021, vol. 175, no. 11, pp. 1142–1150. <http://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2021.2482>

3. Liang J., Pu Y., Chen J., Liu M., Ouyang B., Jin Z., Ge W., Wu Z., Yang X., Qin C., Wang C., Huang S., Jiang N., Hu L., Zhang Y., Gui Z., Pu X., Huang S., Chen Y. Global Prevalence, Trend and Projection of Myopia in Children and Adolescents from 1990 to 2050: A Comprehensive Systematic Review and Meta-Analysis. *Br. J. Ophthalmol.*, 2025, vol. 109, no. 3, pp. 362–371. <https://doi.org/10.1136/bjo-2024-325427>

4. Holden B.A., Fricke T.R., Wilson D.A., Jong M., Naidoo K.S., Sankaridurg P., Wong T.Y., Naduvilath T.J., Resnikoff S. Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 Through 2050. *Ophthalmology*, 2016, vol. 123, no. 5, pp. 1036–1042. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>

5. Yin X., Zhang S., Lee J.H., Dong H., Mourgos G., Terwilliger G., Kraus A., Geraldo L.H., Poulet M., Fischer S., Zhou T., Mohammed F.S., Zhou J., Wang Y., Malloy S., Rohner N., Sharma L., Salinas I., Eichmann A., Thomas J.-L., Saltzman W.M., Huttner A., Zeiss C., Ring A., Iwasaki A., Song E. Compartmentalized Ocular Lymphatic System Mediates Eye–Brain Immunity. *Nature*, 2024, vol. 628, no. 8006, pp. 204–211. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07130-8>

6. Demmin D.L., Silverstein S.M. Visual Impairment and Mental Health: Unmet Needs and Treatment Options. *Clin. Ophthalmol.*, 2020, vol. 2020, no. 14, pp. 4229–4251. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S258783>

7. Li Q., Yang J., He Y., Wang T., Zhong L., Zhu Z., Wang T., Ling S. Investigation of the Psychological Health of First-Year High School Students with Myopia in Guangzhou. *Brain Behav.*, 2020, vol. 10, no. 4. Art. no. e01594. <https://doi.org/10.1002/brb3.1594>

8. Zhang H., Gao H., Zhu Y., Zhu Y., Dang W., Wei R., Yan H. Relationship Between Myopia and Other Risk Factors with Anxiety and Depression Among Chinese University Freshmen During the COVID-19 Pandemic. *Front. Public Health.*, 2021, vol. 9. Art. no. 774237. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.774237>

9. Li D., Chan V.F., Virgili G., Piyasena P., Negash H., Whitestone N., O'Connor S., Xiao B., Clarke M., Cherwek D.H., Singh M.K., She X., Wang H., Boswell M., Prakalapakorn S.G., Patnaik J.L., Congdon N. Impact of Vision Impairment and Ocular Morbidity and Their Treatment on Depression and Anxiety in Children: A Systematic Review. *Ophthalmology*, 2022, vol. 129, no. 10, pp. 1152–1170. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2022.05.020>

10. Li D., Chan V.F., Virgili G., Mavi S., Pundir S., Singh M.K., She X., Piyasena P., Clarke M., Whitestone N., Patnaik J.L., Xiao B., Cherwek D.H., Negash H., O'Connor S., Prakalapakorn S.G., Huang H., Wang H., Boswell M., Congdon N. Impact of Vision Impairment and Ocular Morbidity and Their Treatment on Quality of Life in Children: A Systematic Review. *Ophthalmology*, 2024, vol. 131, no. 2, pp. 188–207. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2023.09.005>

11. Chu H.-H., Zhang R., Han L.-L., Yu J.-F. Study on the Impact of Children's Myopia on Parental Anxiety Levels and Its Related Factors. *Eur. J. Pediatr.*, 2025, vol. 184, no. 1. Art. no. 94. <https://doi.org/10.1007/s00431-024-05938-0>

12. Setko N.P., Korshunova R.V., Bulycheva E.V. Hygienic Characteristics of the Digital Information and Educational Environment and the Risk of Its Mental Health Impacts in Students with Different Degrees of Myopia. *Zdorov'ye naseleniya i sreda obitaniya*, 2021, vol. 29, no. 12, pp. 48–55 (in Russ.).

13. Ding Y., Chen X., Zhang L., Xue J., Guan H., Shi Y. Corrected Myopia and Its Association with Mental Health Problems Among Rural Primary School Students in Northwest China. *Ophthalmic Epidemiol.*, 2025, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1080/09286586.2025.2457626>

14. Li Z., Wei J., Lu S., Wang F., Xia Y. Association Between Myopia and Anxiety: A Cross-Sectional Study Based on Chinese University Freshmen. *Ann. Transl. Med.*, 2023, vol. 11, no. 8. Art. no. 298. <https://doi.org/10.21037/atm-23-743>

15. Zhu X., Meng J., Han C., Wu Q., Du Y., Qi J., Wei L., Li H., He W., Zhang K., Lu Y. CCL2-Mediated Inflammatory Pathogenesis Underlies High Myopia-Related Anxiety. *Cell Discov.*, 2023, vol. 9, no. 1. Art. no. 94. <https://doi.org/10.1038/s41421-023-00588-2>

16. Nitzan I., Shmueli O., Safir M. Association of Myopia with Anxiety and Mood Disorders in Adolescents. *Eye (Lond.)*, 2024, vol. 38, no. 15, pp. 3016–3018. <https://doi.org/10.1038/s41433-024-03170-6>

17. Zelentsov R.N., Unguryanu T.N., Poskotinova L.V. Age-Related Aspects of Myopia Incidence in the European North of Russia. *Hum. Ecol.*, 2022, vol. 29, no. 1, pp. 19–26 (in Russ.). <https://doi.org/10.17816/humeco84128>

Поступила в редакцию 09.06.2025 / Одобрена после рецензирования 22.08.2025 / Принята к публикации 25.08.2025
Submitted 9 June 2025 / Approved after reviewing 22 August 2025 / Accepted for publication 25 August 2025



Научная статья

УДК 612.821:796.01

DOI: 10.37482/2687-1491-Z270

Влияние когнитивной нагрузки на функциональное состояние спортсменов

Аделя Шамильевна Абдрахманова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4971-7822>

Фанис Азгатович Мавлиев* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8981-7583>

Андрей Сергеевич Назаренко* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3067-8395>

Валерия Алексеевна Капустинская* ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2704-2485>

Игорь Александрович Скиба** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6272-8775>

*Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма
(Казань, Россия)

**Казанский государственный медицинский университет
(Казань, Россия)

Аннотация. Исследования показывают, что когнитивная нагрузка может оказывать негативное влияние на физическую работоспособность. В повседневной жизни когнитивной нагрузкой может являться использование смартфона, компьютерные игры, обучение или вождение автомобиля. Спортсмены сталкиваются с когнитивными задачами во время спортивных состязаний, однако остается неясным, насколько они устойчивы к когнитивным нагрузкам вне спортивного контекста и могут ли такие нагрузки влиять на последующую спортивную деятельность. **Цель работы** – изучить влияние когнитивной нагрузки на функциональное состояние спортсменов. **Материалы и методы.** Участниками эксперимента, проведенного на базе Научно-исследовательского института физической культуры и спорта Поволжского государственного университета физической культуры, спорта и туризма, стали 42 студента мужского пола (средний возраст – $21,35 \pm 3,01$ года): профессиональные спортсмены (футбол, баскетбол, гандбол, борьба (борьба на поясах, самбо, каратэ, тхэквондо), плавание, хоккей; $n = 33$) и неспортсмены ($n = 9$). В качестве когнитивной нагрузки использовался 30-минутный неконгруэнтный тест Струпа. До и после когнитивной нагрузки проводилась оценка когнитивной утомленности по шкале VAS, фиксировались частота сердечных сокращений и показатели артериального давления. Также выполнялись тесты на простую зрительно-моторную реакцию и рабочую память, проба Ромберга с открытыми и закрытыми глазами, две попытки кистевой динамометрии на максимальное усилие, одна попытка динамометрии на выносливость с параллельной фиксацией электрической активности задействованных мышц и последующей оценкой тяжести выполнения физической задачи по шкале Борга CR-10. **Результаты.** Исследование выявило, что когнитивная нагрузка приводит к увеличению восприятия физической нагрузки и ухудшению физиологических показателей спорт-

© Абдрахманова А.Ш., Мавлиев Ф.А., Назаренко А.С., Капустинская В.А., Скиба И.А., 2026

Ответственный за переписку: Аделя Шамильевна Абдрахманова, адрес: 420010, г. Казань, Деревня Универсиады, д. 35; e-mail: adeliaabd@mail.ru

сменов, что свидетельствует о влиянии когнитивного утомления на их вегетативную регуляцию. При этом показатели простой зрительно-моторной реакции и рабочей памяти, отражающие базовые когнитивные и сенсомоторные функции, у спортсменов оставались стабильными после когнитивной нагрузки. По показателям динамометрии у них не было отмечено значимых изменений, но наблюдалось значимое снижение электрической активности задействованных мышц.

Ключевые слова: когнитивная нагрузка, когнитивное утомление, изометрические показатели, кистевая динамометрия, воспринимаемая нагрузка, мышцы верхних конечностей, спортсмены

Для цитирования: Влияние когнитивной нагрузки на функциональное состояние спортсменов / А. Ш. Абдрахманова, Ф. А. Мавлиев, А. С. Назаренко, В. А. Капустинская, И. А. Скиба // Журнал медико-биологических исследований. – 2026. – Т. 14, № 1. – С. 14-24. – DOI 10.37482/2687-1491-Z270.

Original article

Effect of Cognitive Load on the Functional State of Athletes

Adelia Sh. Abdrakhmanova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4971-7822>

Fanis A. Mavliev* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8981-7583>

Andrey S. Nazarenko* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3067-8395>

Valeria A. Kapustinskaya* ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2704-2485>

Igor A. Skiba** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6272-8775>

*Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism
(Kazan, Russia)

**Kazan State Medical University
(Kazan, Russia)

Abstract. Studies show that cognitive load can negatively affect physical performance. In everyday life, cognitive load can include smartphone use, playing video games, studying or driving a car. Athletes routinely face cognitive demands during competitions; however, it remains unclear to what extent they are resilient to cognitive loads outside of the sports context and whether such loads can affect subsequent athletic performance. The **purpose** of the study was to examine the effect of cognitive load on athletes' functional state. **Materials and methods.** The experiment was conducted at the Research Institute of Physical Culture and Sports, Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism, and involved 42 male students (mean age 21.35 ± 3.01 years): professional athletes (football, basketball, handball, belt wrestling, sambo, karate, taekwondo, swimming and hockey; $n = 33$) and non-athletes ($n = 9$). A 30-minute incongruent Stroop test was used as cognitive load. Before and after the test, the participants completed a fatigue visual analogue scale (VAS), their heart rate and blood pressure were measured. In addition, tests for simple visual-motor reaction and working memory were performed, as well as the Romberg test with eyes open and closed, two maximal effort handgrip attempts, one endurance dynamometry attempt with simultaneous recording of the electrical activity of the muscles involved, followed by the Borg

Corresponding author: Adelia Abdrakhmanova, address: Derevnya Universiady 35, Kazan, 420010, Russia; e-mail: adeliaabd@mail.ru

CR-10 scale for perceived exertion. **Results.** The research demonstrated that cognitive load increases perceived exertion and negatively affects athletes' physiological parameters, indicating the impact of cognitive fatigue on the autonomic regulation. Noteworthy, simple visual-motor reaction and working memory parameters, reflecting basic cognitive and sensorimotor functions, remained stable in athletes after cognitive load. While dynamometry showed no significant changes, a significant decrease in muscle electrical activity was observed in athletes.

Keywords: *cognitive load, cognitive fatigue, isometric parameters, hand dynamometry, perceived exertion, upper limb muscles, athletes*

For citation: Abdrakhmanova A.Sh., Mavliev F.A., Nazarenko A.S., Kapustinskaya V.A., Skiba I.A. Effect of Cognitive Load on the Functional State of Athletes. *Journal of Medical and Biological Research*, 2026, vol. 14, no. 1, pp. 14–24. DOI: 10.37482/2687-1491-Z270

Исполнительные функции, обеспечиваемые префронтальной корой головного мозга (рабочая память, тормозящий контроль, когнитивная гибкость), помогают принимать решения, делать выбор, контролировать эмоции, мысли и действия при обработке внешней информации [1]. До сих пор изучается роль исполнительных функций в спортивном успехе [2], при этом отмечается необходимость их участия в принятии решений во время спортивных состязаний, особенно в нестандартных ситуациях [3]. В исследовании А.В. Кабачковой и соавт. было отмечено, что спортивная тренировка приводит к перестройке регуляции мозгового кровотока [4]. Были выявлены согласованность реакций сосудов головного мозга в условиях когнитивных нагрузок у спортсменов циклических видов спорта и ухудшение этих реакций у спортсменов, имеющих дело со статическими нагрузками [4]. В исследовании Н.А. Овчинниковой и соавт. во время когнитивной нагрузки у легкоатлетов отмечалось усиление мощности дельта-диапазона, у тяжелоатлетов – мощности дельта- и тета-диапазонов, в отличие от неспортсменов [5]. У последних в работе И.С. Поликановой и соавт. наблюдалось ухудшение самочувствия, активности, увеличение индекса утомления, средней мощности тета-, альфа- и бета-ритмов после когнитивной нагрузки [6].

Несмотря на успешность решения спортсменами когнитивных задач на исполнительное функционирование (тест Струпа, фланговая задача, тест go/no go), не имеется однозначных

доказательств их устойчивости к когнитивным нагрузкам вне спортивной деятельности. Предполагается, что когнитивная утомленность вследствие предварительной когнитивной нагрузки будет увеличивать восприятие физической нагрузки и снижать мотивацию к дальнейшему выполнению физического усилия [7]. Также когнитивная утомленность может иметь накопительный эффект и влиять на работоспособность в течение длительного времени [8].

Цель исследования – изучить влияние когнитивной нагрузки на функциональное состояние спортсменов. В качестве когнитивной нагрузки использовалась задача, направленная на тормозящий контроль, – неконгруэнтный тест Струпа, включающий в себя подавление внешних или внутренних импульсов с последующей корректировкой поведения/ответа [2]. Выбор неконгруэнтного теста был связан с тем, что, согласно данным X. Liu et al., люди медленнее и менее точно реагируют на неконгруэнтные стимулы, чем на конгруэнтные [7]. При этом во время выполнения неконгруэнтной задачи активируются дорсолатеральная префронтальная кора, передняя поясная кора и теменнозатылочные области, а во время выполнения конгруэнтной – активность в первых двух областях меньше и задействуются базовые области, отвечающие за зрение и пространственную ориентацию [7].

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе Научно-исследовательского института физической культуры и спорта По-

волжского государственного университета физической культуры, спорта и туризма (Поволжский ГУФКСиТ, г. Казань). В нем принимали участие 42 студента мужского пола: 33 спортсмена (6 футболистов, 5 баскетболистов, 4 гандболиста, 8 борцов, 4 пловца, 6 хоккеистов) и 9 неспортсменов. Все они были проинформированы о необходимости воздержания от напряженной физической активности за 24 ч до исследования, а также от употребления стимулирующих напитков и приема пищи не менее чем за 1 ч до исследования. Протокол эксперимента был одобрен локальным этическим комитетом Поволжского ГУФКСиТ 16 декабря 2022 года. Студенты предоставили письменное информированное согласие на участие в исследовании, которое проводилось в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Средний возраст испытуемых составил $21,35 \pm 3,01$ года, средний рост – $181,40 \pm 6,77$ см, средняя масса тела – $76,2 \pm 11,0$ кг. Последовательность эксперимента и время его прохождения отражены на рисунке.

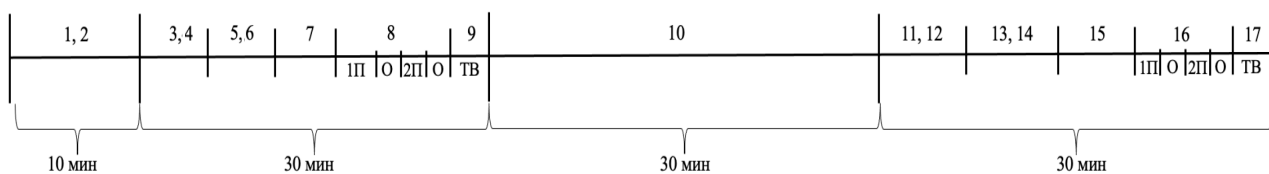
Когнитивная утомленность. Для оценки когнитивной утомленности была использована визуальная аналоговая шкала (VAS). Участники были проинструктированы следующим образом: «Отметьте крестиком точку на линии, представляющую Ваше восприятие текущего

состояния когнитивной утомленности». Шкала состояла из линии длиной 100 мм с отметками в диапазоне от «вообще нет» в ее начале (0 баллов) до «максимум» в конце (10 баллов) [9, 10].

Физиологические показатели. Частота сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин), артериальное систолическое ($АД_с$, мм рт. ст.) и диастолическое ($АД_д$, мм рт. ст.) давление измерялись с помощью тонометра A&D Medical (Япония) в положении сидя.

Тесты на простую зрительно-моторную реакцию (ПЗМР) и рабочую память. Проводились на аппаратно-программном комплексе «НС-Психотест» (Россия). Для оценки рабочей памяти использовалась методика «Память на числа». В тесте на ПЗМР определялись среднее значение времени реакции (СЗВР, мс) и коэффициент точности Уиппла, а в тесте на рабочую память – объем памяти (%).

Стабилометрия. До и после теста Струпа выполнялась проба Ромберга с открытыми (30 с) и закрытыми (30 с) глазами с помощью компьютерного стабиланализатора «Стабилан-01» (Россия). Для анализа устойчивости позы использовались стабилографические показатели колебаний центра давления (ЦД): Q_x , Q_y – среднеквадратическое отклонение ЦД во фронтальной и сагиттальной плоскостях соответственно, мм; R – средний радиус отклонения ЦД, мм; V – средняя скорость перемещения



Дизайн исследования: 1 – ознакомление с исследованием, заполнение согласия; 2 – антропометрия; 3, 12 – оценка когнитивной утомленности по шкале VAS; 4, 11 – измерение ЧСС и АД; 5, 13 – тест на простую зрительно-моторную реакцию; 6, 14 – тест на рабочую память (память на числа); 7, 15 – проба Ромберга; 8, 16 – динамометрия с параллельной электромиографией (1П, 2П – первая и вторая попытки теста на максимальную произвольную силу, О – отдых (1 мин)); 9, 17 – тест на силовую выносливость (ТВ) и оценка тяжести выполнения физической задачи по шкале Борга CR-10; 10 – неконгруэнтный тест Струпа

Study design: 1 – introduction to the study, informed consent; 2 – anthropometry; 3, 12 – assessment of cognitive fatigue using the VAS scale; 4, 11 – measurement of heart rate and blood pressure; 5, 13 – simple visual-motor reaction test; 6, 14 – working memory test (digit span); 7, 15 – Romberg test; 8, 16 – dynamometry with simultaneous electromyography (1P, 2P – 1st and 2nd maximal effort handgrip attempts, O – rest (1 min)); 9, 17 – endurance attempt (TB) and assessment of perceived exertion using the Borg CR-10 scale; 10 – incongruent Stroop test

ЦД, мм/с; SV – скорость изменения площади статокинезиограммы, мм²/с; КФР – качество функции равновесия, %; ELLS – площадь эллипса, мм²; IV – индекс скорости, мм/с; OD – оценка движения, рад/с.

Физические задачи. Проводилась кистевая динамометрия (изометрическая нагрузка) при помощи системы сбора данных PowerLab ML870 (ADInstruments, Австралия) с использованием датчика силы захвата MLT004/CT. Участники выполняли два максимальных сжатия ведущей рукой с 1-минутным отдыхом между ними. Наибольшая достигнутая сила регистрировалась как их максимальная произвольная сила (МПС). Через 1 мин отдыха обследуемый сжимал рукоятку динамометра с наибольшим усилием в течение максимального времени (тест на силовую выносливость). Оценивались параметры: МПС (Н), время сжатия до отказа (с), время сжатия с усилием не менее 50 % от МПС (с).

Одновременно с каждой попыткой динамометрии проводилась поверхностная электромиография (ЭМГ) сгибателя и разгибателя кисти. Подготовка к процедуре включала в себя: очищение кожи предплечья, помещение поверхностных электродов на расстоянии 2 см друг от друга на мышечное брюшко лучевого сгибателя и разгибателя кисти. Заземляющий электрод накладывался на костный выступ медиального надмыщелка плечевой кости. Сигнал поверхностной ЭМГ усиливался, оцифровывался и непрерывно передавался с помощью системы сбора данных PowerLab ML870. Вся обработка осуществлялась с использованием программного обеспечения для анализа данных LabChart 8 (ADInstruments, Австралия). Оценивались пиковая амплитуда (мВ) и площадь пика (мВ/с).

Для определения воспринимаемого напряжения после выполненной динамометрии на силовую выносливость применялась шкала Борга CR-10 (10-балльная шкала, где 0 – отсутствие нагрузки, а 10 – очень тяжело) [11]. Участники были проинструктированы так, чтобы могли оценить воспринимаемую нагрузку

во время выполнения теста на предельно долгое удержание рукоятки динамометра с максимальным усилием.

Экспериментальная когнитивная задача. В качестве когнитивной нагрузки использовался неконгруэнтный тест Струпа [12], где значение слова и цвет его шрифта не совпадали, необходимо было выбрать ответ, ориентируясь на смысл слова, а не на цвет шрифта. Задача выполнялась 30 мин в специализированной программе [13]. Стимулы предъявлялись после нажатия на цветовой образец в форме строки. Измерялись: время принятия решений (мс) и количество ошибок на каждом этапе теста.

Анализ данных. Статистическая обработка проводилась в программе IBM SPSS 20. Данные были проверены на нормальность распределения с помощью критерия Шапиро–Уилка. Для сравнения связанных выборок использовался *W*-критерий Уилкоксона, для несвязанных – *U*-критерий Манна–Уитни. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Количественные данные представлены в виде медианы (*Me*) и интерквартильного размаха [Q_1 ; Q_3].

Результаты. По шкале VAS наблюдалось статистически значимое увеличение когнитивной утомленности после выполнения теста Струпа у спортсменов – с 2,0 [1,3; 2,0] до 2,0 [2,0; 4,0] баллов ($p < 0,05$), у неспортсменов значимых изменений не установлено: до теста – 2,0 [1,5; 3,0] балла, после – 2,0 [0,5; 6,5] балла. Различий между группами не отмечено.

Показатели, отражающие физиологическую реакцию сердечно-сосудистой системы (табл. 1), после когнитивной нагрузки изменились у спортсменов: увеличилась ЧСС, снизились АД_с и АД_д. Между группами в показателях ЧСС и артериального давления значимых различий не выявлено.

В тесте на ПЗМР у обеих групп не было значимых изменений после когнитивной нагрузки: СЗВР у спортсменов до теста Струпа составило 197,0 [175,3; 218,8] мс, после – 197,8 [175,9; 219,7] мс; у неспортсменов – 251,6 [232,8; 285,4] и 226,6 [222,7; 252,5] мс

Таблица 1

**Показатели сердечно-сосудистой системы у спортсменов и неспортсменов
до и после выполнения экспериментальной задачи, Me [Q₁; Q₃]**

Cardiovascular parameters in athletes and non-athletes before and after the experimental task, Me [Q₁; Q₃]

Группа, момент измерения	ЧСС, уд./мин	АД _с , мм рт. ст.	АД _д , мм рт. ст.
Спортсмены: до задачи	65,0 [60,0; 76,5]	125,0 [119,5; 137,5]	70,0 [64,0; 75,0]
после задачи	66,0 [56,0; 70,5]*	120,0 [110,5; 126,8]*	66,0 [58,3; 72,5]*
Неспортсмены: до задачи	78,0 [63,0; 85,0]	123,0 [106,0; 139,0]	74,0 [67,0; 85,5]
после задачи	72,0 [57,0; 88,0]	119,0 [108,0; 133,0]	82,0 [69,0; 90,5]

Примечание: * – уровень значимости изменений после экспериментальной задачи $p < 0,05$.

соответственно. Между группами данные различались до когнитивной нагрузки ($p = 0,022$), но не после нее. Коэффициент точности Уиппла значимо не менялся: у спортсменов до теста Струпа – 0,97 [0,96; 0,98], после – 0,97 [0,96; 0,98]; у неспортсменов – 0,99 [0,92; 0,99] и 0,94 [0,92; 0,97] соответственно. В тесте на рабочую память также не было значимых изменений внутри групп и между ними: объем памяти у спортсменов до когнитивной нагрузки – 57,30 [49,90; 64,70] %, после – 52,02 [44,60; 59,46] %; у неспортсменов – 58,30 [45,90; 75,00] и 58,30 [37,50; 66,70] % соответственно.

Значимые различия наблюдались в тесте Струпа между группами: время принятия решений у спортсменов – 1386,53 [1265,07; 1507,98] мс, у неспортсменов – 1783,00 [1344,14; 2221,86] мс ($p < 0,001$); количество ошибок у спортсменов – 21,74 [16,53; 26,96], у неспортсменов – 38,25 [20,07; 56,43] ($p < 0,005$).

По показателям стабилотрии (табл. 2) значимое ухудшение отмечалось у неспортсменов. Между группами значимых различий не наблюдалось.

Показатель максимального сжатия динамометра как у спортсменов, так и у неспортсменов

Таблица 2

**Показатели стабилотрии у спортсменов и неспортсменов
до и после выполнения экспериментальной задачи, Me [Q₁; Q₃]**

Stabilometric parameters in athletes and non-athletes before and after the experimental task, Me [Q₁; Q₃]

Группа, момент измерения	R, мм, при открытых глазах	SV, мм ² /с, при открытых глазах	Q _x , мм, при закрытых глазах
Спортсмены: до задачи	4,04 [2,92; 4,86]	10,95 [8,13; 18,80]	3,09 [2,41; 4,78]
после задачи	4,48 [3,68; 5,64]	12,20 [8,70; 19,30]	3,31 [2,12; 3,94]
Неспортсмены: до задачи	4,73 [3,66; 6,11]	12,20 [7,75; 23,05]	2,46 [1,90; 5,38]
после задачи	6,00 [5,36; 9,34]*	22,00 [13,08; 46,50]*	4,06 [3,25; 8,32]*

Примечание: * – уровень значимости изменений после экспериментальной задачи $p < 0,05$.

статистически значимо не изменился после когнитивной нагрузки (табл. 3), но значимо отличался между группами как до, так и после теста Струпа. Все показатели ЭМГ статистически значимо снизились только в группе спортсменов. По шкале Борга CR-10 статистически значимое увеличение восприятия нагрузки отмечалось в группе спор-

тсменов – с 4,0 [3,0; 6,0] до 5,0 [3,0; 6,8] баллов ($p < 0,05$); у неспортсменов значимых изменений не наблюдалось: до теста Струпа – 5,0 [3,5; 8,0] баллов, после – 6,0 [3,5; 7,0] баллов. Оценка по данной шкале имела статистически значимые отличия между группами как до ($p = 0,025$), так и после ($p = 0,018$) когнитивной нагрузки.

Таблица 3

Показатели динамометрии и электромиографии у спортсменов и неспортсменов до и после выполнения экспериментальной задачи, $Me [Q_1; Q_3]$
 Dynamometric and electromyographic parameters in athletes and non-athletes before and after the experimental task, $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель	Спортсмены	Неспортсмены
<i>Измерения до выполнения задачи</i>		
МПС, Н:		
1-я попытка	476,65 [403,15; 527,20] [#]	410,20 [331,10; 460,95]
2-я попытка	461,10 [404,05; 514,90] [#]	419,10 [316,40; 517,35]
лучшая попытка	480,00 [415,50; 530,00]	425,00 [331,00; 517,50]
Сила в тесте на выносливость, Н:		
средняя	322,90 [279,00; 373,00] [#]	317,10 [189,00; 347,80]
максимальная	430,00 [378,30; 467,90]	441,50 [322,05; 509,80]
Пиковая амплитуда разгибателя кисти, мВ:		
1-я попытка	0,41 [0,31; 0,71]	0,33 [0,22; 0,52]
2-я попытка	0,42 [0,36; 0,68]	0,41 [0,32; 0,46]
тест на выносливость	0,69 [0,43; 0,99]	0,38 [0,31; 0,60]
<i>Измерения после выполнения задачи</i>		
МПС, Н:		
1-я попытка	465,80 [403,50; 534,65] [#]	420,10 [304,95; 505,05]
2-я попытка	447,70 [394,00; 532,70] [#]	411,00 [310,55; 480,70]
лучшая попытка	465,90 [411,30; 541,70]	420,10 [310,55; 512,90]
Сила в тесте на выносливость, Н:		
средняя	302,50 [263,25; 373,25]	309,50 [195,30; 374,10]
максимальная	419,10 [350,30; 487,80]	415,50 [281,00; 476,85]
Пиковая амплитуда разгибателя кисти, мВ:		
1-я попытка	0,41 [0,29; 0,51] ^{*#}	0,17 [0,14; 0,35]
2-я попытка	0,35 [0,26; 0,49] [*]	0,43 [0,21; 0,45]
тест на выносливость	0,48 [0,37; 0,72] [*]	0,41 [0,30; 0,56]

Примечание: * – уровень значимости изменений после экспериментальной задачи $p < 0,05$; # – уровень значимости отличий от неспортсменов $p < 0,05$.

Обсуждение. Результаты, полученные в ходе эксперимента, согласуются с гипотезой центрального регулятора утомления, предполагающей, что когнитивная нагрузка увеличивает субъективное восприятие физических усилий за счет повышения активности префронтальной коры, отвечающей за интеграцию когнитивных и физических сигналов [14]. Рост воспринимаемой нагрузки у спортсменов, вероятно, связан с их повышенной чувствительностью к изменениям в когнитивном состоянии из-за частого взаимодействия с нестандартными ситуациями в спорте [2]. При этом показатели воспринимаемой нагрузки были выше у неспортсменов, что может быть обусловлено их недостаточной адаптацией к стрессовым и высокоинтенсивным нагрузкам и менее развитыми механизмами регуляции усилий по сравнению со спортсменами.

Анализ данных психофизиологического тестирования не выявил значимых различий до и после когнитивной нагрузки. Это позволяет предположить, что когнитивная нагрузка не оказывала существенного влияния на способность испытуемых реагировать на простые стимулы и не приводила к ухудшению показателей рабочей памяти. При этом между группами значимо отличалось СЗВР в тесте на ПЗМР до выполнения экспериментальной задачи, а также время принятия решений и количество ошибок в самом тесте Струпа, что может быть следствием тренированности сенсомоторных систем спортсменов.

Результаты исследования показали различия в реакциях сердечно-сосудистой системы: у неспортсменов отсутствовала статистически значимая физиологическая реакция на когнитивную нагрузку, тогда как у спортсменов реакция была неоднозначной – с увеличением ЧСС и снижением артериального давления. Это может отражать адаптацию спортсменов к стрессу через механизмы вегетативной регуляции, тренируемые в условиях соревновательной неопределенности [15]. Установлено, что для спортсменов характерна специфическая адаптация вегетативной нервной системы

к тренировочным нагрузкам, которая влияет и на регуляцию сердечно-сосудистой системы: отмечается повышенная симпатическая активность и, как следствие, усиленная мобилизация ЧСС в ответ на когнитивную нагрузку [16, 17].

У неспортсменов после когнитивной нагрузки наблюдалось ухудшение стабилметрических показателей, что указывает на снижение постурального контроля под влиянием когнитивного утомления и согласуется с теорией конкуренции ресурсов внимания [18], когда дефицит когнитивных ресурсов ухудшает способность поддерживать равновесие.

Показатели максимальной силы испытуемых значимо не менялись после когнитивной нагрузки, при этом значимо отличались между группами, что также является следствием долговременной адаптации, в результате которой у спортсменов силовые показатели оказываются выше. При этом данные электрической активности мышц имели значимые отличия у спортсменов до и после выполнения экспериментальной задачи. Изменения в силовых показателях и электрической активности мышц могут быть объяснены гипотезой нейромышечной десинхронизации: когнитивная утомленность нарушает координацию между центральными моторными командами и периферической мышечной активностью [19].

Полученные результаты позволяют предположить, что спортсмены чувствительны к когнитивной нагрузке вне спортивного контекста. Ухудшение субъективных и физиологических показателей после выполнения когнитивной задачи может быть связано с перенаправлением ресурсов, обычно задействованных в решении тактических задач и реакциях на внешние стимулы. E. Karim et al. отмечают, что в некоторых случаях длительное выполнение когнитивной задачи может приводить к улучшению производительности за счет эффекта обучения [20]. В связи с этим рекомендуется индивидуализировать когнитивные задачи и при планировании исследования не опираться лишь на время их выполнения [19, 20].

Исследование установило, что когнитивная нагрузка влияет на функциональное состояние спортсменов. Происходят изменения субъективного восприятия усилий, вегетативных реакций и нейромышечной координации. Однако психофизиологические показатели, отражающие базовые

когнитивные и сенсомоторные функции, остаются стабильными. Для подтверждения выдвинутых предположений требуется увеличение объема выборки и проведение исследований с анализом нейрофизиологических коррелятов после когнитивных нагрузок.

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

Список литературы

1. *Diamond A.* Executive Functions // *Annu. Rev. Psychol.* 2013. Vol. 64. P. 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
2. *Furley P., Schütz L.M., Wood G.* A Critical Review of Research on Executive Functions in Sport and Exercise // *Int. Rev. Sport Exerc. Psychol.* 2025. Vol. 18, № 1. P. 316–344. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2023.2217437>
3. *Cao L.-Z., He H., Miao X., Chi L.* The Contributions of Executive Functions to Decision-Making in Sport // *Int. J. Sport Exerc. Psychol.* 2025. Vol. 23, № 7. P. 1066–1085. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2024.2371483>
4. *Кабачкова А.В., Захарова А.Н., Лалаева Г.С., Кироненко Т.А., Буэль Ю.А., Милованова К.Г., Каплевич Л.В.* Изменение кровотока в каротидном бассейне у спортсменов при выполнении когнитивной пробы // *Теория и практика физ. культуры.* 2015. № 11. С. 33–35.
5. *Овчинникова Н.А., Южанин Э.Ф., Медведева Е.В., Каплевич Л.В.* Характеристики биоэлектрической активности головного мозга у спортсменов при сочетании когнитивной и физической нагрузок // *Человек. Спорт. Медицина.* 2021. Т. 3, № 21. С. 64–72.
6. *Поликанова И.С., Сергеев А.В.* Влияние длительной когнитивной нагрузки на параметры ЭЭГ // *Нац. психол. журн.* 2014. Т. 1, № 13. С. 84–92.
7. *Liu X., Banich M.T., Jacobson B.L., Tanabe J.L.* Common and Distinct Neural Substrates of Attentional Control in an Integrated Simon and Spatial Stroop Task as Assessed by Event-Related fMRI // *Neuroimage.* 2004. Vol. 22, № 3. P. 1097–1106. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.02.033>
8. *Lam H.K.N., Sproule J., Phillips S.M.* Future Directions in Understanding Acute and Chronic Effects of Mental Fatigue in Sports: A Commentary on Bridging Laboratory Findings and Real-World Applications // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2025. Vol. 20, № 8. P. 1172–1176. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2024-0363>
9. *Göker Z.* Fatigue in the Aviation: An Overview of the Measurements and Countermeasures // *J. Aviat.* 2018. Vol. 2, № 2. P. 185–194. <https://doi.org/10.30518/JAV.451741>
10. *Holgado D., Troya E., Perales J.C., Vellido M.A., Sanabria D.* Does Mental Fatigue Impair Physical Performance? A Replication Study // *Eur. J. Sport Sci.* 2021. Vol. 21, № 5. P. 762–770. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1781265>
11. *Borg G.* Borg's Perceived Exertion and Pain Scales. Champaign: Human Kinetics, 1998. 104 p.
12. *Stroop J.R.* Studies of Interference in Serial Verbal Reactionst // *J. Exp. Psychol.* 1935. Vol. 18, № 6. P. 643–662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023669665 Российская Федерация. Программа для выполнения теста Струпа: «Cognitive load test» (CLT): № 2023669032: заявл. 14.09.2023; опубл. 19.09.2023 / Абдрахманова А.Ш., Мавлиев Ф.А., Нетреба А.И., Давлетова Н.Х., Назаренко А.С.; заявитель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Поволж. гос. ун-т физ. культуры, спорта и туризма».
14. *Marcora S.M., Staiano W., Manning V.* Mental Fatigue Impairs Physical Performance in Humans // *J. Appl. Physiol.* 2009. Vol. 106, № 3. P. 857–864. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91324.2008>

15. Gucciardi D.F., Hanton S., Gordon S., Mallett C.J., Temby P. The Concept of Mental Toughness: Tests of Dimensionality, Nomological Network, and Traitness // *J. Pers.* 2015. Vol. 83, № 1. P. 26–44. <https://doi.org/10.1111/jopy.12079>
16. Aubert A.E., Seps B., Beckers F. Heart Rate Variability in Athletes // *Sports Med.* 2003. Vol. 33, № 12. P. 889–919. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00003>
17. Miki K., Yoshimoto M. Exercise-Induced Modulation of Baroreflex Control of Sympathetic Nerve Activity // *Front. Neurosci.* 2018. Vol. 12. Art. № 493. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00493>
18. Wickens C.D. Multiple Resources and Performance Prediction // *Theor. Iss. Ergon. Sci.* 2002. Vol. 3, № 2. P. 159–177. <https://doi.org/10.1080/14639220210123806>
19. Mangin T., Pageaux B. It Is Time to Stop Using the Terminology “Passive” Fatigue // *Motiv. Sci.* 2024. Vol. 11, № 1. P. 125–132. <https://doi.org/10.1037/mot0000375>
20. Karim E., Pavel H.R., Nikanfar S., Hebri A., Roy A., Nambiappan H.R., Jaiswal A., Wylie G.R., Makedon F. Examining the Landscape of Cognitive Fatigue Detection: A Comprehensive Survey // *Technologies.* 2024. Vol. 12, № 3. Art. № 38. <https://doi.org/10.3390/technologies12030038>

References

1. Diamond A. Executive Functions. *Annu. Rev. Psychol.*, 2013, vol. 64, pp. 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
2. Furley P., Schütz L.M., Wood G. A Critical Review of Research on Executive Functions in Sport and Exercise. *Int. Rev. Sport Exerc. Psychol.*, 2025, vol. 18, no. 1, pp. 316–344. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2023.2217437>
3. Cao L.-Z., He H., Miao X., Chi L. The Contributions of Executive Functions to Decision-Making in Sport. *Int. J. Sport Exerc. Psychol.*, 2025, vol. 23, no. 7, pp. 1066–1085. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2024.2371483>
4. Kabachkova A.V., Zakharova A.N., Lalaeva G.S., Kironenko T.A., Buel' Yu.A., Milovanova K.G., Kapilevich L.V. Izmenenie krovotoka v karotidnom bassejne u sportsmenov pri vypolnenii kognitivnoy proby [Blood Flow Changes in Carotid System in Athletes During Cognitive Test]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, 2015, no. 11, pp. 33–35.
5. Ovchinnikova N.A., Yuzanin E.F., Medvedeva E.V., Kapilevich L.V. Bioelectrical Activity of the Brain in Athletes Under Cognitive and Physical Load. *Hum. Sport Med.*, 2021, vol. 21, no. 3, pp. 64–72 (in Russ.).
6. Polikanova I.S., Sergeev A.V. Vliyanie dlitel'noy kognitivnoy nagruzki na parametry EEG [The Effect of Long-Term Cognitive Load on the EEG Parameters]. *Natsional'nyy psikhologicheskii zhurnal*, 2014, vol. 1, no. 13, pp. 84–92.
7. Liu X., Banich M.T., Jacobson B.L., Tanabe J.L. Common and Distinct Neural Substrates of Attentional Control in an Integrated Simon and Spatial Stroop Task as Assessed by Event-Related fMRI. *Neuroimage*, 2004, vol. 22, no. 3, pp. 1097–1106. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.02.033>
8. Lam H.K.N., Sproule J., Phillips S.M. Future Directions in Understanding Acute and Chronic Effects of Mental Fatigue in Sports: A Commentary on Bridging Laboratory Findings and Real-World Applications. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 2025, vol. 20, no. 8, pp. 1172–1176. <https://doi.org/10.1123/ijpspp.2024-0363>
9. Göker Z. Fatigue in the Aviation: An Overview of the Measurements and Countermeasures. *J. Aviat.*, 2018, vol. 2, no. 2, pp. 185–194. <https://doi.org/10.30518/JAV.451741>
10. Holgado D., Troya E., Perales J.C., Vadillo M.A., Sanabria D. Does Mental Fatigue Impair Physical Performance? A Replication Study. *Eur. J. Sport Sci.*, 2021, vol. 21, no. 5, pp. 762–770. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1781265>
11. Borg G. *Borg's Perceived Exertion and Pain Scales*. Champaign, 1998. 104 p.
12. Stroop J.R. Studies of Interference in Serial Verbal Reactions. *J. Exp. Psychol.*, 1935, vol. 18, no. 6, pp. 643–662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
13. Abdrakhmanova A.Sh., Mavliev F.A., Netreba A.I., Davletova N.Kh., Nazarenko A.S. *Program for Performing the Stroop Test: Cognitive Load Test (CLT)*. Registration Certificate RF no. 2023669665, 2023 (in Russ.).
14. Marcora S.M., Staiano W., Manning V. Mental Fatigue Impairs Physical Performance in Humans. *J. Appl. Physiol.*, 2009, vol. 106, no. 3, pp. 857–864. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91324.2008>
15. Gucciardi D.F., Hanton S., Gordon S., Mallett C.J., Temby P. The Concept of Mental Toughness: Tests of Dimensionality, Nomological Network, and Traitness. *J. Pers.*, 2015, vol. 83, no. 1, pp. 26–44. <https://doi.org/10.1111/jopy.12079>

16. Aubert A.E., Seps B., Beckers F. Heart Rate Variability in Athletes. *Sports Med.*, 2003, vol. 33, no. 12, pp. 889–919. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00003>

17. Miki K., Yoshimoto M. Exercise-Induced Modulation of Baroreflex Control of Sympathetic Nerve Activity. *Front. Neurosci.*, 2018, vol. 12. Art. no. 493. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00493>

18. Wickens C.D. Multiple Resources and Performance Prediction. *Theor. Iss. Ergon. Sci.*, 2002, vol. 3, no. 2, pp. 159–177. <https://doi.org/10.1080/14639220210123806>

19. Mangin T., Pageaux B. It Is Time to Stop Using the Terminology “Passive” Fatigue. *Motiv. Sci.*, 2024, vol. 11, no. 1, pp. 125–132. <https://doi.org/10.1037/mot0000375>

20. Karim E., Pavel H.R., Nikanfar S., Hebri A., Roy A., Nambiappan H.R., Jaiswal A., Wylie G.R., Makedon F. Examining the Landscape of Cognitive Fatigue Detection: A Comprehensive Survey. *Technologies*, 2024, vol. 12, no. 3. Art. no. 38. <https://doi.org/10.3390/technologies12030038>

Поступила в редакцию 04.04.2025 / Одобрена после рецензирования 09.09.2025 / Принята к публикации 12.09.2025
Submitted 4 April 2025 / Approved after reviewing 9 September 2025 / Accepted for publication 12 September 2025

Журнал медико-биологических исследований. 2026. Т. 14, № 1. С. 25–34.
Journal of Medical and Biological Research, 2026, vol. 14, no. 1, pp. 25–34.



Научная статья
УДК 612.217-055.1-056.22:[616-071.2+572.51]
DOI: 10.37482/2687-1491-Z272

Особенности силы дыхательных мышц у здоровых мужчин 20–23 лет с различными соматотипами

Марина Айткалиевна Сидорова* ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3526-4953>
Игорь Васильевич Мирошниченко* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7934-8784>
Константин Михайлович Иванов* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7614-337X>

*Оренбургский государственный медицинский университет
(Оренбург, Россия)

Аннотация. Каждый соматотип предполагает специфику развития скелетной мускулатуры, в т. ч. дыхательных мышц (ДМ). В научной литературе недостаточно данных об особенностях силы ДМ при различных соматотипах. **Цель** работы – выявить силу инспираторных и экспираторных ДМ, а также взаимосвязи между антропометрическими показателями и силой ДМ при различных соматотипах у здоровых молодых мужчин. **Материалы и методы.** У 63 здоровых мужчин 20–23 лет определялись максимальное инспираторное (МIP) и экспираторное (MEP) давление, показатели антропометрии, калиперометрии, кистевой динамометрии. Мужчины были разделены на 4 группы по соматотипу: мускульный – 29 чел., грудной – 17 чел., брюшной – 7 чел., неопределенный – 10 чел. Связь между показателями устанавливалась при помощи корреляционного анализа Спирмена. **Результаты.** Медианы силы ДМ составили у всех обследованных: МIP – 96 [84; 112] см вод. ст., MEP – 120 [105; 131] см вод. ст. Среди мужчин с высоким МIP преобладал мускульный соматотип (66 %), грудной встречался в 15 % случаев, брюшной – в 13 %, неопределенный – в 6 %. У обладателей высокого MEP превалировал мускульный соматотип (62 %), грудной имели 26 %, брюшной и неопределенный – по 6 %. При низком МIP преобладал грудной соматотип (41 %), мускульный наблюдался у 28 %, брюшной – у 10 %, неопределенный – у 21 %. При низком MEP доминировал мускульный соматотип (34 %), грудной имели 30 %, брюшной – 16 %, неопределенный – 20 %. У лиц с высоким МIP выявлены статистически значимые прямые корреляционные связи между МIP и силой кистей, между MEP и силой кистей. Наиболее выраженные антропометрические различия наблюдались между мужчинами с высоким и низким МIP по параметрам грудной клетки.

Ключевые слова: соматотип, сила дыхательных мышц, антропометрия, калиперометрия, кистевая динамометрия, здоровые молодые мужчины

Для цитирования: Сидорова, М. А. Особенности силы дыхательных мышц у здоровых мужчин 20–23 лет с различными соматотипами / М. А. Сидорова, И. В. Мирошниченко, К. М. Иванов // Журнал медико-биологических исследований. – 2026. – Т. 14, № 1. – С. 25–34. – DOI 10.37482/2687-1491-Z272.

© Сидорова М.А., Мирошниченко И.В., Иванов К.М., 2026

Ответственный за переписку: Марина Айткалиевна Сидорова, адрес: 460000, г. Оренбург, ул. Советская, д. 6; e-mail: sidorova_marina2022@mail.ru

Original article

Respiratory Muscle Strength in Healthy Men Aged 20–23 Years with Different Somatotypes

Marina A. Sidorova* ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3526-4953>
Igor V. Miroshnichenko* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7934-8784>
Konstantin M. Ivanov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7614-337X>

*Orenburg State Medical University
(Orenburg, Russia)

Abstract. Each somatotype assumes a specific development of skeletal muscles, including respiratory muscles (RMs). The scientific literature lacks data on the specifics of RM strength in different somatotypes. The **purpose** of this study was to measure inspiratory and expiratory muscle strength as well as establish the relationships between anthropometric parameters and RM strength in healthy young men with different somatotypes. **Materials and methods.** Maximal inspiratory pressure (MIP), maximal expiratory pressure (MEP), anthropometric parameters, caliperometry and hand dynamometry were determined in 63 healthy men aged 20–23 years. The subjects were divided into 4 groups based on the somatotype (Galant–Chtetsov–Nikityuk classification): muscular ($n = 29$), thoracic ($n = 17$), abdominal ($n = 7$) and unspecified ($n = 10$). The relationships between the parameters were established using Spearman’s correlation analysis. **Results.** The median values of RM strength in all subjects were as follows: MIP – 96 [84; 112] cmH₂O and MEP – 120 [105; 131] cmH₂O. Among men with high MIP, the muscular somatotype was predominant (66 %), while the thoracic somatotype was found in 15 %, abdominal in 13 % and unspecified in 6 % of cases. In the subjects with high MEP, the muscular somatotype prevailed (62 %), the thoracic somatotype was present in 26 %, while abdominal and unspecified in 6 % of men each. At low MIP, the thoracic somatotype prevailed (41 %), while the muscular somatotype was observed in 28 %, abdominal in 10 % and unspecified in 21% of cases. At low MEP, the muscular somatotype was dominant (34 %), the thoracic somatotype was present in 30 %, abdominal in 16 % and unspecified in 20 % of subjects. In individuals with high MIP, statistically significant direct correlations were found between MIP and hand strength and between MEP and hand strength. The most pronounced anthropometric differences were observed in chest parameters between men with high and low MIP.

Keywords: somatotype, respiratory muscle strength, anthropometry, caliperometry, hand dynamometry, healthy young men

For citation: Sidorova M.A., Miroshnichenko I.V., Ivanov K.M. Respiratory Muscle Strength in Healthy Men Aged 20–23 Years with Different Somatotypes. *Journal of Medical and Biological Research*, 2026, vol. 14, no. 1, pp. 25–34. DOI: 10.37482/2687-1491-Z272

Corresponding author: Marina Sidorova, address: ul. Sovetskaya 6, Orenburg, 460000, Russia; e-mail: sidorova_marina2022@mail.ru

Соматотипологическая диагностика является неотъемлемой составляющей оценки физического развития, поскольку соматотип – базовая характеристика целостного организма, а также прогностический фактор ряда заболеваний, свойственных определенному типу конституции [1–3].

Дыхательные мышцы (ДМ) – важнейшее эффекторное звено в сложной структуре механизма дыхания. Они обеспечивают в качестве «респираторной помпы» альвеолярную вентиляцию в соответствии с текущими запросами [4, 5]. Функциональной характеристикой ДМ является их сила. В настоящее время для оценки силы ДМ используется методика измерения максимального давления на уровне полости рта, которое обследуемый создает при «закрытых» дыхательных путях во время максимального вдоха и максимального выдоха [6–8].

Соматотип обуславливает специфику развития скелетной мускулатуры, в т. ч. ДМ. Согласно схеме Галанта–Чтецова–Никитюка [9] выделяют 4 основных соматотипа: мускульный, брюшной, грудной и неопределенный. Мускульный соматотип предполагает высокое развитие мышечного и костного компонентов при слабом и среднем развитии жирового. Для брюшного соматотипа характерно слабое развитие мускулатуры и кости и сильное развитие жирового компонента. При грудном соматотипе слабо развиты жировой, мышечный и костный компоненты. Неопределенный соматотип отличается слабым и средним развитием костного и мышечного компонентов при средней выраженности жирового.

В научной литературе имеются данные о показателях антропометрии, калиперометрии, компонентном составе тела человека при разных соматотипах [1]. Проводились исследования силовых характеристик ДМ при различных типах телосложения [10], сопоставление антропометрических данных с функцией внешнего дыхания и силой ДМ [11]. Однако сведений об особенностях силы ДМ при различных соматотипах в настоящее время недостаточно.

Цель исследования – выявить силу инспираторных и экспираторных мышц, а также

взаимосвязи между антропометрическими показателями и силой ДМ при различных соматотипах у здоровых молодых мужчин.

Материалы и методы. Проведено одномоментное рандомизированное исследование 63 здоровых мужчин на базе Оренбургского государственного медицинского университета (ОрГМУ). Эксперимент соответствовал принципам Хельсинкской декларации и был одобрен локальным этическим комитетом ОрГМУ. Учитывалась конфиденциальность сведений об участниках. Критерии включения в выборку: информированное согласие на участие в исследовании, возраст от 20 до 23 лет. Критерии исключения: наличие острых и хронических заболеваний, выраженных деформаций и патологических форм грудной клетки, курение, наличие спортивного разряда и регулярные занятия видами спорта, влияющими на развитие ДМ.

Мужчины были разделены на 4 группы в зависимости от имеющегося соматотипа: в группу с мускульным соматотипом вошли 29 чел., с грудным – 17 чел., с брюшным – 7 чел., с неопределенным – 10 чел. Соматотипирование выполнялось по схеме Галанта–Чтецова–Никитюка [9], которая позволяет переводить абсолютные значения измеренных показателей в баллы согласно нормативной таблице. Для определения соматотипов было проведено антропометрическое обследование с использованием медицинских весов, ростомера, сантиметровой ленты, скользящего металлического циркуля, калипера. Оценивались: рост, масса тела, индекс массы тела (ИМТ), 10 показателей окружностей и 4 линейных показателя (диаметры), толщина кожно-жировой складки (КЖС) в 8 областях. Для установления выраженности мышечного компонента проводилась кистевая динамометрия (в деканьютонах) с использованием кистевых динамометров ДК-50 и ДК-100 (Нижнетагильский медико-инструментальный завод, Россия), измерялись окружности предплечья и голени, вычислялась масса мышц (кг) по формуле J. Matiegka [12]; костного компонента – измерялись диаметры (см) запястья и

лодыжек, обхваты (см) запястья и над лодыжками; жирового компонента – определялись толщина (мм) КЖС спины, плеча спереди, живота, бедра, рассчитывалась жировая масса (кг) по формуле J. Matiegka [12].

Всем обследуемым измерялось давление на уровне полости рта во время максимального вдоха (максимальное инспираторное давление – МІР, см вод. ст.) и выдоха (максимальное экспираторное давление – МЕР, см вод. ст.). В зависимости от силы ДМ обследуемые были разделены также на 4 группы: лица со значением МІР выше медианы этого показателя в общей группе, со значением МІР ниже медианы, лица со значением МЕР выше медианы этого показателя в общей группе, со значением МЕР ниже медианы.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программного комплекса Statistica 10. Данные представлены в виде медианы (*Me*), верхнего (Q_1) и нижнего (Q_3) квартилей. Проверка соответствия закону нормального распределения изучаемых параметров выполнялась по критерию Колмогорова–Смирнова. Поскольку распределение в группах было отличным от нормального, сравнительный анализ групп проводился с помощью непараметрического метода (критерий Манна–Уитни). Корреляционный анализ осуществлялся с использованием коэффициента корреляции Спирмена (*r*). Показатели считались достоверными при $p < 0,05$.

Результаты. Выявлено (табл. 1), что мускульный соматотип имеет достоверные различия с грудным по всем показателям, кроме роста и поперечного диаметра грудной клетки, с наибольшими различиями по толщине КЖС всех 8 областей: у мужчин с мускульным соматотипом КЖС были толще на 40–70 %, причем максимальная разница фиксировалась по КЖС живота (70 %). Диаметры тела у лиц с мускульным соматотипом превышали таковые у обладателей грудного на 11,8–15,0 %; окружности тела – на 5,9–21,2 %; масса тела – на 22,5 %; ИМТ – на

21,7 %; показатели кистевой динамометрии – на 12,5 % (правая кисть) и 10,9 % (левая кисть). Сила инспираторных ДМ у представителей данных соматотипов различалась на 14,8 %.

Различия мускульного и брюшного соматотипов наблюдались по толщине КЖС во всех 8 областях, диаметру запястья, данным кистевой динамометрии, причем наибольшие – по КЖС спины (у лиц с брюшным соматотипом она была толще на 53,3 %) и КЖС груди (толще на 45,8 %). Диаметр запястья оказался больше у обладателей мускульного соматотипа по сравнению с лицами с брюшным на 11,1 %. Различия показателей силы ДМ у данных групп были недостоверными.

При сравнении мускульного и неопределенного соматотипов различия зафиксированы по массе тела, ИМТ, КЖС плеча спереди, предплечья, спины, бедра; окружностям всех представленных областей, силе инспираторных и экспираторных ДМ, силе правой кисти. Наибольшие различия отмечены по окружностям тела (у представителей мускульного соматотипа они были больше на 5,9–13,2 %) и ИМТ (при мускульном соматотипе он был выше на 11,5 %).

Грудной и брюшной соматотипы различались по всем показателям, кроме роста, диаметра запястья, окружности голени, силы ДМ. Максимальные различия выявлены по всем КЖС: у лиц с брюшным соматотипом они были больше на 62,5–82,4 %, в частности КЖС живота – на 82,4 %, КЖС предплечья – на 62,5 %. Окружность грудной клетки в покое при брюшном соматотипе по сравнению с грудным была выше на 20,7 %, грудной клетки на вдохе – на 14,7 %, на выдохе – на 17,6 %; поперечный диаметр грудной клетки – на 18,9 %, передне-задний диаметр – на 20,0 %; масса тела – на 34,7 %, ИМТ – на 36,3 %.

Грудной и неопределенный соматотипы различались по ИМТ, толщине КЖС, кроме плеча спереди и предплечья; окружностям плеча, предплечья, талии, груди в покое, на вдохе и на выдохе. Максимальные различия наблюдались по КЖС: у представителей неопределенного соматотипа они были толще в области живота

Таблица 1

Сравнение данных антропометрии, калиперометрии, кистевой динамометрии и силы дыхательных мышц у молодых мужчин с различными соматотипами, $Me [Q_1; Q_3]$
Comparison of anthropometric and caliperometric parameters, hand dynamometry and respiratory muscle strength in young men with different somatotypes, $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель	Соматотип			
	мускульный (n = 29)	грудной (n = 17)	брюшной (n = 7)	неопределенный (n = 10)
Рост, см	1,80 [1,78; 1,85]	1,80 [1,73; 1,82]	1,79 [1,76; 1,80]	1,77 [1,76; 1,82]
Масса тела, кг	80,0 [74,0; 92,0]	62,0 [60,0; 67,0]×	95,0 [75,0; 105,0]*	70,0 [65,0; 71,0]×
ИМТ, кг/м ²	24,69 [23,37; 28,60]	19,32 [18,37; 20,72]×	30,35 [23,41; 32,77]*	21,86 [20,97; 22,34]×*!
КЖС, мм:				
плеча спереди	5,0 [5,0; 8,0]	3,0 [2,0; 3,0]×	10,0 [6,0; 10,0]×*	3,0 [2,0; 4,0]×!
плеча сзади	10,0 [8,0; 14,0]	5,0 [3,0; 6,0]×	20,0 [20,0; 23,0]×*	10,0 [6,0; 11,0]*!
предплечья	5,0 [4,0; 6,0]	3,0 [2,0; 3,0]×	8,0 [6,0; 13,0]×*	3,0 [3,0; 4,0]×!
спины	14,0 [10,0; 17,0]	7,0 [6,0; 8,0]×	30,0 [22,0; 35,0]×*	10,0 [10,0; 13,0]×*!
живота	20,0 [12,0; 27,0]	6,0 [5,0; 7,0]×	34,0 [30,0; 43,0]×*	16,5 [14,0; 22,0]*!
груди	13,0 [10,0; 16,0]	6,0 [5,0; 7,0]×	24,0 [20,0; 25,0]×*	10,0 [9,0; 13,0]*!
бедра	10,0 [9,0; 15,0]	6,0 [5,0; 7,0]×	22,0 [17,0; 25,0]×*	9,5 [8,0; 12,0]×*!
голени	11,0 [10,0; 13,0]	6,0 [5,0; 7,0]×	18,0 [14,0; 20,0]×*	10,5 [9,0; 13,0]*!
Диаметр, см:				
запястья	6,3 [6,0; 6,5]	5,5 [5,4; 6,0]×	5,6 [5,5; 5,9]×	5,6 [5,5; 5,8]
лодыжки	8,0 [7,5; 8,0]	6,8 [6,4; 7,0]×	7,4 [7,8; 7,7]*	7,0 [6,5; 7,4]
грудной клетки поперечный	34,0 [32,0; 36,0]	30,0 [29,0; 31,0]	37,0 [33,0; 39,0]*	31,0 [30,0; 32,0]
грудной клетки передне-задний	23,5 [22,0; 26,5]	20,0 [19,0; 21,0]×	25,0 [22,0; 27,0]*	20,5 [20,0; 22,0]
Окружность, см:				
плеча	33,0 [30,0; 35,0]	26,0 [24,5; 28,0]×	33,0 [30,0; 36,0]*	29,0 [27,0; 30,0]×*!
предплечья	28,0 [26,0; 30,0]	24,0 [24,0; 24,5]×	29,0 [26,0; 30,0]*	25,0 [25,0; 26,0]×*!
бедра	57,0 [53,0; 62,0]	50,0 [48,0; 50,5]×	60,0 [56,0; 66,0]*	49,5 [48,0; 53,0]×!
голени	39,0 [37,0; 41,0]	34,5 [33,5; 36,0]×	41,0 [39,0; 44,0]	34,5 [33,0; 36,0]×!
запястья	17,0 [17,0; 18,0]	16,0 [15,0; 17,0]×	17,0 [16,0; 18,0]*	16,0 [16,0; 17,0]×
над лодыжкой	24,0 [23,0; 25,0]	21,0 [20,5; 22,0]×	24,0 [23,0; 25,0]*	21,7 [21,0; 22,0]×!
талии	84,5 [80,0; 97,5]	73,0 [71,0; 75,0]×	99,0 [88,0; 105,0]*	77,5 [76,0; 80,0]×*!
грудной клетки в покое	103,5 [95,0; 109,0]	88,0 [86,0; 90,0]×	111,0 [100,0; 117,0]*	93,5 [88,0; 96,0]×*!
грудной клетки на вдохе	107,0 [97,0; 114,0]	93,0 [91,0; 95,0]×	109,0 [103,0; 115,0]*	97,5 [92,0; 100,0]×*!
грудной клетки на выдохе	100,0 [90,0; 106,0]	84,0 [81,0; 85,0]×	102,0 [97,0; 110,0]*	89,0 [86,0; 91,0]×*!
МIP, см вод. ст.	108,0 [96,0; 132,0]	92,0 [84,0; 100,0]×	96,0 [84,0; 114,0]	89,5 [78,0; 93,0]×
MEP, см вод. ст.	122,0 [111,0; 143,0]	115,0 [104,0; 125,0]	107,0 [102,0; 122,0]	108,5 [103,0; 120,0]×
Сила правой кисти, даН	48,0 [45,0; 52,0]	42,0 [40,0; 44,0]×	40,0 [34,0; 50,0]×	41,0 [38,0; 48,0]×
Сила левой кисти, даН	46,0 [41,0; 50,0]	39,0 [36,0; 40,0]×	37,0 [35,0; 48,0]×	40,0 [38,0; 44,0]

Примечание. Установлены статистически значимые отличия ($p < 0,05$) от соматотипа: × – мускульного; * – грудного; ! – брюшного.

на 63,6 %, бедра – на 38,9 %, груди – на 40,0 %, голени – на 33,3 %, чем у лиц с грудным. По силе ДМ различий между группами не было.

Брюшной и неопределенный соматотипы различались по ИМТ, всем КЖС, окружностям тела, кроме запястья. КЖС у мужчин с брюшным соматотипом превышали таковые у обладателей грудного на 41,7–70,0 %. Поперечный диаметр грудной клетки у лиц с брюшным соматотипом был больше на 16,2 %, передне-задний – на 18,0 %; окружность грудной клетки в покое – на 15,8 %, на вдохе – на 10,6 %, на выдохе – на 12,7 %; окружность талии – на 21,7 %, ИМТ – на 28,0 %, масса тела – на 26,3 %. Показатели силы ДМ у данных соматотипов не различались.

Таким образом, различия показателей силы инспираторных мышц закономерно наблюдались у мускульного соматотипа со всеми другими соматотипами, экспираторных мышц – только между мускульным и неопределенным соматотипами.

Представляло интерес выявить разницу показателей антропометрии и распространенность соматотипов у лиц с разной силой ДМ. Группы выделялись на основании медиан силы инспираторных и экспираторных ДМ в целом по выборке (МIP = 96 [84; 112] см вод. ст.; МЕР = 120 [105; 131] см вод. ст.). Данные в группах с высоким и низким МIP приведены в *табл. 2*.

По всем показателям имелись различия, кроме роста и КЖС живота. Наиболее выраженные – наблюдались по параметрам грудной клетки: поперечный диаметр в группе с высоким МIP был больше на 8,8 %, передне-задний диаметр – на 8,7 %. Окружности тела в группе с высоким МIP превышали таковые в группе с низким МIP на 7,1–10,5 %, сила правой кисти – на 14,6 %, левой – на 13,0 %. Результаты соматотипирования выявили, что среди лиц с высоким МIP преобладал мускульный соматотип (66 %), грудной соматотип определялся в 15 % случаев, брюшной – в 13 %, неопределенный – в 6 %. В группе мужчин с низким МIP превалировал грудной соматотип (41 %), мускульный наблюдался у 28 %, брюшной – у 10 % и неопределенный – у 21 %.

Анализ показателей антропометрии, калиперометрии и силы ДМ в группах с высоким и низким МЕР не установил достоверных различий. Результаты соматотипирования показали, что в группе лиц с высоким МЕР мускульный тип преобладал (62 %), грудной наблюдался у 26 %, минимально были представлены брюшной и неопределенный соматотипы – по 6 %. Среди лиц с низким МЕР доминировал мускульный соматотип (34 %), грудной продемонстрировали 30 % обследованных, брюшной – 16 %, неопределенный – 20 %.

При проведении корреляционного анализа в группе с высоким МЕР была выявлена связь между МIP и следующими показателями: КЖС плеча ($r = 0,391, p < 0,05$), предплечья ($r = 0,426, p < 0,05$), груди ($r = 0,419, p < 0,05$); окружность плеча ($r = 0,379, p < 0,05$), бедра ($r = 0,433, p < 0,05$), запястья ($r = 0,421, p < 0,05$), талии ($r = 0,453, p < 0,001$), грудной клетки в покое ($r = 0,384, p < 0,05$), на вдохе ($r = 0,493, p < 0,001$), на выдохе ($r = 0,455, p < 0,001$); поперечный ($r = 0,409, p < 0,05$), передне-задний ($r = 0,495, p < 0,001$) диаметры грудной клетки; масса тела ($r = 0,357, p < 0,05$), МЕР ($r = 0,583, p < 0,001$), сила правой ($r = 0,70, p < 0,001$), левой ($r = 0,652, p < 0,001$) кисти. В этой же группе обнаружена корреляционная связь между МЕР и ростом ($r = 0,359, p < 0,05$), силой правой ($r = 0,448, p < 0,001$), левой ($r = 0,408, p < 0,05$) кисти. В группе с низким МЕР выявлена корреляционная связь МIP со следующими показателями: диаметр запястья ($r = 0,486, p < 0,001$), окружность плеча ($r = 0,367, p < 0,05$), запястья ($r = 0,402, p < 0,05$), над лодыжкой ($r = 0,356, p < 0,05$), ИМТ ($r = 0,402, p < 0,05$), МЕР ($r = 0,361, p < 0,05$), сила правой ($r = 0,401, p < 0,05$), левой ($r = 0,393, p < 0,05$) кисти.

В группе с высоким МIP установлена корреляционная связь между МIP и силой правой ($r = 0,464, p < 0,001$), левой ($r = 0,414, p < 0,05$) кисти, между МЕР и силой правой ($r = 0,465, p < 0,001$), левой ($r = 0,348, p < 0,001$) кисти. В группе с низким МIP значимых корреляционных связей между силой ДМ и данными антропометрии, калиперометрии, кистевой динамометрии не обнаружено.

Таблица 2

Сравнение данных антропометрии, калиперометрии, кистевой динамометрии у молодых мужчин с высоким и низким МПР, $Me [Q_1; Q_3]$

Comparison of anthropometric and caliperometric parameters and hand dynamometry in young men with high and low MIP, $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель	МПР		p
	высокий (n = 33)	низкий (n = 30)	
Рост, см	1,80 [1,76; 1,82]	1,80 [1,75; 1,83]	0,79
Масса тела, кг	77,0 [70,0; 90,0]	70,0 [60,0; 78,0]	0,016
ИМТ, кг/м ²	24,62 [22,34; 28,60]	21,25 [19,23; 23,88]	0,005
КЖС, мм:			
плеча спереди	5,0 [4,0; 8,0]	3,0 [2,0; 5,0]	0,004
плеча сзади	10,0 [8,0; 15,0]	6,5 [4,0; 13,0]	0,034
предплечья	5,0 [3,0; 6,0]	3,0 [2,0; 5,0]	0,022
спины	12,0 [10,0; 17,0]	9,5 [7,0; 14,0]	0,013
живота	20,0 [10,0; 28,0]	13,0 [7,0; 24,0]	0,172
груди	13,0 [10,0; 17,0]	9,5 [6,0; 14,0]	0,039
бедра	10,0 [9,0; 15,0]	8,0 [7,0; 12,0]	0,039
голени	10,0 [8,0; 14,0]	9,0 [7,0; 13,0]	0,132
Диаметр, см:			
запястья	60,0 [59,0; 65,0]	57,5 [55,0; 60,0]	0,006
лодыжки	78,0 [70,0; 80,0]	70,0 [65,0; 75,0]	0,018
грудной клетки поперечный	34,0 [31,0; 36,0]	31,0 [30,0; 33,0]	0,004
грудной клетки передне-задний	23,0 [21,0; 26,0]	21,0 [20,0; 22,0]	0,002
Окружность, см:			
плеча	32,0 [29,0; 35,0]	29,0 [26,0; 30,0]	0,002
предплечья	27,0 [26,0; 29,0]	25,0 [24,0; 26,0]	0,003
бедра	57,0 [51,0; 61,0]	51,0 [48,0; 55,0]	0,003
голени	39,0 [36,0; 41,0]	36,0 [34,0; 39,0]	0,039
запястья	17,0 [17,0; 18,0]	16,0 [16,0; 17,0]	0,006
над лодыжкой	24,0 [22,0; 25,0]	22,0 [21,0; 23,0]	0,004
талии	84,5 [79,0; 97,5]	76,5 [72,0; 83,0]	0,002
грудной клетки в покое	98,5 [92,0; 110,5]	91,5 [87,0; 100,0]	0,003
грудной клетки на вдохе	104,0 [95,0; 114,0]	95,0 [91,0; 101,0]	0,0005
грудной клетки на выдохе	96,0 [88,0; 109,0]	86,5 [83,0; 93,0]	0,0007
МПР, см вод. ст.	112,0 [105,0; 132,0]	84,0 [78,0; 90,0]	0,0001
МЕР, см вод. ст.	120,0 [108,0; 143,0]	110,5 [103,0; 122,0]	0,033
Сила правой кисти, даН	48,0 [45,0; 52,0]	41,0 [38,0; 44,0]	0,000009
Сила левой кисти, даН	46,0 [40,0; 50,0]	40,0 [36,0; 40,0]	0,000089

Примечание. Полу жирным выделены статистически значимые различия между группами.

Обсуждение. Сила ДМ у молодых мужчин является одним из прогностических критериев оценки физического развития, тесно связанным с антропометрическими параметрами. Снижение сократительной способности ДМ – важнейший предиктор развития и усугубления дыхательной недостаточности вне зависимости от патофизиологических механизмов, формирующих респираторно-мышечную дисфункцию [13].

Развитие ДМ, как и всей поперечно-полосатой мускулатуры, определяется долей мышечного компонента в строении тела. Известно, что функциональный статус ДМ зависит от абсолютной массы скелетной мускулатуры, что указывает на важную роль мышечного компонента в обеспечении легочной вентиляции [14]. Однако этот вопрос в имеющейся литературе практически не обсуждался. Анализ полученных данных показал, что изменения силы поперечно-полосатой мускулатуры зависят не только от индивидуальных антропометрических показателей, но и от соотношения мышечного, жирового и костного компонентов. Так, при мускульном соматотипе преобладание мышечного и костного компонентов над жировым обеспечивает наиболее высокие, по сравнению с другими соматотипами, показатели силы ДМ и кистевой динамометрии. В то же время проведенное исследование установило, что группы лиц с разной силой ДМ различаются антропометрическими данными и процентным соотношением соматотипов. В этом отношении наиболее значимыми являются окружности и диаметры грудной клетки. Выявлено, что сила экспираторных мышц, особенно при низких значениях МЕР, в отличие от силы инспираторных мышц, тесной связи с параметрами соматотипа не имеет.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Вклад авторов: Сидорова М.А. – сбор материала, статистическая обработка и анализ полученных данных, анализ литературы по изучаемой проблеме, написание статьи, обсуждение ее основных положений и выводов, подготовка статьи к подаче в журнал; Мирошниченко И.В., Иванов К.М. – дизайн исследования, формулирование его цели и задач, анализ полученных данных, обсуждение основных положений и выводов статьи, утверждение ее окончательного варианта.

Authors' contributions: M.A. Sidorova collected the material, performed statistical data processing and analysis, analysed literature on the topic, wrote the article and discussed its main points and conclusions as well as prepared the manuscript for submission; I.V. Miroshnichenko and K.M. Ivanov designed the study and formulated its purpose and objectives, analysed the data obtained, discussed the paper's main points and conclusions and approved its final version.

Диаметр и окружность запястья напрямую влияют на результат кистевой динамометрии, определяющей силу мышц кисти и предплечья. Следует отметить, что при грудном и брюшном соматотипах отсутствие различий в показателях силы ДМ и диаметре запястья сопровождается слабым развитием костного и мышечного компонентов. Проведенный нами корреляционный анализ свидетельствует прежде всего о зависимости показателей силы ДМ, мышц предплечья и кисти от развития костного и мышечного компонентов. Также была выявлена тесная положительная корреляционная связь между показателями силы ДМ и силой мышц кисти и предплечья, определенной с помощью динамометрии, что свидетельствует о возможности прогнозирования слабости ДМ по результатам кистевой динамометрии у пациентов. Последняя может применяться в качестве метода экспресс-диагностики слабости ДМ при отсутствии необходимого оборудования.

В отношении здоровых молодых мужчин можно сделать следующие выводы:

1. Сила инспираторных мышц тесно связана с параметрами соматотипа. Сила экспираторных мышц, особенно при низких ее значениях, не имеет такой зависимости.

2. Диаметры и окружности грудной клетки являются наиболее значимыми предикторами силы инспираторных мышц.

3. Единый механизм изменения силы различных функциональных групп мышц подтверждается тесной корреляционной связью между показателями силы ДМ и силой мышц предплечья и кисти.

Список литературы

1. Разумов А.Н., Выборная К.В., Погонченкова И.В., Рожкова Е.А., Акыева Н.К., Клочкова С.В., Алексеева Н.Т., Никитюк Д.Б. Основные показатели физического развития и соматотипологические особенности мужчин старших возрастных групп // *Вопр. питания*. 2017. Т. 86, № 2. С. 32–39. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00031>
2. Никитюк Д.Б. Антропонутириология как новое научное направление // *Журн. анатомии и гистопатологии*. 2018. Т. 7, № 4. С. 9–19. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2018-7-4-9-19>
3. Никитюк Д.Б., Коростелева М.М. Антропонутириология: антропология для гигиенической объективизации состояния физического развития населения при воздействии алиментарного фактора (обзор литературы) // *Здравоохранение Рос. Федерации*. 2022. Т. 66, № 5. С. 417–423. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2022-66-5-417-423>
4. Гельцер Б.И., Шахгельдян К.И., Курпатов И.Г., Котельников В.Н. Сравнительная оценка силы дыхательных мышц у больных бронхиальной астмой, хронической обструктивной болезнью легких и с их сочетанием // *Туберкулез и болезни легких*. 2019. Т. 97, № 2. С. 12–19. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2019-97-2-12-19>
5. Гельцер Б.И., Дей А.А., Титоренко И.Н., Котельников В.Н. Оценка силы дыхательных мышц при внебольничной пневмонии // *Воен.-мед. журн.* 2018. Т. 339, № 11. С. 27–33.
6. Сегизбаева М.О., Александрова Н.П. Оценка функционального состояния дыхательных мышц: методические аспекты и интерпретация данных // *Физиология человека*. 2019. Т. 45, № 2. С. 115–127. <https://doi.org/10.1134/S0131164619010120>
7. Evans J.A., Whitelaw W.A. The Assessment of Maximal Respiratory Mouth Pressures in Adults // *Respir. Care*. 2009. Vol. 54, № 10. P. 1348–1359.
8. Sriboonreung T., Leelarungrayub J., Yankai A., Puntumetakul R. Correlation and Predicted Equations of MIP/MEP from the Pulmonary Function, Demographics and Anthropometrics in Healthy Thai Participants Aged 19 to 50 Years // *Clin. Med. Insights Circ. Respir. Pulm. Med.* 2021. Vol. 15. Art. № 11795484211004494. <https://doi.org/10.1177/11795484211004494>
9. Никитюк Д.Б., Николенко В.Н., Хайруллин Р.М., Миннибаев Т.Ш., Чава С.В., Алексеева Н.Т. Антропометрический метод и клиническая медицина // *Журн. анатомии и гистопатологии*. 2013. Т. 2, № 2. С. 10–14.
10. Гельцер Б.И., Курпатов И.Г., Котельников В.Н. Силовые характеристики дыхательных мышц у здоровых лиц: возрастные, гендерные и конституциональные особенности // *Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова*. 2017. Т. 103, № 12. С. 1425–1433.
11. Сегизбаева М.О. Влияние силовых и аэробных тренировок на функцию внешнего дыхания и силу респираторных мышц спортсменов // *Интегратив. физиология*. 2021. Т. 2, № 2. С. 165–172. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2021-2-2-165-172>
12. Matiegka J. The Testing of Physical Efficiency // *Am. J. Phys. Anthropol.* 1921. Vol. 4, № 3. P. 45–59. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330040302>
13. Гельцер Б.И., Шахгельдян К.И., Курпатов И.Г., Кригер А.Б., Киняйкин М.Ф. Информативность индикаторов силы дыхательных мышц в оценке тяжести хронической обструктивной болезни легких при моделировании на основе искусственных нейронных сетей // *Пульмонология*. 2019. Т. 29, № 5. С. 571–581. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2019-29-5-571-581>
14. Дей А.А., Кожанов А.Г., Гельцер Б.И. Результаты исследования силы дыхательных мышц у лиц молодого возраста с внебольничной пневмонией // *Бюл. физиологии и патологии дыхания*. 2020. Вып. 77. С. 34–40. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2020-77-34-40>

References

1. Razumov A.N., Vybornaya K.V., Pogonchenkova I.V., Rozhkova E.A., Akyeva N.K., Klochkova S.V., Alekseyeva N.T., Nikityuk D.B. Main Indicators of Physical Development and Somatotypological Features of Men in Older Age Groups. *Probl. Nutr.*, 2017, vol. 86, no. 2, pp. 32–39 (in Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00031>
2. Nikityuk D.B. Anthroponutritiology as New Scientific Area. *J. Anat. Histopathol.*, 2018, vol. 7, no. 4, pp. 9–19 (in Russ.). <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2018-7-4-9-19>

3. Nikitjuk D.B., Korosteleva M.M. Anthroponutriciology: Anthropology for Hygienic Objectivization of the State of Physical Development of the Population Under the Impact of the Nutritional Factor (Literature Review). *Health Care Russ. Fed.*, 2022, vol. 66, no. 5, pp. 417–423 (in Russ.). <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2022-66-5-417-423>
4. Geltser B.I., Shakhgelyan K.I., Kurpatov I.G., Kotelnikov V.N. Comparative Assessment of Respiratory Muscle Strength in Those with Asthma, Chronic Obstructive Pulmonary Disease and Combination of These Two Conditions. *Tuberc. Lung Dis.*, 2019, vol. 97, no. 2, pp. 12–19 (in Russ.). <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2019-97-2-12-19>
5. Gel'tser B.I., Dey A.A., Titorenko I.N., Kotel'nikov V.N. Otsenka sily dykhatel'nykh myshts pri vnebol'nichnoy pnevmonii [Assessment of the Strength of the Respiratory Muscles in Community-Acquired Pneumonia]. *Voennomeditsinskiy zhurnal*, 2018, vol. 339, no. 11, pp. 27–33.
6. Segizbaeva M.O., Aleksandrova N.P. Assessment of the Functional State of Respiratory Muscles: Methodological Aspects and Data Interpretation. *Hum. Physiol.*, 2019, vol. 45, no. 2, pp. 213–224. <https://doi.org/10.1134/S0362119719010110>
7. Evans J.A., Whitelaw W.A. The Assessment of Maximal Respiratory Mouth Pressures in Adults. *Respir. Care*, 2009, vol. 54, no. 10, pp. 1348–1359.
8. Sriboonreung T., Leelarungrayub J., Yankai A., Puntumetakul R. Correlation and Predicted Equations of MIP/MEP from the Pulmonary Function, Demographics and Anthropometrics in Healthy Thai Participants Aged 19 to 50 Years. *Clin. Med. Insights Circ. Respir. Pulm. Med.*, 2021, vol. 15. Art. no. 11795484211004494. <https://doi.org/10.1177/11795484211004494>
9. Nikityuk D.B., Nikolenko V.N., Khayrullin R.M., Minnibaev T.Sh., Chava S.V., Alekseeva N.T. Antropometricheskii metod i klinicheskaya meditsina [The Anthropometric Method and Clinical Medicine]. *Zhurnal anatomii i gistopatologii*, 2013, vol. 2, no. 2, pp. 10–14.
10. Geltser B.I., Kurpatov I.G., Kotelnikov V.N. Silovye kharakteristiki dykhatel'nykh myshts u zdorovykh lits: vozrastnye, gendernye i konstitutsional'nye osobennosti [Powerful Characteristics of Respiratory Muscles in Healthy Persons: Age, Gender and Constitutional Features]. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*, 2017, vol. 103, no. 12, pp. 1425–1433.
11. Segizbaeva M.O. The Effect of Endurance and Power Training on Ventilatory Function and Respiratory Muscle Strength. *Integr. Physiol.*, 2021, vol. 2, no. 2, pp. 165–172 (in Russ.). <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2021-2-2-165-172>
12. Matiegka J. The Testing of Physical Efficiency. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1921, vol. 4, no. 3, pp. 223–230. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330040302>
13. Gel'tser B.I., Shakhgel'dyan K.I., Kurpatov I.G., Kriger A.B., Kinyaykin M.F. A Value of Respiratory Muscle Strength Indicators to Determine Severity of Chronic Obstructive Pulmonary Disease Using Artificial Neural Networks. *Russ. Pulmonol.*, 2019, vol. 29, no. 5, pp. 571–581 (in Russ.). <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2019-29-5-571-581>
14. Dei A.A., Kozhanov A.G., Geltser B.I. Results of Respiratory Muscle Strength Study in Young Persons with Community-Acquired Pneumonia. *Bull. Physiol. Pathol. Respir.*, 2020, no. 77, pp. 34–40 (in Russ.). <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2020-77-34-40>

Поступила в редакцию 08.05.2025 / Одобрена после рецензирования 23.09.2025 / Принята к публикации 26.09.2025
Submitted 8 May 2025 / Approved after reviewing 23 September 2025 / Accepted for publication 26 September 2025



Научная статья
УДК 599.323.45:[612.59+591.111.1]
DOI: 10.37482/2687-1491-Z274

Реакция эритроцитов у крыс на водно-холодовую среду в зависимости от уровня физической нагрузки

Николай Петрович Монгалёв* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2817-5780>
Надежда Алексеевна Вахнина* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0779-5171>
Евгений Рафаилович Бойко* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8027-898X>

*Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук
(Сыктывкар, Россия)

Аннотация. Система крови – одна из наиболее реактивных систем, реагирующая на различные воздействия внутренней и внешней среды. Авторы настоящего исследования предположили, что ступенчатый плавательный тренинг может способствовать нормализации изменений клеточного состава красной крови животных и использоваться для запуска компенсаторно-восстановительного механизма, обеспечивающего повышение физической работоспособности организма. **Цель работы** – изучить влияние умеренной водно-холодовой среды на характер адаптационных изменений клеток красной крови у самцов крыс после сидения, свободного плавания и ступенчатого плавательного теста «до отказа» с грузом, составляющим 4 % от массы тела. **Материалы и методы.** Исследование проведено на половозрелых самцах крыс линии Wistar, разделенных случайным образом на одну контрольную и три экспериментальные (особи, сидевшие в холодной воде по 4 мин в день в течение 8 нед., одноразово плававшие в холодной воде свободными от груза и плававшие в ней с грузом при ступенчатом увеличении его массы от 0 до 4 % с последующим тестом «до отказа») группы. Сравнивалось морфофункциональное состояние красной крови крыс. **Результаты.** Установлено, что в крови крыс, сидевших в холодной воде, повышение гематокрита, уровня гемоглобина и количества эритроцитов сочеталось с гемоконцентрацией в отличие от животных, плававших в холодной воде. Показана значимая ретикулоцитарная реакция на холодное воздействие у крыс с нормированным плаванием, свободных от груза. Напротив, у животных, сидевших в холодной воде или плававших с грузом, такая реакция отсутствовала, что может рассматриваться в качестве ценного свидетельства регуляции морфофункционального состояния крови, направленной в конечном итоге на долгосрочную адаптацию организма. Наличие значимой отрицательной корреляционной связи между количеством ретикулоцитов и эритроцитов только у крыс, плававших в холодной воде без груза, может быть следствием проявления скрытого механизма регуляции эритроцитарного пула крови.

© Монгалёв Н.П., Вахнина Н.А., Бойко Е.Р., 2026

Ответственный за переписку: Николай Петрович Монгалёв, адрес: 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, д. 50; e-mail: mongalev@physiol.komisc.ru

Ключевые слова: адаптационные изменения красной крови, гематокрит, гемоконцентрация, эритроциты, ретикулоциты, физическая нагрузка, холодовая среда, водно-иммерсионная гипотермия

Финансирование. Исследование проведено в рамках темы научно-исследовательской работы Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук «Физиолого-биохимические механизмы устойчивости организма человека и животных к факторам Севера и физическим нагрузкам, способы ее повышения и прогностической оценки», FUUU-2022-0063 (регистрационный № 1021051201877-3).

Для цитирования: Монгалёв, Н. П. Реакция эритроцитов у крыс на водно-холодовую среду в зависимости от уровня физической нагрузки / Н. П. Монгалёв, Н. А. Вахнина, Е. Р. Бойко // Журнал медико-биологических исследований. – 2026. – Т. 14, № 1. – С. 35-42. – DOI 10.37482/2687-1491-Z274.

Original article

Response of Erythrocytes in Rats to a Cold Water Environment Depending on the Level of Physical Activity

Nikolay P. Mongalev* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2817-5780>
Nadezhda A. Vakhnina* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0779-5171>
Evgeny R. Boyko* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8027-898X>

*Institute of Physiology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Syktyvkar, Russia)

Abstract. The circulatory system is one of the most reactive systems, responding to various internal and external environmental factors. The authors of this study hypothesized that graded swimming training could help to normalize the composition of red blood cells in animals and be used to trigger a compensatory and restorative mechanism that enhances physical performance. The **purpose** of the article was to investigate the effect of a moderate cold water environment on the nature of adaptive changes in red blood cells in male rats after sitting, free swimming and a graded swimming test to failure with a load of 4 % of their body weight. **Materials and methods.** The study involved sexually mature male Wistar rats, randomly divided into one control and three experimental (animals that sat in the water for 4 min a day during 8 weeks, those that swam once without a weight, and those that swam with a gradually increasing load from 0 to 4 % and a subsequent test to failure) groups. The morphofunctional state of red blood cells in rats was compared. **Results.** We found that in the blood of rats that sat in the cold water, an increase in haematocrit, haemoglobin and erythrocyte count was combined with haemoconcentration, in contrast to the animals that swam in the cold water. A significant reticulocyte response to cold exposure was observed in rats that swam without a weight. Conversely, animals that sat in the cold water or swam with a load showed no such response, which can be considered as a valuable indicator of the regulation of the morphofunctional state of the blood, ultimately aimed at long-term adaptation of the body. The significant negative correlation between reticulocyte and erythrocyte counts only in rats that swam in the cold water without a weight may indicate a hidden mechanism of regulation of the erythrocyte pool in the blood.

Corresponding author: Nikolay Mongalev, address: ul. Pervomayskaya 50, GSP-2, Syktyvkar, 167982, Russia; e-mail: mongalev@physiol.komisc.ru

Keywords: *adaptive changes in red blood cells, haematocrit, haemoconcentration, erythrocytes, reticulocytes, physical activity, cold environment, water immersion hypothermia*

Funding. The study was conducted within the framework of the research of the Institute of Physiology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences on the following topic: “Physiological and Biochemical Mechanisms of Resistance of the Human and Animal Body to Northern Factors and Physical Exertion, Methods for Increasing It and Prognostic Assessment”, FUUU-2022-0063 (registration no. 1021051201877-3).

For citation: Mongalev N.P., Vakhnina N.A., Boyko E.R. Response of Erythrocytes in Rats to a Cold Water Environment Depending on the Level of Physical Activity. *Journal of Medical and Biological Research*, 2026, vol. 14, no. 1, pp. 35–42. DOI: 10.37482/2687-1491-Z274

Водно-иммерсионная гипотермия связана с потерей тепла организмом, сопровождается периферической вазоконстрикцией [1], централизацией кровотока и гемоконцентрацией [2]. В отличие от гемоконцентрации в условиях гипотермии, повышение гематокрита, содержания гемоглобина [3], количества эритроцитов и ретикулоцитов [4, 5] вследствие физической нагрузки способствует адекватному возрастанию функциональной устойчивости красной крови, что необходимо для экстренного восполнения дефицита кислорода [6, 7]. В то же время максимальная физическая нагрузка у спортсменов может сопровождаться повышением гематокрита без ретикулоцитоза [8].

Интегративные изменения морфофункционального состояния красной крови в качестве проявления компенсаторно-приспособительных реакций организма в условиях сочетания водно-иммерсионной холодной среды и физической нагрузки изучены недостаточно. Считается, что совместное использование этих факторов у человека и животных может быть эффективным только при определенных условиях [9], поскольку приводит к развитию «перекрестной адаптации» [10].

Цель работы – изучить влияние водно-иммерсионной холодной среды на характер адаптационных изменений клеток красной крови у крыс после сидения, свободного плавания и ступенчатого плавательного теста «до отказа» с грузом, составляющим 4 % от массы тела.

Материалы и методы. Исследование проводили на половозрелых самцах крыс линии Wistar. Животных содержали по 4 особи в клет-

ке на стандартном рационе вивария, со свободным доступом к воде, при температуре 21 ± 1 °C и 12-часовом освещении.

В контрольную группу были включены животные, не подвергавшиеся холодному воздействию ($n = 10$). Также были выделены три экспериментальные группы крыс: сидевшие в холодной воде ($n = 8$) – адаптация к десатурированной воде температурой 10–12 °C осуществлялась при увеличении времени сидения от 2 до 4 мин в течение первых 5 дней с последующим тестированием по 4 мин в течение 8 нед.; плававшие в холодной воде без груза ($n = 8$) – плавали однократно в течение 4 мин в воде температурой 10–12 °C; плававшие в холодной воде с грузом ($n = 10$) – адаптация к плаванию начиналась в условиях эксперимента, в ходе которого время нахождения крыс в воде температурой 10–12 °C в непрозрачной емкости глубиной 60 см в течение первых 5 дней постепенно увеличивалось от 2 до 4 мин без груза, после чего животные подвергались нагрузочному тестированию согласно методу [11] с модификациями, заключавшимися в постепенном увеличении массы груза с 0 до 4 % массы тела и последующем выполнении плавательного теста «до отказа». После проведения всех манипуляций животных декапитировали под легким наркозом в соответствии с правилами Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS № 123). Протокол исследования рассмотрен и одобрен комитетом по биоэтике Института физиологии

Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук 15 ноября 2022 года.

В крови, стабилизированной гепарином (5000 ед./мл, АКОС, Россия), определяли уровень гемоглобина по Сали (ГС-3), гематокрит с использованием центрифуги MPW-310 (Mechanika Precyzyjna, Польша), количество эритроцитов в камере Горяева и ретикулоцитов на мазках после инкубирования крови в течение 12–15 мин с 1 %-м раствором бриллиантового крезилового синего. Измеряли диаметры 100 эритроцитов, окрашенных по Романовскому–Гимзе (набор фирмы Vital-Development, Россия), с помощью микроскопа PZO (Польша) с масляной иммерсией, увеличением объектива 100× и градуированной шкалой окуляра 12× [12].

Экспериментальные данные обрабатывали с помощью программы Statistica 8.0. Статистическую значимость различий клеточного состава красной крови у исследованных групп животных определяли с использованием критерия Манна–Уитни, учитывали средние значения показателей (M) и ошибки средних (m). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Для установления связи между показателями рассчитывали коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r_s) [13].

Результаты. У сидевших в холодной воде крыс отмечалось увеличение гематокрита, уровня гемоглобина, количества эритроцитов и снижение концентрации гемоглобина в эритроците по сравнению с контролем (см. *таблицу*).

Клеточный состав красной крови крыс в зависимости от уровня физической нагрузки и температурного фактора ($M \pm m$)

Composition of red blood cells in rats depending on the level of physical activity and temperature ($M \pm m$)

Показатель	Группа крыс			
	контрольная	сидевшая в холодной воде	плававшая в холодной воде	
			без груза	с грузом (4 % от массы тела)
Гематокрит, %	44,84±0,33	49,71±0,50***	47,93±1,44	51,51±0,43***▲
Уровень гемоглобина, г/л	144,9±1,22	155,0±1,03***	143,0±1,58***	159,0±2,32***▲▲
Эритроциты:				
количество, $10^{12}/л$	8,16±0,16	8,40±0,31*	8,29±0,14	9,18±0,28***▲
диаметр, мкм	6,18±0,02	6,21±0,04	6,12±0,03	6,31±0,04***▲
доля клеток диаметром 0–6,3 мкм, %	40,40±2,68	37,50±2,75	34,63±2,74	33,30±2,03
площадь, мкм ²	74,03±0,66	74,81±0,93	72,66±0,96	78,29±1,97▲
Содержание гемоглобина в эритроците, пг	17,79±0,31	18,62±0,69	17,27±0,13	17,52±0,49
Концентрация гемоглобина в эритроците, %	32,31±0,28	31,28±0,19**	29,96±0,64**	31,84±0,31▲
Количество ретикулоцитов:				
$10^{12}/л$	0,10±0,005	0,11±0,01	0,23±0,02***●●●	0,10±0,007▲▲▲
‰	12,61±0,65	13,45±1,05	28,19±2,87***●●●	10,78±0,59▲▲▲

Примечание. Отличия статистически значимы: *, **, *** – от контрольной группы при $p < 0,05$, $p < 0,01$ и $p < 0,001$ соответственно; ●, ●● – от группы, сидевшей в холодной воде, при $p < 0,05$ и $p < 0,001$ соответственно; ▲, ▲▲, ▲▲▲ – от группы, плававшей без груза, при $p < 0,05$, $p < 0,01$ и $p < 0,001$ соответственно.

Свободно плававшие в течение 4 мин животные характеризовались уменьшением концентрации гемоглобина в эритроците и повышением количества ретикулоцитов, тогда как по сравнению с ними плававшие в 2 раза больше по времени крысы с грузом, составлявшим 4 % от массы тела, имели более высокие значения гематокрита, уровня гемоглобина, количества и диаметра эритроцитов, площади поверхности эритроцитов, концентрации гемоглобина в эритроците при меньшем количестве ретикулоцитов.

Значимая корреляционная связь между количеством ретикулоцитов и эритроцитов обнаружена только у крыс, плававших без дополнительной нагрузки ($r_s = -0,786; p < 0,05$).

Обсуждение. У сидевших в холодной воде крыс изменения эритроцитарных параметров крови заключались в увеличении уровня гемоглобина, количества эритроцитов и особенно гематокрита, который в условиях гемоконцентрации может возрасти на 8,9 % [14], что, по-видимому, характеризует типичную картину воздействия холода, сопровождающегося вазоконстрикцией [1]. При этом снижение концентрации гемоглобина в одном эритроците может быть адекватной реакцией, поскольку соответствует сдвигу кривой диссоциации влево [15].

Животные после свободного плавания в условиях холодного воздействия характеризовались уменьшением концентрации гемоглобина в эритроците и повышением количества ретикулоцитов, что обеспечивало поддержание нормального уровня кислорода в крови при физической нагрузке [16]. Напротив, ступенчатая плавательная нагрузка у крыс с грузом, составлявшим 4 % от массы тела, способствовала увеличению гематокрита и уровня гемоглобина – вероятно, вследствие гемоконцентрации крови, поскольку в условиях термонейтральной среды данный эффект отсутствовал [17].

В то же время повышение количества, диаметра и площади поверхности эритроцитов с тенденцией к правостороннему сдвигу одновершинной кривой Прайс-Джонса у крыс с

грузом не сопровождалось ретикулоцитозом, что не характерно для физической нагрузки [17] и может быть следствием «перекрестной адаптации» в связи с недостаточной продолжительностью периода холодного воздействия. Показано, что в условиях пролонгированной гипотермии количество ретикулоцитов у крыс возрастает [18].

Отсутствие повышения количества ретикулоцитов в условиях гемоконцентрации можно рассматривать в связи с гипероксическим состоянием крови при тканевой гипоксии [15]. Эти результаты не противоречат выводам [19] о том, что гипоксический и температурный факторы (нами рассматриваются при холодном воздействии) могут оказывать негативное влияние на организм независимо друг от друга при превалировании воздействия гипоксии.

Наличие значимой отрицательной корреляционной связи между количеством ретикулоцитов и эритроцитов только у крыс, свободно плававших в холодной среде, возможно, является следствием работы скрытого механизма регуляции эритроцитарного пула у животных.

Анализ этих положений особенно интересен при холодном воздействии в случае максимальной нагрузки, поскольку отсутствие повышения количества ретикулоцитов в крови крыс, плававших с грузом, соответствует данным при пролонгированной мышечной активности у элитных спортсменов [20] и может рассматриваться в качестве ценного свидетельства регуляции морфофункционального состояния крови, направленной в конечном итоге на долгосрочную адаптацию организма.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о трансформациях морфофункционального состояния красной крови у животных в зависимости от влияния на организм водно-холодовой среды, характера, длительности, интенсивности мышечной нагрузки и развития гемоконцентрации, которая, вероятно, нивелирует реализацию адаптационных изменений красной крови. Комплексное воз-

действие ступенчатой плавательной нагрузки и физиологического значения этого феномена в температурного фактора внутренней и внешней условиях адаптации к водно-холодовому воз- среды на эритроцитарную реакцию сочетается действию будут посвящены наши последую- ся с отсутствием ретикулоцитоза. Выяснению щие исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Daanen H.A.M., Van Marken Lichtenbelt W.D. Human Whole Body Cold Adaptation // *Temperature* (Austin). 2016. Vol. 3, № 1. P. 104–118. <https://doi.org/10.1080/23328940.2015.1135688>
2. Rostomily K.A., Jones D.M., Pautz C.M., Ito D.W., Buono M.J. Haemoconcentration, Not Decreased Blood Temperature, Increases Blood Viscosity During Cold Water Immersion // *Diving Hyperb. Med.* 2020. Vol. 50, № 1. P. 24–27. <https://doi.org/10.28920/dhm50.1.24-27>
3. Агишев А.А., Фатеев И.С. Корреляция мощности и уровня гемоглобина для формирования спортивного результата // *Здоровье человека, теория и методика физ. культуры и спорта.* 2019. № 2(13). С. 110–120.
4. Бойков В.Л., Мельников А.А., Подоляка О.Б. Особенности гематологических показателей у пловцов элитной и высокой квалификации // *Физическая культура и спорт. Олимпийское образование: материалы междунар. науч.-практ. конф.* Краснодар: КГУФКСТ, 2021. С. 162–164.
5. Королев Д.С., Архангельская А.Н., Фесюн А.Д., Гуревич К.Г. Особенности изменений гематологических и биохимических показателей у спортсменов-борцов // *Физиология человека.* 2021. Т. 47, № 5. С. 95–101. <https://doi.org/10.31857/S0131164621040056>
6. Mairbäurl H. Red Blood Cells in Sports: Effects of Exercise and Training on Oxygen Supply by Red Blood Cells // *Front. Physiol.* 2013. Vol. 4. Art. № 332. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00332>
7. Рыбина И.Л., Жлобович И.Н., Кручинский Н.Г. Ретикулоциты периферической крови как маркер оценки адаптации системы транспорта кислорода к физическим нагрузкам у спортсменов циклических видов спорта // *Здоровье для всех.* 2018. № 1. С. 11–16.
8. Монгалёв Н.П., Рубцова Л.Ю., Потолицына Н.Н. Глава 10. Реактивность нормоцитов красной крови человека в условиях физической нагрузки и острой нормобарической гипоксии // *Физиолого-биохимические механизмы обеспечения спортивной деятельности зимних циклических видов спорта / отв. ред. Е.Р. Бойко.* Сыктывкар: Коми респ. тип., 2019. С. 102–114.
9. Зараковский Г.М. Целевая функция адаптации человека (в развитие идей Всеволода Ивановича Медведева) // *Физиология человека.* 2014. Т. 40, № 6. С. 6–14. <https://doi.org/10.7868/S0131164614060150>
10. Gibson O.R., Taylor L., Watt P.W., Maxwell N.S. Cross-Adaptation: Heat and Cold Adaptation to Improve Physiological and Cellular Responses to Hypoxia // *Sports Med.* 2017. Vol. 47, № 9. P. 1751–1768. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0717-z>
11. Lubkowska A., Bryczkowska I., Gutowska I., Rotter I., Marczuk N., Baranowska-Bosiacka I., Banfi G. The Effects of Swimming Training in Cold Water on Antioxidant Enzyme Activity and Lipid Peroxidation in Erythrocytes of Male and Female Aged Rats // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019. Vol. 16, № 4. Art. № 647. <https://doi.org/10.3390/ijerph16040647>
12. Тодоров Й. Клинические лабораторные исследования в педиатрии. София: Медицина и физкультура, 1968. 1065 с.
13. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1999. 459 с.
14. Danzl D.F., Pozos R.S. Accidental Hypothermia // *N. Engl. J. Med.* 1994. Vol. 331, № 26. P. 1756–1760. <https://doi.org/10.1056/NEJM199412293312607>
15. Иржак Л.И., Гладилов В.В., Мойсеенко Н.А. Дыхательная функция крови в условиях гипероксии. М.: Медицина, 1985. 176 с.

16. Кручинский Н.Г., Рыбина И.Л., Нехвядович А.И., Жлобович И.Н. Содержание ретикулоцитов и их субпопуляций различной степени зрелости: адаптационные изменения и взаимосвязь с другими показателями эритроцитарного звена и физической работоспособности в процессе подготовки биатлонистов высокой квалификации // Спортив. медицина: наука и практика. 2011. № 4. С. 7–13.

17. Монгалеv Н.П., Вахнина Н.А., Бойко Е.Р. Реакция эритроцитов крыс на ступенчатую плавательную нагрузку и тест «до отказа» в термонейтральной среде // Уч. зап. Казан. гос. акад. ветеринар. медицины им. Н.Э. Баумана. 2023. Т. 256, № 4. С. 178–184.

18. Аль-Рабиш М.А.М. Свободнорадикальный гомеостаз и структурно-функциональное состояние мембран эритроцитов крыс при гипотермии: дис. ... канд. биол. наук. Махачкала, 2016. 133 с.

19. Ким А.Е., Шустов Е.Б., Зайцева И.П., Лемещенко А.В. Патологические механизмы неблагоприятного взаимодействия гипоксии и температурных факторов в отношении физической работоспособности // Патол. физиология и эксперим. терапия. 2022. Т. 66, № 4. С. 94–106. <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2022.04.94-106>

20. Banfi G. Reticulocytes in Sports Medicine // Sports Med. 2008. Vol. 38, № 3. P. 187–211. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838030-00002>

References

1. Daanen H.A.M., Van Marken Lichtenbelt W.D. Human Whole Body Cold Adaptation. *Temperature (Austin)*, 2016, vol. 3, no. 1, pp. 104–118. <https://doi.org/10.1080/23328940.2015.1135688>

2. Rostomily K.A., Jones D.M., Pautz C.M., Ito D.W., Buono M.J. Haemoconcentration, Not Decreased Blood Temperature, Increases Blood Viscosity During Cold Water Immersion. *Diving Hyperb. Med.*, 2020, vol. 50, no. 1, pp. 24–27. <https://doi.org/10.28920/dhm50.1.24-27>

3. Agishev A.A., Fateev I.S. Correlation of Power and Hemoglobin Level for the Formation of a Sports Result. *Health Phys. Cult. Sports*, 2019, no. 2, pp. 110–120 (in Russ.).

4. Boykov V.L., Mel'nikov A.A., Podolyaka O.B. Osobennosti gematologicheskikh pokazateley u plovtsov elitnoy i vysokoy kvalifikatsii [Haematological Parameters in Elite and Highly Qualified Swimmers]. *Fizicheskaya kul'tura i sport. Olimpiyskoe obrazovanie* [Physical Education and Sports. Olympic Education]. Krasnodar, 2021, pp. 162–164.

5. Korolev D.S., Arkhangel'skaya A.N., Gurevich K.G., Fesyun A.D. Characteristics of Changes in Hematological and Biochemical Parameters of Wrestling Athletes. *Hum. Physiol.*, 2021, vol. 47, no. 5, pp. 558–563. <https://doi.org/10.1134/S0362119721040058>

6. Mairbäurl H. Red Blood Cells in Sports: Effects of Exercise and Training on Oxygen Supply by Red Blood Cells. *Front. Physiol.*, 2013, vol. 4. Art. no. 332. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00332>

7. Rybina I.L., Zhlobovich I.N., Kruchinskiy N.G. Retikulotsity perifericheskoy krovi kak marker otsenki adaptatsii sistemy transporta kisloroda k fizicheskim nagruzkam u sportsmenov tsiklicheskikh vidov sporta [Peripheral Blood Reticulocytes as a Marker for Assessing the Adaptation of the Oxygen Transport System to Physical Activity in Athletes Doing Cyclic Sports]. *Zdorov'e dlya vsekh*, 2018, no. 1, pp. 11–16.

8. Mongalyov N.P., Rubtsova L.Yu., Potolitsyna N.N. Glava 10. Reaktivnost' normotsitov krasnoy krovi cheloveka v usloviyakh fizicheskoy nagruзки i ostroy normobaricheskoy gipoksii [Chapter 10. Reactivity of Human Normocytic Red Blood Cells During Physical Exertion and Acute Normobaric Hypoxia]. Boyko E.R. (ed.). *Fiziologo-biokhimicheskie mekhanizmy obespecheniya sportivnoy deyatel'nosti zimnikh tsiklicheskikh vidov sporta* [Physiological and Biochemical Mechanisms of Sports Activity in Cyclic Winter Sports]. Syktyvkar, 2019, pp. 102–114.

9. Zarakovsky G.M. The Objective Function of Human Adaptation: Developing the Ideas of Vsevolod I. Medvedev. *Hum. Physiol.*, 2014, vol. 40, no. 6, pp. 589–596. <https://doi.org/10.1134/S0362119714060139>

10. Gibson O.R., Taylor L., Watt P.W., Maxwell N.S. Cross-Adaptation: Heat and Cold Adaptation to Improve Physiological and Cellular Responses to Hypoxia. *Sports Med.*, 2017, vol. 47, no. 9, pp. 1751–1768. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0717-z>

11. Lubkowska A., Bryczkowska I., Gutowska I., Rotter I., Marczuk N., Baranowska-Bosiacka I., Banfi G. The Effects of Swimming Training in Cold Water on Antioxidant Enzyme Activity and Lipid Peroxidation in Erythrocytes of Male and Female Aged Rats. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2019, vol. 16, no. 4. Art. no. 647. <https://doi.org/10.3390/ijerph16040647>

12. Todorov Y. *Klinicheskie laboratornye issledovaniya v pediatrii* [Clinical Laboratory Research in Paediatrics]. Sofia, 1968. 1065 p.

13. Glantz S. *Primer of Biostatistics*. New York, 1997. 473 p. (Russ. ed.: Glants S. *Mediko-biologicheskaya statistika*. Moscow, 1999. 459 p.).

14. Danzl D.F., Pozos R.S. Accidental Hypothermia. *N. Engl. J. Med.*, 1994, vol. 331, no. 26, pp. 1756–1760. <https://doi.org/10.1056/NEJM199412293312607>

15. Irzhak L.I., Gladilov V.V., Moysenko N.A. *Dykhatel'naya funktsiya krovi v usloviyakh giperoksii* [The Respiratory Function of the Blood Under Hyperoxia]. Moscow, 1985. 176 p.

16. Kruchinskiy N.G., Rybina I.L., Nekhvyadovich A.I., Zhlobovich I.N. Soderzhanie retikulotsitov i ikh subpopulyatsiy razlichnoy stepeni zrelosti: adaptatsionnye izmeneniya i vzaimosvyaz' s drugimi pokazatelyami eritrotsitarnogo zvena i fizicheskoy rabotosposobnosti v protsesse podgotovki biatlonistov vysokoy kvalifikatsii [Concentrations of Reticulocytes and Their Subpopulations of Varying Maturity: Adaptive Changes and Relationship with Other Erythrocyte Parameters and Physical Performance in Highly Qualified Biathletes in the Course of Training]. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika*, 2011, no. 4, pp. 7–13.

17. Mongalev N.P., Vakhnina N.A., Boyko E.R. Reaktsiya eritrotsitov krysa na stupenchatuyu plavatel'nyuyu nagruzku i test "do otkaza" v termoneutral'noy srede [Response of Erythrocytes to Gradually Increased Swimming Exercise and Swimming Test to Exhaustion in Thermoneutral Water]. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana*, 2023, vol. 256, no. 4, pp. 178–184.

18. Al'-Rabii M.A.M. *Svobodnoradikal'nyy gomeostaz i strukturno-funktsional'noe sostoyanie membran eritrotsitov krysa pri gipotermii* [Free Radical Homeostasis and the Structural and Functional State of Erythrocyte Membranes in Rats During Hypothermia: Diss.]. Makhachkala, 2016. 133 p.

19. Kim A.E., Shustov E.B., Zaitseva I.P., Lemeshchenko A.V. Pathophysiological Mechanisms of Adverse Interaction of Hypoxia and Temperature Factors in Relation to Physical Working Ability. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya*, 2022, vol. 66, no. 4, pp. 94–106 (in Russ.). <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2022.04.94-106>

20. Banfi G. Reticulocytes in Sports Medicine. *Sports Med.*, 2008, vol. 38, no. 3, pp. 187–211. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838030-00002>

Поступила в редакцию 24.12.2024 / Одобрена после рецензирования 18.10.2025 / Принята к публикации 23.10.2025
Submitted 24 December 2024 / Approved after reviewing 18 October 2025 / Accepted for publication 23 October 2025



Научная статья
УДК 612.62:57.034
DOI: 10.37482/2687-1491-Z273

Динамика показателей внешнего дыхания у молодых женщин в ходе менструального цикла

Елена Владимировна Сапёрова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5335-3238>

*Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева
(Чебоксары, Россия)

Аннотация. Менструальный цикл является естественным физиологическим процессом женщин. Изменения уровня гормонов в их организме в разные фазы цикла играют роль в функционировании дыхательной системы, однако литературные данные указывают на недостаточную изученность данного вопроса. **Цель** работы – сравнение параметров внешнего дыхания у молодых женщин в разные фазы менструального цикла. **Материалы и методы.** У 15 женщин 20–25 лет ежедневно в течение двух последовательных менструальных циклов измеряли показатели внешнего дыхания посредством компьютерного спирометра «Спиро-Спектр» («Нейрософт», Россия). **Результаты.** Максимальные значения частоты дыхания (ЧД) и дыхательного объема (ДО) наблюдались в лютеиновую фазу (ЛФ) цикла ($p < 0,01$). Минутный объем дыхания, являющийся производным показателем от ЧД и ДО, имел максимум в середине ЛФ и минимум в конце фолликулиновой фазы (ФФ) ($p < 0,01$). Наибольшие значения жизненной емкости легких и форсированной жизненной емкости легких были характерны для начала ЛФ, минимальные – для середины ФФ ($p < 0,01$ и $p < 0,05$ соответственно). Анализ изменения пиковой объемной скорости, отражающей проводимость бронхов, свидетельствует о повышении данного показателя к началу ЛФ с минимумом в конце ФФ ($p < 0,01$). Аналогичная картина имела место и для других параметров проводимости бронхов: объема форсированного выдоха за первую секунду и индекса Тиффно. Значение максимальной вентилиации легких (МВЛ) было выше в ЛФ цикла ($p < 0,05$). ЧД при выполнении теста на МВЛ была минимальной в конце ФФ и увеличилась к началу ЛФ ($p < 0,01$). Анализ проводимости бронхов разных диаметров позволил выявить достоверное изменение лишь для крупных бронхов в раннюю ЛФ. Таким образом, исследование обнаружило достоверные изменения как статических, так и динамических показателей внешнего дыхания молодых женщин в течение менструального цикла.

Ключевые слова: менструальный цикл, лютеиновая фаза, фолликулиновая фаза, показатели внешнего дыхания, частота дыхания, жизненная емкость легких

Для цитирования: Сапёрова, Е. В. Динамика показателей внешнего дыхания у молодых женщин в ходе менструального цикла / Е. В. Сапёрова // Журнал медико-биологических исследований. – 2026. – Т. 14, № 1. – С. 43-51. – DOI 10.37482/2687-1491-Z273.

© Сапёрова Е.В., 2026

Ответственный за переписку: Елена Владимировна Сапёрова, адрес: 428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 38; e-mail: saperova_elena@mail.ru

Original article

Dynamics of Respiratory Parameters in Young Women During the Menstrual Cycle

Elena V. Saperova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5335-3238>

*Chuvash I. Yakovlev State Pedagogical University
(Cheboksary, Russia)

Abstract. The menstrual cycle is a natural physiological process in women. Changes in hormone levels in their bodies during different phases of the cycle affect the respiratory system. However, literature data indicate that this issue has not been sufficiently studied. The **purpose** of this article was to investigate the dynamics of respiratory parameters during different phases of the menstrual cycle. **Methods.** Respiratory parameters were measured daily for two consecutive menstrual cycles in 15 women aged 20–25 years using a computer-based spirometer Spiro-Spectrum (Neurosoft, Russia). **Results.** Maximal values of the respiratory rate (RR) and tidal volume (TV) were observed in the luteal phase (LP) of the menstrual cycle ($p < 0.01$). Minute volume, which is derived from RR and TV, reached a maximum in the middle of LF and a minimum at the end of the follicular phase (FP) ($p < 0.01$). The highest values of vital capacity (VC) and forced VC were observed at the beginning of LP, while the lowest, in the middle of FP ($p < 0.01$ and $p < 0.05$, respectively). The analysis of changes in peak expiratory flow, reflecting bronchial conduction, showed that this parameter increased by the beginning of LP and reached a minimum at the end of FP ($p < 0.01$). A similar pattern was observed with other parameters reflecting bronchial conduction: forced expiratory volume in the 1st second (FEV_1) and the FEV_1/VC ratio. The value of maximal voluntary ventilation (MVV) was higher in the LP ($p < 0.05$). During the MVV test, RR was minimal at the end of FP and increased by the beginning of LP ($p < 0.01$). The study of the conductivity of bronchi of different diameters found a significant change in the conductivity of only large-diameter bronchi in the early LP. Thus, the research established significant changes in both static and dynamic parameters of external respiration in young women in the course of the menstrual cycle.

Keywords: *menstrual cycle, luteal phase, follicular phase, respiratory parameters, respiratory rate, vital capacity*

For citation: Saperova E.V. Dynamics of Respiratory Parameters in Young Women During the Menstrual Cycle. *Journal of Medical and Biological Research*, 2026, vol. 14, no. 1, pp. 43–51. DOI: 10.37482/2687-1491-Z273

Менструальный цикл (МЦ) является неотъемлемой частью жизни женщины и представляет собой периодические морфофизиологические и метаболические изменения, происходящие в ее организме [1–4]. Он подразде-

ляется на фолликулиновую фазу (ФФ), характеризующуюся ростом и развитием фолликула, и лютеиновую фазу (ЛФ), в течение которой лопнувший фолликул перерождается в гормон-продуцирующее желтое тело.

Corresponding author: Elena Saperova, *address:* ul. K. Marksa 38, Cheboksary, 428000, Russia; *e-mail:* saperova_elena@mail.ru

Наряду с гормональными сдвигами в репродуктивных органах, в течение МЦ происходят метаболические изменения в других органах на тканевом, клеточном и молекулярном уровнях [5], что проявляется колебаниями содержания продуктов обмена веществ и газового состава крови. Так, в ЛФ повышаются парциальное давление и концентрация углекислого газа в крови, что связывают с гипервентиляцией [6]. Состояние физиологической гипоксии, сопровождающееся ацидозом, запускает ряд компенсаторных реакций, самая эффективная из которых – менструальное кровотечение, представляющее собой открытие «шлюзов» для экстренного выведения из организма избыточного количества кислых продуктов. В середине ФФ рН крови повышается, достигая максимума к середине МЦ [1], при этом изменяются ее биохимические, цитологические параметры и показатели метаболизма [7].

Адаптацию организма к метаболическим изменениям осуществляет система внешнего дыхания, в связи с чем логично предположить флуктуации параметров внешнего дыхания в разные фазы МЦ. В научной литературе присутствуют данные об указанных колебаниях, однако как их направленность, так и причины трактуются неоднозначно [2–4, 6, 8–11]. Именно поэтому целью исследования явилось изучение динамики параметров внешнего дыхания в течение МЦ.

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. У 15 практически здоровых (без заболеваний сердечно-сосудистой и дыхательной систем) студенток данного вуза в возрасте 20–25 лет (средний возраст – $21,15 \pm 0,76$ года) с регулярным МЦ, не принимающих гормональные контрацептивы, ежедневно в течение двух последовательных МЦ измеряли показатели внешнего дыхания. Эксперимент был одобрен этическим комитетом по экспертизе биомедицинских исследований Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова. От всех студенток получено письменное информированное согласие.

Спирометрию проводили в первой половине дня в положении сидя при температуре

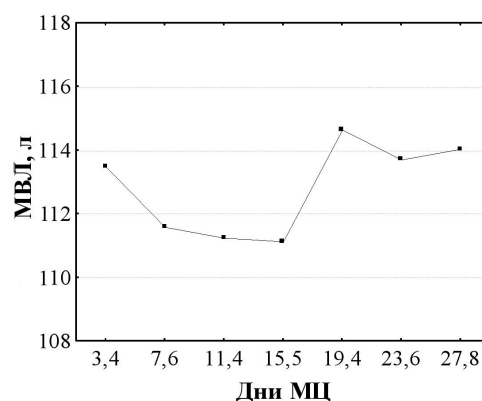
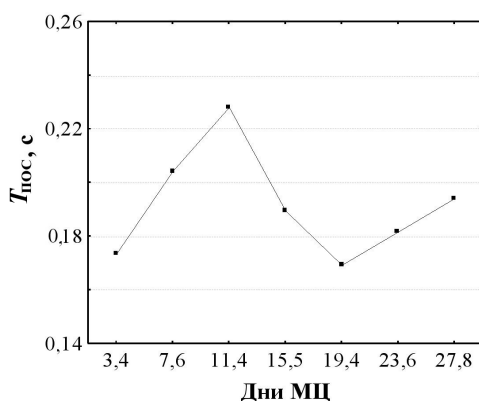
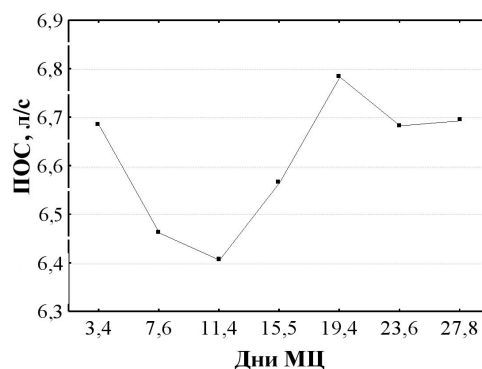
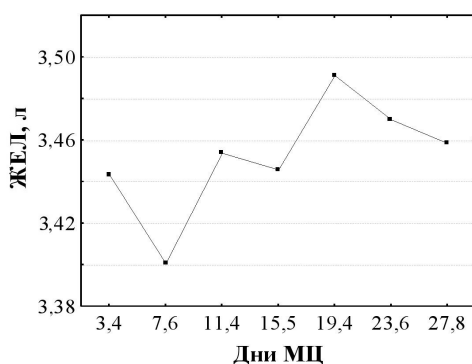
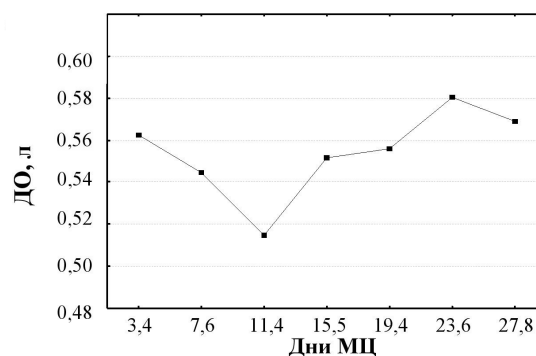
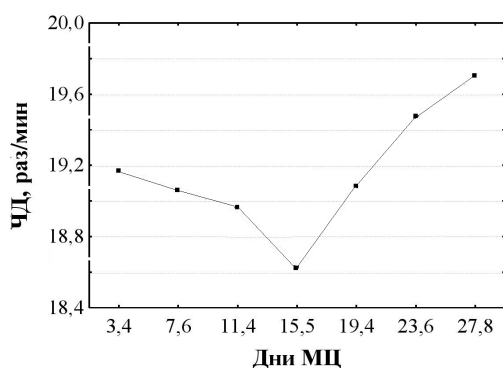
22–25 °С посредством компьютерного спирометра пневмотахометрического типа «Спиро-Спектр» («Нейрософт», Россия). Определяли частоту дыхания (ЧД), дыхательный объем (ДО), минутный объем дыхания (МОД), резервные объемы вдоха и выдоха ($PO_{вд}$, $PO_{выд}$), жизненную емкость легких (ЖЕЛ), форсированную жизненную емкость легких (ФЖЕЛ), резервный объем форсированного выдоха ($PO_{Ф_{выд}}$), пиковую объемную скорость выдоха (ПОС), объем форсированного выдоха до достижения пиковой объемной скорости выдоха ($ОФВ_{ПОС}$), отношение $ОФВ_{ПОС}/ЖЕЛ$, объем форсированного выдоха за первую секунду ($ОФВ_1$), индекс Тиффно ($ОФВ_1/ЖЕЛ$), максимальную объемную скорость при выдохе 75 % ($МОС_{75}$), 50 % ($МОС_{50}$) и 25 % ($МОС_{25}$) ФЖЕЛ, отражающую проводимость бронхов мелкого, среднего и крупного калибров соответственно; среднюю объемную скорость при выдохе от 25 до 75 % ФЖЕЛ ($СОС_{25-75}$), время достижения ПОС ($T_{ПОС}$), время форсированного выдоха ($T_{ФЖЕЛ}$), максимальную вентиляцию легких (МВЛ), дыхательный объем и частоту дыхания в тесте МВЛ ($ДО_{МВЛ}$, $ЧД_{МВЛ}$).

Для статистической обработки исходные данные подготавливали согласно методике, приведенной в работе И.Г. Герасимова и соавт. [1]. По среднему значению длительности МЦ пересчитывали (нормировали) день МЦ. В результате получали нормированные значения у женщин по дням МЦ. Далее производили группировку данных: 1–5-й дни – начало ФФ; 6–9-й дни – середина ФФ; 10–13-й дни – конец ФФ; 14–17-й дни – середина МЦ; 18–21-й дни – начало ЛФ; 22–25-й дни – середина ЛФ; 26–30-й дни – конец ЛФ.

Статистическую обработку проводили при помощи профессионального пакета программ Statistica 7.0. Среднее и его ошибку ($Mean \pm SE$) рассчитывали с доверительной вероятностью $P = 0,95$ ($p = 0,05$). Данные проверяли на нормальность методом Колмогорова–Смирнова. Для выявления различий между параметрами в ходе МЦ использовали критерий знаков (Z).

Результаты. Динамика изученных показателей отражена на *рисунке* и в *таблице*. Полученные данные свидетельствуют о максимальной ЧД в конце ЛФ ($p < 0,01$ при сравнении с серединой МЦ). Этот показатель закономерно

уменьшался до середины МЦ. Исследование изменения ДО в ходе МЦ показало небольшое смещение максимального и минимального значений по сравнению с ЧД: наибольшее значение ДО наблюдалось в середине ЛФ, затем



Наиболее выраженные изменения показателей внешнего дыхания у женщин 20–25 лет в течение менструального цикла

The most pronounced changes in respiratory parameters in women aged 20–25 years during the menstrual cycle

Флуктуации показателей внешнего дыхания у женщин 20–25 лет в разные фазы менструального цикла,
Mean±SE

Fluctuations in respiratory parameters in women aged 20–25 years during different phases of the menstrual cycle,
Mean ± SE

Показатель	Фолликулиновая фаза			Середина цикла	Лютеиновая фаза		
	начало	середина	конец		начало	середина	конец
ДО, л	0,56±0,01	0,54±0,01	0,51±0,01**	0,55±0,01	0,56±0,01	0,58±0,01**	0,57±0,01
ЧД, раз/мин	19,17±0,22	19,06±0,25	18,96±0,24	18,62±0,23**	19,08±0,30	19,47±0,25	19,70±0,27
МОД, л	10,90±0,20	10,41±0,23	9,85±0,23**	10,33±0,22	10,76±0,26	11,42±0,25**	11,17±0,26
ЖЕЛ, л	3,44±0,02	3,40±0,02**	3,45±0,01	3,45±0,01	3,49±0,01**	3,47±0,02	3,46±0,01
РО _{вд} , л	1,20±0,04	1,25±0,03	1,29±0,04*	1,21±0,04	1,16±0,05*	1,23±0,04	1,26±0,04
РО _{выд} , л	1,62±0,06	1,47±0,05	1,45±0,06**	1,47±0,05	1,63±0,07**	1,45±0,07	1,49±0,06
ФЖЕЛ, л	3,33±0,02	3,31±0,02*	3,34±0,02	3,33±0,02	3,37±0,02*	3,33±0,02	3,33±0,02
ОФВ ₁ , л	3,02±0,02	2,92±0,04	2,95±0,03	3,01±0,03	3,07±0,03	2,98±0,04	2,98±0,03
РОФ _{выд} , л	1,46±0,06	1,31±0,05**	1,36±0,06	1,33±0,06	1,35±0,06	1,41±0,07	1,54±0,06**
ОФВ ₁ /ЖЕЛ, %	88,11±0,67	86,36±1,55	85,41±1,07	87,24±0,85	88,77±0,75	86,84±0,94	86,74±0,76
ПОС, л/с	6,68±0,08	6,46±0,08	6,41±0,09**	6,57±0,08	6,78±0,09**	6,68±0,08	6,69±0,07
МОС ₂₅ , л/с	5,83±0,06	5,60±0,07*	5,64±0,07	5,62±0,07	5,84±0,07*	5,61±0,07	5,71±0,07
МОС ₅₀ , л/с	4,31±0,05	4,33±0,04	4,32±0,05	4,31±0,04	4,40±0,04	4,37±0,04	4,31±0,04
МОС ₇₅ , л/с	2,35±0,04	2,41±0,03	2,42±0,04	2,38±0,04	2,36±0,03	2,35±0,03	2,42±0,03
СОС ₂₅₋₇₅ , л/с	3,93±0,04	3,93±0,03	3,95±0,04	3,90±0,03*	3,97±0,03*	3,93±0,03	3,92±0,03
ОФВ _{ПОС} , л	0,58±0,02	0,67±0,03*	0,67±0,03	0,63±0,03	0,56±0,02*	0,60±0,02	0,61±0,02
ОФВ _{ПОС} /ЖЕЛ, %	17,60±0,52	19,95±0,77*	19,83±0,77	18,99±0,83	17,38±0,84*	17,83±0,67	18,42±0,72
T _{ПОС} , с	0,17±0,01	0,20±0,01	0,23±0,02*	0,19±0,01	0,17±0,01*	0,18±0,01	0,19±0,02
T _{ФЖЕЛ} , с	1,63±0,03	1,65±0,04*	1,62±0,03	1,64±0,04	1,57±0,03*	1,61±0,04	1,65±0,04
МВЛ, л	113,48±1,44	111,59±1,41	111,25±1,45	111,13±1,16*	114,64±1,47*	113,70±1,49	114,04±1,54
ДО _{МВЛ} , л	2,13±0,03	2,25±0,03	2,28±0,03	2,23±0,03	2,20±0,03	2,24±0,04	2,23±0,03
ЧД _{МВЛ} , раз/мин	53,78±0,89	51,08±0,91	50,25±0,98**	50,90±0,83	53,58±1,04**	52,44±0,91	52,41±1,18

Примечание. Установлены статистически значимые различия (по критерию Z): * – при $p < 0,05$; ** – при $p < 0,01$.

данный параметр постепенно снижался, достигая минимума к концу ФФ ($p < 0,01$). Изменение МОД, являющегося производным показателем от ЧД и ДО, соответствовало динамике ДО: с максимумом к середине ЛФ и минимальным значением к концу ФФ ($p < 0,01$).

ЖЕЛ в течение МЦ изменялась следующим образом: наибольшее значение было характер-

но для начала ЛФ, затем ЖЕЛ постепенно снижалась, достигая минимального значения к середине ФФ ($p < 0,01$ при сравнении с началом ЛФ). В конце ФФ отмечалось увеличение РО_{вд} и уменьшение РО_{выд}. Постепенно снижаясь (РО_{вд}) или повышаясь (РО_{выд}), показатели достигали своего минимума (РО_{вд}) или максимума (РО_{выд}) в начале ЛФ МЦ ($p < 0,05$ и $p < 0,01$ соответственно при сравнении с концом ФФ).

Отмечено повышение ФЖЕЛ к началу ЛФ. Снижение данного параметра наблюдалось в середине ФФ ($p < 0,05$ при сравнении с началом ЛФ). РОФ_{выд} характеризовался наименьшим значением в середине ФФ. Увеличение данного параметра произошло в конце ЛФ ($p < 0,01$ при сравнении с серединой ФФ).

Анализ изменения показателя ПОС, отражающего проводимость бронхов, свидетельствует о его повышении к началу ЛФ, в то время как минимальное значение наблюдалось в конце ФФ ($p < 0,01$ при сравнении с началом ЛФ). Аналогичную динамику имели и другие параметры проводимости бронхов: ОФВ₁ и ОФВ₁/ЖЕЛ.

Изучение МВЛ выявило относительно большее значение данного показателя в начале ЛФ МЦ. К середине МЦ происходило статистически значимое снижение МВЛ ($p < 0,05$ при сравнении с началом ЛФ). Частота дыхания при выполнении теста на МВЛ была наименьшей в конце ФФ. В начале ЛФ наблюдалось достоверно большее значение ЧД_{МВЛ} чем в конце ФФ ($p < 0,01$), что соответствовало динамике МВЛ.

Важнейшим критерием, характеризующим эффективность газотранспортной функции легких, является проводимость бронхов разного калибра. Исследование позволило выявить достоверное увеличение проводимости лишь крупных бронхов в раннюю ЛФ ($p < 0,05$ при сравнении с серединой ФФ).

СОС₂₅₋₇₅ практически не менялась на протяжении всего МЦ, кроме его середины, когда наблюдалось достоверное уменьшение данного параметра ($p < 0,05$ при сравнении с началом ЛФ).

Исследование ОФВ_{пос} и ОФВ_{пос}/ЖЕЛ показало их увеличение к середине ФФ с последующим снижением к началу ЛФ ($p < 0,05$).

Анализ временных показателей функционирования системы внешнего дыхания в разные фазы МЦ указывает на наименьшее время выполнения дыхательных маневров в тестах на ПОС и ФЖЕЛ в начале ЛФ. $T_{пос}$ характеризует степень форсирующего дыхания усилий, в связи с чем наибольшее значение $T_{пос}$ наблюдалось в конце ФФ ($p < 0,05$ при сравнении с началом ЛФ), при минимальном значении ПОС. Время вы-

полнения теста на ФЖЕЛ ($T_{ФЖЕЛ}$) также характеризовалось большим значением в середине ФФ МЦ по сравнению с началом ЛФ ($p < 0,05$).

Обсуждение. Обследование 15 практически здоровых женщин выявило достоверные изменения как статических, так и динамических показателей внешнего дыхания в течение МЦ. Полученные данные подтверждают результаты других авторов: было обнаружено увеличение ОФВ₁ [2–4, 8, 12, 13], ФЖЕЛ [2–4, 12, 13], СОС₂₅₋₇₅ [8], МВЛ [13, 14], ДО [14], ПОС [5, 6, 13, 15] в ЛФ по сравнению с ФФ, а также ФЖЕЛ и ОФВ₁ [3, 10], ПОС [5, 6, 10], ОФВ₁/ЖЕЛ [10] в ЛФ по сравнению с менструальной фазой. Такие изменения можно связать с ростом потребления кислорода, понижением рН крови, гипервентиляцией, сопровождающейся повышенным уровнем прогестерона, в ЛФ МЦ [1].

Регуляторные эффекты прогестерона изучены недостаточно. Показано, что данный гормон снижает сократительную способность гладкой мускулатуры бронхов и способствует ее расслаблению [6, 16], положительно влияет на пиковую скорость выдоха во время ЛФ МЦ. Обнаружена возможность бронхорасширяющего действия прогестерона [10], а также положительное влияние прогестерона и эстрогена на растяжимость дыхательной мускулатуры и релаксацию гладкой мускулатуры бронхиол. Прогестерон воздействует на гипервентиляцию через центральные и периферические рецепторы [6], что проявляется в повышении ЧД в ЛФ и при беременности. В настоящем исследовании было установлено увеличение показателей внешнего дыхания в ЛФ по сравнению с ФФ, что подтверждается концепцией предменструальной астмы [17]. Данную гипотезу также доказывают исследования S.S. Resmi et al. [18], изучавших влияние приема оральных контрацептивов на респираторную функцию и показавших достоверное увеличение ЖЕЛ, ПОС и снижение ОФВ₁/ФЖЕЛ при приеме данных препаратов, что может быть связано с синтетической формой прогестерона в оральных контрацептивах, которая

вызывает гипервентиляционные изменения. L.M. Redman et al. [19] также выявили более высокие значения МВЛ в ЛФ МЦ по сравнению с другими фазами, причем данный прирост был обусловлен увеличением ДО, тогда как ЧД не менялась в ходе МЦ, что согласуется с результатами настоящего исследования.

Таким образом, отсутствие изменения механики легких, увеличение вентиляции и инспираторного потока в ЛФ позволяет предположить возможную роль прогестерона в стимуляции дыхания – либо централизованно, либо через периферические хеморецепторы, либо обоими путями.

Несмотря на то, что имеется множество данных, свидетельствующих об изменении показателей внешнего дыхания в течение МЦ, ряд исследователей указывает на отсутствие достоверных различий ЧД [13, 14, 18], МВЛ [9, 20], ФЖЕЛ, ОФВ₁ [2, 9, 14], ОФВ₁/ФЖЕЛ [8, 9, 21], СОС₂₅₋₇₅ [9], МОС₅₀, МОС₇₅, ПОС и РО_{вд} [2] у женщин в разные его фазы. Подобные несовпадения результатов могут быть обусловлены различиями в возрастном составе [6, 8, 12, 19], исходном функциональном состоянии обследуемых женщин [4, 8, 9] и подготовке (нормировании) исходных данных для статистической обработки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Герасимов И.Г., Приходько Е.Н. Динамика рН крови в менструальном цикле женщин // Физиология человека. 1996. Т. 22, № 5. С. 138–139.
2. Mannan S.R., Begum N., Begum S., Ferdousi S., Ali T. Relationship of Forced Vital Capacity (FVC), Forced Expiratory Volume in First Second (FEV₁) and FEV₁/FVC% with Plasma Progesterone Level During Different Phases of Normal Menstrual Cycle // J. Bangladesh Soc. Physiol. 2007. Vol. 2. P. 7–12. <https://doi.org/10.3329/jbsp.v2i0.976>
3. Soni R. Study of Pulmonary Function Test in Normal Females in Different Phases of Menstrual Cycle // IOSR-JDMS. 2019. Vol. 18, № 8. P. 30–33.
4. Tayal B.B., Tayal N., Tayal K., Tayal U. Study of Pulmonary Function Test in Females of Reproductive Age Group Around National Capital Region at a Tertiary Care Center // Int. J. Life Sci. Biotechnol. Pharma Res. 2023. Vol. 12, № 3. P. 2165–2168.
5. Dash S., Jena S.K., Behera S. Cyclical Changes of Peak Expiratory Flow Rate in Healthy Young Females // APIK J. Intern. Med. 2023. Vol. 12, № 4. P. 237–240. https://doi.org/10.4103/ajim.ajim_93_23
6. Shrestha R., Yadav B.P., Shrestha E., Manna S. Effect of Different Phases of Menstrual Cycle on Cardio-Respiratory Efficiency in Normal, Overweight and Obese Female Undergraduate Students: An Original Research // Indian J. Basic Appl. Med. Res. 2021. Vol. 10, № 4. P. 228–235.
7. Ying S., Wang Z., Wang C., Nie H., He D., Jia R., Wu Y., Wan Y., Zhou Z., Yan Y., Zhang Y., Wang F. Effect of Different Levels of Short-Term Feed Intake on Folliculogenesis and Follicular Fluid and Plasma Concentrations of Lactate Dehydrogenase, Glucose, and Hormones in Hu Sheep During the Luteal Phase // Reproduction. 2011. Vol. 142, № 5. P. 699–710. <https://doi.org/10.1530/REP-11-0229>
8. Arora D., Kaur P., Arora M., Gupta U. Influence of Three Phases of Menstrual Cycle on Pulmonary Functions // Indian J. Appl. Pure Biol. 2012. Vol. 27, № 1. P. 127–132.
9. Kaygisiz Z., Erkasap N., Soydan M. Cardiorespiratory Responses to Submaximal Incremental Exercise Are Not Affected by One Night's Sleep Deprivation During the Follicular and Luteal Phases of the Menstrual Cycle // Indian J. Physiol. Pharmacol. 2003. Vol. 47, № 3. P. 279–287.
10. Khan H.S., Shaikh S.N., Bai K., Channa R., Shaikh A.H. Variations in Pulmonary Function in Relation with the Menstrual Cycle in Healthy Adult Female // Ann. Pak. Inst. Med. Sci. 2022. Vol. 18, № 1. P. 36–40. <https://doi.org/10.48036/apims.v18i1.643>

11. Радьш И.В., Коротева Т.В. Динамика показателей кардиореспираторной системы у женщин в различные сезоны года // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. 2010. № 12-1(118). С. 102–107.
12. Priya V., Palani S. Variation in Pulmonary Functions with Different Phases of Menstrual Cycle // Indian J. Basic Appl. Med. Res. 2020. Vol. 9, № 3. P. 212–213.
13. Talukdar A., Baishya R., Das B. Spirometric Evaluation of Lung Function in Different Phases of Menstrual Cycle // Int. J. Med. Public Health. 2025. Vol. 15, № 1. P. 6–8.
14. Das T.K. Effects of the Menstrual Cycle on Timing and Depth of Breathing at Rest // Indian J. Physiol. Pharmacol. 1998. Vol. 42, № 4. P. 498–502.
15. Prarthana K.G., Suja P., Nayanatara A.K., Adarsh S., Chaitra U. Association of Serum Progesterone Level, Peak Expiratory Flow Rate and Obesity in Healthy Young Women // Clin. ter. 2024. Vol. 175, № 5. P. 287–290.
16. LoMauro A., Aliverti A. Sex and Gender in Respiratory Physiology // Eur. Respir. Rev. 2021. Vol. 30, № 162. Art. № 210038. <https://doi.org/10.1183/16000617.0038-2021>
17. Farha S., Asosingh K., Laskowski D., Hammel J., Dweik R.A., Wiedemann H.P., Erzurum S.C. Effects of the Menstrual Cycle on Lung Function Variables in Women with Asthma // Am. J. Respir. Crit. Care Med. 2009. Vol. 180, № 4. P. 304–310. <https://doi.org/10.1164/rccm.200904-0497OC>
18. Resmi S.S., Samuel E., Kesavachandran C., Shashidhar S. Effect of Oral Contraceptives on Respiratory Function // Indian J. Physiol. Pharmacol. 2002. Vol. 46, № 3. P. 361–366.
19. Redman L.M., Scroop G.C., Norman R.J. Impact of Menstrual Cycle Phase on the Exercise Status of Young, Sedentary Women // Eur. J. Appl. Physiol. 2003. Vol. 90, № 5-6. P. 505–513. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0889-0>
20. Matsuo H., Katayama K., Ishida K., Muramatsu T., Miyamura M. Effect of Menstrual Cycle and Gender on Ventilatory and Heart Rate Responses at the Onset of Exercise // Eur. J. Appl. Physiol. 2003. Vol. 90, № 1-2. P. 100–108. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0873-8>
21. Naik S.K., Nath S.S., Swagatika S., Rath B., Pandey M. Comparison of Pulmonary Function Test Between Pre-Ovulatory and Post-Ovulatory Phases of Menstrual Cycle // Natl. J. Physiol. Pharm. Pharmacol. 2023. Vol. 13, № 8. P. 1761–1764. <https://doi.org/10.5455/njppp.2023.13.07339202315072023>

References

1. Gerasimov I.G., Prikhod'ko E.N. Dinamika pH krovi v menstrual'nom tsikle zhenshchin [Blood pH Dynamics During the Menstrual Cycle in Women]. *Fiziologiya cheloveka*, 1996, vol. 22, no. 5, pp. 138–139.
2. Mannan S.R., Begum N., Begum S., Ferdousi S., Ali T. Relationship of Forced Vital Capacity (FVC), Forced Expiratory Volume in First Second (FEV₁) and FEV₁/FVC% with Plasma Progesterone Level During Different Phases of Normal Menstrual Cycle. *J. Bangladesh Soc. Physiol.*, 2007, vol. 2, pp. 7–12. <https://doi.org/10.3329/jbsp.v2i0.976>
3. Soni R. Study of Pulmonary Function Test in Normal Females in Different Phases of Menstrual Cycle. *IOSR-JDMS*, 2019, vol. 18, no. 8, pp. 30–33.
4. Tayal B.B., Tayal N., Tayal K., Tayal U. Study of Pulmonary Function Test in Females of Reproductive Age Group Around National Capital Region at a Tertiary Care Center. *Int. J. Life Sci. Biotechnol. Pharma Res.*, 2023, vol. 12, no. 3, pp. 2165–2168.
5. Dash S., Jena S.K., Behera S. Cyclical Changes of Peak Expiratory Flow Rate in Healthy Young Females. *APIK J. Intern. Med.*, 2023, vol. 12, no. 4, pp. 237–240. https://doi.org/10.4103/ajim.ajim_93_23
6. Shrestha R., Yadav B.P., Shrestha E., Manna S. Effect of Different Phases of Menstrual Cycle on Cardio-Respiratory Efficiency in Normal, Overweight and Obese Female Undergraduate Students: An Original Research. *Indian J. Basic Appl. Med. Res.*, 2021, vol. 10, no. 4, pp. 228–235.
7. Ying S., Wang Z., Wang C., Nie H., He D., Jia R., Wu Y., Wan Y., Zhou Z., Yan Y., Zhang Y., Wang F. Effect of Different Levels of Short-Term Feed Intake on Folliculogenesis and Follicular Fluid and Plasma Concentrations of Lactate Dehydrogenase, Glucose, and Hormones in Hu Sheep During the Luteal Phase. *Reproduction*, 2011, vol. 142, no. 5, pp. 699–710. <https://doi.org/10.1530/REP-11-0229>
8. Arora D., Kaur P., Arora M., Gupta U. Influence of Three Phases of Menstrual Cycle on Pulmonary Functions. *Indian J. Appl. Pure Biol.*, 2012, vol. 27, no. 1, pp. 127–132.
9. Kaygisiz Z., Erkasap N., Soydan M. Cardiorespiratory Responses to Submaximal Incremental Exercise Are Not Affected by One Night's Sleep Deprivation During the Follicular and Luteal Phases of the Menstrual Cycle. *Indian J. Physiol. Pharmacol.*, 2003, vol. 47, no. 3, pp. 279–287.

10. Khan H.S., Shaikh S.N., Bai K., Channa R., Shaikh A.H. Variations in Pulmonary Function in Relation with the Menstrual Cycle in Healthy Adult Female. *Ann. Pak. Inst. Med. Sci.*, 2022, vol. 18, no. 1, pp. 36–40. <https://doi.org/10.48036/apims.v18i1.643>
11. Radysh I.V., Koroteeva T.V. Dinamika pokazateley kardiorespiratornoy sistemy u zhenshchin v razlichnye sezony goda [The Dynamics of the Indices of Cardiorespiratory System in Women in Different Seasons of Year]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2010, no. 12-1, pp. 102–107.
12. Priya V., Palani S. Variation in Pulmonary Functions with Different Phases of Menstrual Cycle. *Indian J. Basic Appl. Med. Res.*, 2020, vol. 9, no. 3, pp. 212–213.
13. Talukdar A., Baishya R., Das B. Spirometric Evaluation of Lung Function in Different Phases of Menstrual Cycle. *Int. J. Med. Public Health*, 2025, vol. 15, no. 1, pp. 6–8.
14. Das T.K. Effects of the Menstrual Cycle on Timing and Depth of Breathing at Rest. *Indian J. Physiol. Pharmacol.*, 1998, vol. 42, no. 4, pp. 498–502.
15. Prarthana K.G., Suja P., Nayanatara A.K., Adarsh S., Chaitra U. Association of Serum Progesterone Level, Peak Expiratory Flow Rate and Obesity in Healthy Young Women. *Clin. ter.*, 2024, vol. 175, no. 5, pp. 287–290. <https://doi.org/10.7417/ct.2024.5132>
16. LoMauro A., Aliverti A. Sex and Gender in Respiratory Physiology. *Eur. Respir. Rev.*, 2021, vol. 30, no. 162. Art. no. 210038. <https://doi.org/10.1183/16000617.0038-2021>
17. Farha S., Asosingh K., Laskowski D., Hammel J., Dweik R.A., Wiedemann H.P., Erzurum S.C. Effects of the Menstrual Cycle on Lung Function Variables in Women with Asthma. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 2009, vol. 180, no. 4, pp. 304–310. <https://doi.org/10.1164/rccm.200904-0497OC>
18. Resmi S.S., Samuel E., Kesavachandran C., Shashidhar S. Effect of Oral Contraceptives on Respiratory Function. *Indian J. Physiol. Pharmacol.*, 2002, vol. 46, no. 3, pp. 361–366.
19. Redman L.M., Scroop G.C., Norman R.J. Impact of Menstrual Cycle Phase on the Exercise Status of Young, Sedentary Women. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2003, vol. 90, no. 5-6, pp. 505–513. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0889-0>
20. Matsuo H., Katayama K., Ishida K., Muramatsu T., Miyamura M. Effect of Menstrual Cycle and Gender on Ventilatory and Heart Rate Responses at the Onset of Exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2003, vol. 90, no. 1-2, pp. 100–108. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0873-8>
21. Naik S.K., Nath S.S., Swagatika S., Rath B., Pandey M. Comparison of Pulmonary Function Test Between Pre-Ovulatory and Post-Ovulatory Phases of Menstrual Cycle. *Natl. J. Physiol. Pharm. Pharmacol.*, 2023, vol. 13, no. 8, pp. 1761–1764. <https://doi.org/10.5455/njppp.2023.13.07339202315072023>

Поступила в редакцию 08.05.2025 / Одобрена после рецензирования 24.11.2025 / Принята к публикации 27.11.2025
Submitted 8 May 2025 / Approved after reviewing 24 November 2025 / Accepted for publication 27 November 2025



Научная статья

УДК 591.144

DOI: 10.37482/2687-1491-Z276

Развитие тимуса в ходе раннего постнатального периода у цыплят при введении в рацион антибиотика и пробиотика

Антон Алексеевич Болгов* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9708-8181>

Лилия Викторовна Корокина* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4115-1564>

Ксения Александровна Бочарова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5540-924X>

Ульяна Александровна Круть* ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6341-9750>

Марина Сергеевна Потапова* ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4642-0412>

Галина Михайловна Шайдорова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9467-027X>

Андрей Андреевич Присный* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5229-8337>

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет
(Белгород, Россия)

Аннотация. Проблема поиска альтернатив антимикробным препаратам в птицеводстве напрямую связана с обеспечением биобезопасности и качества пищевой продукции для человека. **Цель** работы – дать комплексную характеристику развития тимуса у цыплят яичного кросса в ранний постнатальный период и оценить влияние на этот процесс пробиотика и антибиотика. **Материалы и методы.** Исследование проведено на поголовье ($N = 100$) цыплят-петушков кросса Хайсекс Браун с 1-х по 20-е сутки жизни при 4 рационах питания: стандартном (контроль), с добавлением пробиотика, антибиотика (энрофлоксацин) и их комбинации. Тимус цыплят изучался методами макроскопической морфометрии и световой микроскопии. **Результаты.** Исследование выявило значимое увеличение массы тимуса во всех опытных группах по сравнению с контрольной. В тимусе цыплят, получавших пробиотический микроорганизм, к 20-м суткам наблюдалось усложнение гистоархитектоники с четким разграничением зон, появлением телец Гассалья и развитой васкуляризацией мозгового вещества, а также значимое увеличение относительной площади мозговой зоны (до 43,40 %). Группа, получавшая энрофлоксацин, демонстрировала менее выраженные изменения: относительная площадь мозговой зоны на 20-й день составила 40,76 %, что практически не отличалось от контрольной группы (40,73 %). Относительная площадь мозговой зоны в группе, получавшей энрофлоксацин и пробиотик, к 20-м суткам значимо увеличилась до 46,5 %. Динамика относительных площадей корковой и мозговой зон тимуса у цыплят яичного кросса демонстрирует сильную зависимость развития этого органа от рациона питания. Стабильное, но низкое развитие мозговой зоны при преобладании корковой зоны в контрольной группе может указывать на недостаточную стимуляцию иммунной

© Болгов А.А., Корокина Л.В., Бочарова К.А., Круть У.А., Потапова М.С., Шайдорова Г.М., Присный А.А., 2026

Ответственный за переписку: Ульяна Александровна Круть, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85а;
e-mail: krut@bsuedu.ru

функции в условиях стандартного рациона. Значительное увеличение относительной площади мозговой зоны и снижение площади корковой зоны в группах, получавших пробиотический микроорганизм, подчеркивают положительное влияние рационов с пробиотиками на развитие тимуса, что может способствовать улучшению функциональной активности данного органа и иммунного ответа организма.

Ключевые слова: тимус, цыплята яичного кросса, ранний постнатальный онтогенез, возрастная динамика морфометрических показателей, возрастная динамика гистологической структуры, стимуляция иммунного ответа

Финансирование. Исследование проведено в рамках государственного задания FZWG-2023-0007 «Адаптивные реакции микроорганизмов: теоретические и прикладные аспекты».

Для цитирования: Развитие тимуса в ходе раннего постнатального периода у цыплят при введении в рацион антибиотика и пробиотика / А. А. Болгов, Л. В. Корокина, К. А. Бочарова, У. А. Круть, М. С. Потапова, Г. М. Шайдорова, А. А. Присный // Журнал медико-биологических исследований. – 2026. – Т. 14, № 1. – С. 52-60. – DOI 10.37482/2687-1491-Z276.

Original article

Thymus Development in the Early Postnatal Period in Chicks When an Antibiotic and a Probiotic Are Introduced into the Diet

Anton A. Bolgov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9708-8181>

Liliya V. Korokina* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4115-1564>

Ksenia A. Bocharova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5540-924X>

Ulyana A. Krut* ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6341-9750>

Marina S. Potapova* ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4642-0412>

Galina M. Shaidorova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9467-027X>

Andrey A. Prisnyi* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5229-8337>

*Belgorod State National Research University
(Belgorod, Russia)

Abstract. Finding alternatives to antimicrobials in poultry farming is crucial to ensuring biosafety and food quality for humans. The **purpose** of this article was to provide a comprehensive description of thymus development in chicks of a hybrid egg-laying breed in the early postnatal period and to evaluate the effect of probiotics and antibiotics on this process. **Materials and methods.** The research focused on Hisex Brown cockerels ($n = 100$) from day 1 to day 20 of life fed on 4 different diets: standard diet (control), diet with a probiotic, diet with an antibiotic (enrofloxacin) and diet with their combination. Chicks' thymus was studied using macroscopic morphometry and light microscopy. **Results.** The research demonstrated a significant increase in thymus weight in all the experimental groups compared to the control. In animals treated with a probiotic microorganism, by day 20 the histoarchitectonics in the thymus had become more complicated, with a clear delineation of the regions,

Corresponding author: Ulyana Krut, address: ul. Pobedy 85a, Belgorod, 308015, Russia; e-mail: krut@bsuedu.ru

formation of Hassal's corpuscles, and developed vascularization of the medulla as well as a significant increase in the relative area of the medulla (up to 43.40 %). The group that was given enrofloxacin showed less pronounced changes: the relative area of the medulla on day 20 was 40.76 %, which was virtually the same as in the control group (40.73 %). In the group that received enrofloxacin and a probiotic, by day 20 the relative area of the medulla had increased statistically significantly and reached 46.5 %. The dynamics of the relative areas of the cortex and medulla in the thymus of Hisex Brown chicks demonstrates a strong influence of the diet on the development of this organ. In the control group, we observed a stable but low development of the medulla, with the predominance of the cortex, which may indicate insufficient stimulation of the immune function on a standard diet. The groups that received a probiotic microorganism demonstrated a significant increase in the relative area of the medulla and a decrease in the area of the cortex. This emphasizes the positive effect of the diets with probiotics on the development of the thymus, which may improve the functional activity of this organ and the body's immune response.

Keywords: *thymus, egg-laying hybrid chickens, early postnatal ontogenesis, age-specific morphometry dynamics, age-specific histological structure dynamics, immune response stimulation*

Funding. The research was funded within the framework of the state assignment FZWG-2023-0007 "Adaptive Responses of Microorganisms: Theoretical and Applied Aspects".

For citation: Bolgov A.A., Korokina L.V., Bocharova K.A., Krut U.A., Potapova M.S., Shaidorova G.M., Prisnyi A.A. Thymus Development in the Early Postnatal Period in Chicks When an Antibiotic and a Probiotic Are Introduced into the Diet. *Journal of Medical and Biological Research*, 2026, vol. 14, no. 1, pp. 52–60. DOI: 10.37482/2687-1491-Z276

Исследование закономерностей постнатального развития центральных органов иммунной системы, к которым относится тимус, является фундаментальной проблемой физиологии человека и животных [1–5]. Тимус как первичный лимфоидный орган обеспечивает дифференцировку, селекцию и клональную экспансию Т-лимфоцитов, тем самым закладывая основу для формирования адекватного иммунного ответа на протяжении всей жизни организма [3, 4]. Ранний постнатальный период онтогенеза характеризуется наиболее интенсивными процессами морфофункциональной перестройки тимуса, что делает его критически важным для изучения механизмов становления иммунной компетентности.

Особый интерес представляет сравнительно-физиологический аспект изучения тимуса у сельскохозяйственной птицы. Несмотря на филогенетические различия, основные принципы организации и функционирования Т-клеточного компартмента у млекопитающих и птиц носят консервативный характер [5]. Это позволяет использовать модель цыпленка не только для решения прикладных задач птице-

водства, но и как ценную биологическую модель для понимания общих физиологических закономерностей лимфопоэза.

В контексте физиологии ключевое значение имеет оценка динамики абсолютной и относительной массы тимуса, а также гистологическое исследование соотношения в нем коркового и мозгового вещества, появления структурных элементов (таких как тельца Гассала), что служит индикатором функциональной зрелости указанного органа [2, 4]. Подобные исследования создают необходимую базу для последующего изучения клеточного состава тимуса, профиля цитокинов и функциональной активности тимоцитов.

Таким образом, комплексное морфометрическое и гистологическое исследование возрастной динамики тимуса в раннем постнатальном онтогенезе у цыплят представляется актуальной задачей, выполнение которой важно для общеприкладного понимания процессов становления иммунной системы.

Цель настоящей работы – комплексное описание возрастной динамики морфометрических показателей и гистологической структуры тимуса у цыплят яичного кросса в раннем

постнатальном онтогенезе (с 1-х по 20-е сутки) при использовании антибиотика и пробиотика.

Материалы и методы. Эксперимент проведен на базе вивария Белгородского филиала Федерального научного центра – Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук. Все процедуры соответствовали требованиям Директивы 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22 сентября 2010 года по охране животных, используемых в научных целях. В качестве объекта исследования использовались суточные цыплята-петушки яичного кросса Хайсекс Браун в общем количестве 100 голов.

Все цыплята были разделены на группы, и для каждой была подобрана схема рациона питания:

1-я группа (контроль; $n = 25$): стандартный рацион (зерно, комбикорм, вода);

2-я группа ($n = 25$): стандартный рацион + выпаивание пробиотиком (штамм бактерии *Bacillus subtilis* ВКМ В3701D) в дозировке 0,05 мл суспензии на 1 кг массы тела животного (в 1 мл суспензии 10^9 КОЕ) с 1-х по 20-е сутки;

3-я группа ($n = 25$): стандартный рацион + выпаивание энрофлоксацином в дозе 200 мг/л первые 5 сут.;

4-я группа ($n = 25$): стандартный рацион + выпаивание первые 5 сут. энрофлоксацином, с 6-х по 20-е сутки – пробиотиком (штамм бактерии *Bacillus subtilis* ВКМ В3701D, 0,05 мл суспензии на 1 кг массы тела животного).

Забой цыплят производился на 1-е, 5-е, 10-е и 20-е сутки для изучения гистологических и морфометрических показателей тимуса, в этот же временной интервал измерялась масса тела животных и масса указанного органа.

Извлеченные органы после макроскопического исследования и взвешивания фиксировались в 10 %-м растворе забуференного нейтрального формалина для дальнейшего гистологического анализа. Проводка образцов выполнялась с использованием батареи из этилового спирта и хлороформа с последующей

парафинизацией при помощи аппарата для гистологической обработки биологических тканей TLP-144 (MT Point Technology, Россия). Заливка блоков со стандартной ориентацией кусочков проводилась на станции для заливки биологического материала ESD-2800-M (MT Point Technology, Россия). Срезы толщиной 5 мкм изготавливались на полуавтоматическом ротационном микротоме с системой транспортировки и расправления срезов RMD-3000 (MT Point Technology, Россия). Окраска осуществлялась гематоксилином и эозином (Labiko, Россия).

Основная часть морфологического исследования выполнена после создания электронной галереи изображений с помощью полуавтоматического сканера микропрепарата Mirax Desk (Carl Zeiss Microimaging GmbH, Германия), что позволило максимально стандартизировать режимы морфометрического исследования. Увеличение сканирующего объектива составило $\times 20$. Цифровое увеличение на микрофотографиях и изображениях при анализе варьировало от $\times 20$ (при отсутствии программного увеличения) до $\times 800$ (при 40-кратном программном увеличении). На полученных срезах измерялось соотношение коркового и мозгового вещества. Измерения проводились с помощью сетки Автандилова.

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием программы SPSS Statistics 17.0. Нормальность распределения количественных признаков в группах проверялась с помощью критерия Шапиро–Уилка. Для сравнения показателей между группами применялся однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим пост-хок тестом Тьюки для данных, имеющих нормальное распределение и равные дисперсии. В случае отклонения от нормальности распределения использовался непараметрический критерий Краскела–Уоллиса с последующим попарным сравнением по критерию Манна–Уитни с поправкой Бонферрони. Данные представлены в виде среднего арифметического и стандартной ошибки среднего ($M \pm m$). Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. На 1-е сутки, до начала применения исследуемых добавок, достоверных различий в абсолютной и относительной массе тимуса, а также в массе тела цыплят между группами не наблюдалось ($p > 0,05$), что подтверждает исходную однородность сформированных групп. В ходе эксперимента была установлена четкая возрастная динамика роста тимуса у цыплят всех опытных групп (см. таблицу).

Абсолютная масса органа прогрессивно увеличивалась на протяжении всего изучаемого периода: с $0,23 \pm 0,03$ г на 1-е сутки до $3,76$ – $4,06$ г на 20-е сутки. При этом относительная масса тимуса, достигнув максимума к 5–10-м суткам ($1,41$ – $1,92$ и $2,25$ – $2,68$ % соответственно), к 20-м суткам демонстрировала тенденцию к снижению до значений $2,18$ – $2,43$ %, что отражает общие закономерности постнатального развития лимфоидных органов и опережающий рост

тела по сравнению с тимусом в более поздние периоды онтогенеза [6–8].

Статистический анализ динамики массы тимуса у цыплят яичного кросса с учетом различных рационов питания показывает, что введение пробиотического микроорганизма (2-я группа) и его комбинация с энрофлоксацином (4-я группа) привели к достоверному увеличению массы тимуса по сравнению с контрольной группой. На 20-й день абсолютная масса тимуса во 2-й группе составила $4,02$ г, что на $0,26$ г (или $6,9$ %) больше, чем в контрольной ($3,76$ г; $p < 0,01$). Четвертая группа показала аналогичный результат с массой тимуса $4,01$ г, что также на $0,25$ г (или $6,6$ %) выше, чем в контрольной группе.

В 3-й группе, где в рацион вводился только энрофлоксацин, на 20-е сутки масса тимуса составила $4,06$ г, т. е. на $0,30$ г (или 8 %) больше, чем в контрольной, что также может сви-

Возрастная (1–20-е сутки) динамика массы тела и тимуса у цыплят яичного кросса в зависимости от рациона питания ($M \pm m$)

Age-specific (days 1–20) dynamics of body and thymus weight in chicks of a hybrid egg-laying breed depending on the diet ($M \pm m$)

Сутки	1-я группа	2-я группа	3-я группа	4-я группа
<i>Масса тела ($M \pm m$), г</i>				
1-е	$38,80 \pm 0,07$	$38,50 \pm 0,82$	$38,20 \pm 0,90$	$38,60 \pm 1,00$
5-е	$53,03 \pm 1,26$	$48,99 \pm 0,85^{**}$	$51,80 \pm 1,74$	$46,12 \pm 2,08^{***}$
10-е	$67,33 \pm 2,11$	$80,44 \pm 2,84^{***}$	$81,58 \pm 3,83^{***}$	$79,26 \pm 2,55^{**}$
20-е	$155,24 \pm 8,39$	$183,74 \pm 5,17^{***}$	$180,82 \pm 4,75^{***}$	$165,16 \pm 5,80$
<i>Абсолютная масса тимуса ($M \pm m$), г</i>				
1-е	$0,22 \pm 0,03$	$0,23 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,03$	$0,24 \pm 0,02$
5-е	$0,75 \pm 0,02$	$0,88 \pm 0,04$	$0,98 \pm 0,04^{***}$	$0,89 \pm 0,03$
10-е	$1,81 \pm 0,02$	$1,85 \pm 0,03^*$	$1,84 \pm 0,03$	$1,81 \pm 0,04$
20-е	$3,76 \pm 0,09$	$4,02 \pm 0,12^{**}$	$4,06 \pm 0,12^{**}$	$4,01 \pm 0,06^{**}$
<i>Относительная масса тимуса, %</i>				
1-е	0,59	0,62	0,60	0,58
5-е	1,41	1,79	1,89	1,92
10-е	2,68	2,30	2,25	2,28
20-е	2,42	2,18	2,24	2,43

Примечание. Анализировались по 6 животных каждой группы на каждом этапе исследования; *, **, *** – установлена статистическая значимость отличий от группы контроля (1-я группа) в том же возрасте при $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$ соответственно.

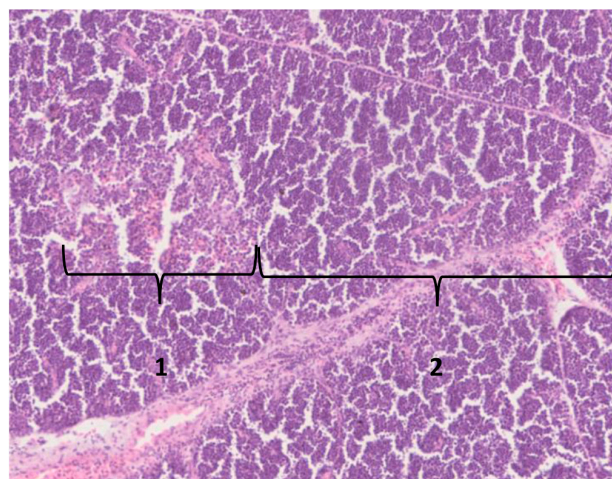
детельствовать о влиянии антибиотика на развитие иммунных органов.

При обзорной микроскопии у цыплят яичного кросса выявлены две зоны вещества тимуса – корковая и мозговая (рис. 1). Кортикковое вещество представлено плотными полями гиперхромных лимфоцитов с одиночными просветлениями в виде дендритных клеток. Мозговое вещество – более светлая зона, заполненная макрофагами, эпителиоидными клетками и значительно меньшим количеством лимфоцитов. Также в мозговом веществе визуализируются большое количество тонкостенных кровеносных сосудов и тельца Гассалья (тимические тельца) – концентрические эпителиоидные гнездовые структуры.

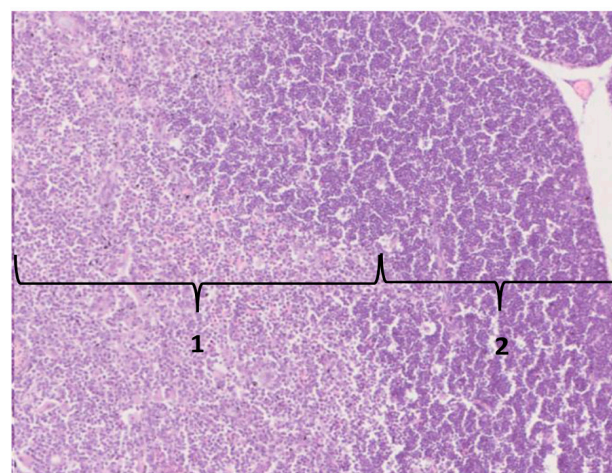
Следует отметить, что у животных, выведенных из эксперимента в более ранние сроки, отмечалось более выраженное преобладание коркового вещества над мозговым. Тельца Гассалья определялись только у животных, выведенных из эксперимента на 20-е сутки (рис. 2).

Анализ динамики относительных площадей корковой и мозговой зон тимуса у цыплят яичного

кросса в ходе эксперимента демонстрирует значительные различия между группами (рис. 3). Во 2-й группе, которая получала пробиотический микроорганизм, к 20-м суткам происходило услож-



a



б

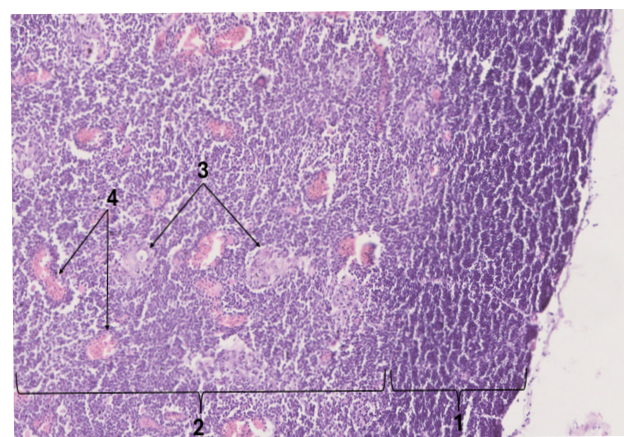


Рис. 1. Морфологическая картина тимуса цыплят яичного кросса (1-я группа) на 20-е сутки: 1 – корковое вещество; 2 – мозговое вещество; 3 – тельца Гассалья; 4 – кровеносные сосуды мозгового вещества. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение $\times 100$

Fig. 1. Thymus morphology in chicks of a hybrid egg-laying breed (group 1) on day 20: 1 – cortex; 2 – medulla; 3 – Hassall's corpuscles; 4 – blood vessels of the medulla. Haematoxylin and eosin stain, $\times 100$ magnification

Рис. 2. Сравнение морфологической картины тимуса цыплят яичного кросса (1-я группа) на 5-е (*a*) и 20-е (*б*) сутки: значительное преобладание коркового вещества (2) над мозговым (1) в более ранней стадии онтогенеза и равные соотношения в более поздней. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение $\times 100$

Fig. 2. Thymus morphology in chicks of a hybrid egg-laying breed (group 1) on day 5 (*a*) and 20 (*б*) compared: significant predominance of the cortex (2) over the medulla (1) at an earlier stage of ontogenesis and their equal proportions at a later stage. Haematoxylin and eosin stain, $\times 100$ magnification

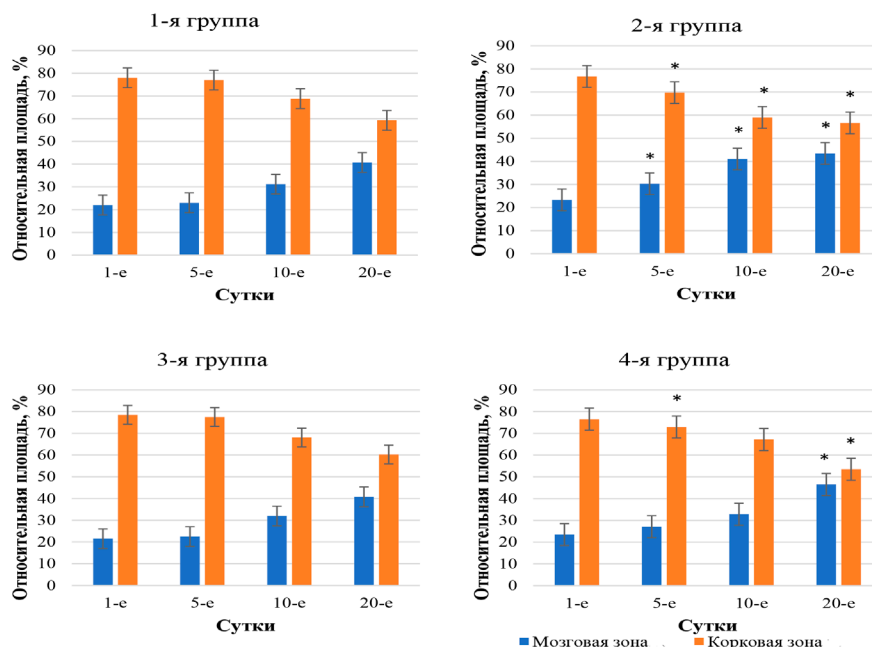


Рис. 3. Возрастная (1–20-е сутки) динамика относительной площади зон тимуса ($n = 6$) у цыплят яичного кросса в зависимости от рациона питания ($M \pm m$): * – установлена статистическая значимость отличий от контроля (1-я группа) при $p < 0,05$

Fig. 3. Age-specific (days 1–20) dynamics of the relative area of the thymus regions ($n = 6$) in chicks of a hybrid egg-laying breed depending on the diet ($M \pm m$): * – statistically significant differences from the control (group 1) were established at $p < 0.05$

нение гистоархитектоники с четким разграничением зон, появлением телец Гассалья и развитой васкуляризацией мозгового вещества, увеличение относительной площади мозговой зоны до $43,40 \pm 4,04$ %, что на 2,67 % выше по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$).

Третья группа, получавшая энрофлоксацин, демонстрировала менее выраженные изменения: относительная площадь мозговой зоны на 20-й день составила $40,76 \pm 8,60$ %, что практически не отличалось от контрольной группы, в то время как корковая зона занимала $60,24 \pm 8,60$ %. Эти данные свидетельствуют о том, что применение антибиотиков не приводит к значительному улучшению показателей развития тимуса.

Относительная площадь мозговой зоны в 4-й группе цыплят увеличилась до $46,5 \pm 2,0$ % к 20-м суткам, что на 14 % выше, чем в контроль-

ной группе на те же сутки ($p < 0,05$). Относительная площадь корковой зоны в 4-й группе, соответственно, снизилась до $53,5 \pm 2,0$ % (это на 9,7 % ниже данных контрольной группы, $p < 0,05$), что может указывать на сбалансированное развитие тимуса к концу эксперимента.

Обсуждение. На основании проведенного исследования можно заключить, что ранний постнатальный период онтогенеза у цыплят яичного кросса характеризуется интенсивным и закономерным развитием тимуса, что подтверждается прогрессивным ростом его абсолютной массы и сложными гистологическими преобразованиями [9]. Эти преобразования включают дифференцировку на корковое и мозговое вещество, увеличение васкуляризации и появление телец Гассалья к 20-м суткам, что свидетельствует о функциональном созревании органа и актив-

ном лимфопоэзе. Динамика относительной массы тимуса, достигшей пика к 5–10-м суткам с последующим снижением, отражает общий принцип опережающего развития иммунной системы в раннем онтогенезе [10].

Анализ изменения относительных площадей корковой и мозговой зон тимуса у цыплят яичного кросса демонстрирует значительное влияние различных рационов питания на развитие этого органа. В контрольной группе наблюдалось стабильное, но слабое развитие мозговой зоны (относительная площадь – 40,73 %) при преобладании корковой зоны (59,27 %), что может указывать на недостаточную стимуляцию иммунной функции в условиях стандартного рациона.

В обеих группах, получавших пробиотический микроорганизм, отмечалось значительное увеличение относительной площади мозговой зоны и снижение площади корковой зоны. Указанные изменения подчеркивают положительное влияние рационов, обогащенных пробиотиками, на развитие тимуса, что может способствовать улучшению его функциональной активности и иммунного ответа в целом.

Полученные данные вносят вклад в понимание влияния различных рационов питания на иммунитет птиц и формируют важную исходную базу для планирования дальнейших исследований, направленных на модуляцию иммунного статуса с использованием иных схем или биологически активных веществ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Петруша Ю.К., Силин Д.А., Лебедев С.В. Факторы и модуляторы иммунной системы птиц (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108, № 1. С. 33–49.
2. Właźlak S., Pietrzak E., Biesek J., Dunisławska A. Modulation of the Immune System of Chickens a Key Factor in Maintaining Poultry Production – a Review // Poult. Sci. 2023. Vol. 102, № 8. Art. № 102785. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102785>
3. Кузнецов С.И., Лемесева Е.А. Морфологическое исследование тимуса цыплят-бройлеров в возрастном аспекте // Науч.-метод. электрон. журн. «Концепт». 2014. Т. 20. С. 2936–2940. URL: <http://e-koncept.ru/2014/54851.htm> (дата обращения: 06.10.2025).
4. Низамова Г.М., Муллакаев О.Т., Панина Е.Н. Возрастная макроморфология тимуса у цыплят-бройлеров // Уч. зап. Казан. акад. ветеринар. медицины им. Н.Э. Баумана. 2023. Т. 253, № 1. С. 201–204.
5. Демьяненко С.В., Чистяков В.А., Водопьянов А.С., Брень А.Б. Возрастные изменения тимусзависимого звена иммунной системы // Журн. фундам. медицины и биологии. 2012. № 1. С. 17–29.
6. Bölükbaş F., Öznurlu Y. The Determination of the Effect of *in ovo* Administered Monosodium Glutamate on the Embryonic Development of Thymus and Bursa of Fabricius and Percentages of Alpha-Naphthyl Acetate Esterase Positive Lymphocyte in Chicken // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2022. Vol. 29, № 30. P. 45338–45348. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19112-2>
7. Islam R., Sultana N., Haque Z., Rafiqul Islam M. Effect of Dietary Dexamethasone on the Morphologic and Morphometric Adaptations in the Lymphoid Organs and Mortality Rate in Broilers // Vet. Med. Sci. 2023. Vol. 9, № 4. P. 1656–1665. <https://doi.org/10.1002/vms3.1139>
8. Sikandar A., Zaneb H., Nasir A., Ur Rehman A., Kashif M., Shah M., Luqman Z., Din S., Iqbal M.F., Khan I., Irshad I. Effect of *Bacillus subtilis* on the Microarchitectural Development of the Immune System in *Salmonella*-Challenged Broiler Chickens // Vet. med. 2022. Vol. 67, № 1. P. 28–37. <https://doi.org/10.17221/231/2020-VETMED>

9. Huang H.-B., Liu Y.-X., Hou Y., Wen L., Ge X.-H., Peng K.-M., Liu H.-Z. Distribution Patterns of Stromal Eosinophil Cells in Chick Thymus During Postnatal Development // *Vet. Immunol. Immunopathol.* 2013. Vol. 153, № 1–2. P. 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2012.12.008>

10. Бородулина И.В. Некоторые морфофункциональные показатели постнатального развития печени и тимуса у цыплят-курочек кросса «Хайсекс-браун» в возрасте от 1 до 180 дней под влиянием адаптогенов // *Вестн. КрасГАУ.* 2008. № 2. С. 334–339.

References

1. Petrusha Yu.K., Silin D.A., Lebedev S.V. Factors and Modulators of the Avian Immune System (Review). *Animal Husb. Fodd. Prod.*, 2025, vol. 108, no. 1, pp. 33–49 (in Russ.).

2. Wlazlak S., Pietrzak E., Biesek J., Dunislawska A. Modulation of the Immune System of Chickens a Key Factor in Maintaining Poultry Production – a Review. *Poult. Sci.*, 2023, vol. 102, no. 8. Art. no. 102785. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102785>

3. Kuznetsov S.I., Lemeseva E.A. Morfologicheskoe issledovanie timusa tsyplyat-broylerov v vozrastnom aspekte [Morphological Study of the Thymus Broiler Chickens in Age Aspect]. *Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal "Kontsept"*, 2014, vol. 20, pp. 2936–2940. Available at: <http://e-koncept.ru/2014/54851.htm> (accessed: 6 October 2025).

4. Nizamova G.M., Mullakaev O.T., Panina E.N. Vozrastnaya makromorfologiya timusa u tsyplyat-broylerov [Age-Related Micromorphology of the Thymus in Broiler Chickens]. *Uchenye zapiski Kazanskoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Bauman*, 2023, vol. 253, no. 1, pp. 201–204.

5. Dem'yanenko S.V., Chistyakov V.A., Vodop'yanov A.S., Bren' A.B. Vozrastnye izmeneniya timuszavisimogo zvena immunnogo sistema [Age-Related Changes in the Thymus-Dependent Component of the Immune System]. *Zhurnal fundamental'noy meditsiny i biologii*, 2012, no. 1, pp. 17–29.

6. Bölükbaş F., Öznurlu Y. The Determination of the Effect of *in ovo* Administered Monosodium Glutamate on the Embryonic Development of Thymus and Bursa of Fabricius and Percentages of Alpha-Naphthyl Acetate Esterase Positive Lymphocyte in Chicken. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2022, vol. 29, no. 30, pp. 45338–45348. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19112-2>

7. Islam R., Sultana N., Haque Z., Rafiqul Islam M. Effect of Dietary Dexamethasone on the Morphologic and Morphometric Adaptations in the Lymphoid Organs and Mortality Rate in Broilers. *Vet. Med. Sci.*, 2023, vol. 9, no. 4, pp. 1656–1665. <https://doi.org/10.1002/vms3.1139>

8. Sikandar A., Zaneb H., Nasir A., Ur Rehman A., Kashif M., Shah M., Luqman Z., Din S., Iqbal M.F., Khan I., Irshad I. Effect of *Bacillus subtilis* on the Microarchitectural Development of the Immune System in *Salmonella*-Challenged Broiler Chickens. *Vet. med.*, 2022, vol. 67, no. 1, pp. 28–37. <https://doi.org/10.17221/231/2020-VETMED>

9. Huang H.-B., Liu Y.-X., Hou Y., Wen L., Ge X.-H., Peng K.-M., Liu H.-Z. Distribution Patterns of Stromal Eosinophil Cells in Chick Thymus During Postnatal Development. *Vet. Immunol. Immunopathol.*, 2013, vol. 153, no. 1–2, pp. 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2012.12.008>

10. Borodulina I.V. Nekotorye morfofunktsional'nye pokazateli postnatal'nogo razvitiya pecheni i timusa u tsyplyat-kurochek krossa "Khayseks-braun" v vozraste ot 1 do 180 dney pod vliyaniem adaptogenov [Some Morphofunctional Parameters of Postnatal Development of the Liver and Thymus in Hisex Brown Hens Aged from 1 to 180 Days Under the Influence of Adaptogens]. *Vestnik KrasGAU*, 2008, no. 2, pp. 334–339.

Поступила в редакцию 20.10.2025 / Одобрена после рецензирования 17.12.2025 / Принята к публикации 19.12.2025
Submitted 20 October 2025 / Approved after reviewing 17 December 2025 / Accepted for publication 19 December 2025



Обзорная статья
УДК 612.766.1:612.67
DOI: 10.37482/2687-1491-Z278

Связь между уровнем физической работоспособности и скоростью биологического старения (обзор)

Вадим Владимирович Сверчков* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3650-0624>
Евгений Витальевич Быков* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

*Уральский государственный университет физической культуры
(Челябинск, Россия)

Аннотация. Старение представляет собой процесс накопления изменений в организме с течением времени, приводящий к повышению риска смертности. Известно, что регулярное выполнение физических упражнений способствует снижению риска смертности как от всех причин, так и от конкретных. Одним из положительных эффектов физических упражнений является улучшение физической работоспособности. Цель исследования – обзор и анализ научной литературы о связи между различными параметрами физической работоспособности (сила хвата, кардиореспираторная подготовленность, скорость походки), признаками саркопении (мышечная масса, аппендикулярная масса мышц) и скоростью биологического старения на основании эпигенетических часов, а также длины теломер. Поиск публикаций был проведен в научных текстовых базах PubMed (MEDLINE), Cochrane Library, Epistemonikos, Scopus и SPORTDiscus в соответствии с контрольными списками PRISMA-S и PRESS. Даты запросов – октябрь 2024 года и февраль 2025 года. Глубина запроса – 2015–2024 годы. Для обеспечения качества обзора литературы использовалась шкала оценки повествовательных обзорных статей SANRA. Согласно результатам наблюдательных исследований, а также исследований с Менделевской рандомизацией, более высокий уровень физической работоспособности коррелирует с более молодым эпигенетическим профилем, а также с большей длиной теломер, хотя данные некоторых работ противоречивы. В целом полученные сведения указывают на то, что поддержание/повышение физических кондиций будет способствовать снижению скорости биологического старения и увеличению продолжительности здоровой жизни. Необходимы дальнейшие исследования для подтверждения причинно-следственной связи между уровнем физической работоспособности и скоростью биологического старения для разработки профилактических мероприятий, нацеленных на продление периода здоровой жизни.

Ключевые слова: биологическое старение, физическая работоспособность, сила хвата, скорость походки, кардиореспираторная подготовленность, эпигенетические часы, длина теломер

© Сверчков В.В., Быков Е.В., 2026

Ответственный за переписку: Вадим Владимирович Сверчков, адрес: 454091, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, д. 1; e-mail: Vadim.sverchkov@yandex.ru

Для цитирования: Сверчков, В. В. Связь между уровнем физической работоспособности и скоростью биологического старения (обзор) / В. В. Сверчков, Е. В. Быков // Журнал медико-биологических исследований. – 2026. – Т. 14, № 1. – С. 61-72. – DOI 10.37482/2687-1491-Z278.

Review article

Relationship Between the Level of Physical Performance and the Rate of Biological Ageing (Review)

Vadim V. Sverchkov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3650-0624>

Evgeniy V. Bykov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

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

Abstract. Ageing is the accumulation of changes in the body over time, leading to an increased risk of mortality. It is known that regular physical exercise helps to reduce the risk of mortality, both from all causes and from specific causes. One of the positive effects of exercise is increased physical performance. This article aimed to review and analyse literature on the relationship between various parameters of physical performance (grip strength, cardiorespiratory fitness, gait speed), signs of sarcopenia (appendicular skeletal muscle mass) and the rate of biological ageing based on the epigenetic clock and telomere length. A search was conducted in the databases PubMed (MEDLINE), Cochrane Library, Epistemonikos, Scopus and SPORTDiscus in accordance with the PRISMA-S and PRESS checklists. Query dates are October 2024 and February 2025, query depth is 2015–2024. The SANRA scale for assessing narrative review articles was used. According to observational and mendelian randomization studies, higher levels of physical performance correlate with a younger epigenetic profile and greater telomere length, although some studies have conflicting results. On the whole, the data obtained indicate that maintaining/improving physical fitness parameters will help to reduce the rate of biological ageing and increase healthy life expectancy. Further research is needed to confirm the cause-and-effect relationship between the level of physical performance and the rate of biological ageing in order to develop preventive measures to extend the period of healthy life.

Keywords: *biological ageing, physical performance, grip strength, gait speed, cardiorespiratory fitness, epigenetic clock, telomere length*

For citation: Sverchkov V.V., Bykov E.V. Relationship Between the Level of Physical Performance and the Rate of Biological Ageing (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2026, vol. 14, no. 1, pp. 61–72. DOI: 10.37482/2687-1491-Z278

Corresponding author: Vadim Sverchkov, address: ul. Ordzhonikidze 1, Chelyabinsk, 454091, Russia; e-mail: Vadim.sverchkov@yandex.ru

Старение – это естественный процесс, который зависит от факторов образа жизни, генетики и окружающей среды. Различное влияние этих факторов на людей делает процесс старения индивидуальным. С. López-Otín et al. [1] выделили 12 признаков старения: нестабильность ДНК, укорочение теломер, эпигенетические изменения, потеря протеостаза, нарушение восприятия питательных веществ, митохондриальная дисфункция, клеточное старение, истощение стволовых клеток, изменение межклеточной коммуникации, нарушение макроаутофагии, хроническое воспаление и дисбиоз. На молекулярном уровне старение возникает из-за нарушения баланса между альтерацией и компенсаторными механизмами. Клетки постоянно подвергаются повреждениям, таким как геномная нестабильность, истощение теломер, эпигенетические изменения, потеря протеостаза и нарушение макроаутофагии. Это становится причиной снижения восприятия питательных веществ, митохондриальной дисфункции и клеточного старения. Накопленный в результате работы данных первичных и антагонистических механизмов ущерб приводит к истощению стволовых клеток, изменению межклеточной коммуникации, хроническому воспалению и дисбактериозу, которые ответственны за физиологический спад, связанный со старением [1].

При оценке скорости старения (разницы между биологическим и хронологическим возрастом) в данный момент используются два основных маркера: длина теломер (ДТ) и эпигенетические часы. Теломеры – это повторяющиеся последовательности ДНК, расположенные на концах хромосом и выступающие в качестве основных хранителей геномной стабильности. Структурно теломеры содержат от 2 тыс. до 20 тыс. пар оснований. В отсутствие теломеразы в среднем от 25 до 200 оснований теряются с теломерных концов при каждом делении клетки. Когда теломеры достигают критически малой длины, их защитная функция снижается, вызывая клеточный стресс. В постмитотических клетках укорочения теломер не происходит, поскольку это зрелые клетки, которые

больше не подвергаются митозу. Вместо этого теломеры могут быть напрямую повреждены по другим причинам, таким как окислительный стресс. Клетки с критически короткими теломерами могут войти в состояние, известное как «клеточное старение», когда они перестают делиться и теряют оптимальную функциональность. Признано, что это явление связано со старением и возрастными заболеваниями. Так, в проспективном когортном исследовании Q. Wang et al. [2] было показано, что малая ДТ лейкоцитов связана с повышенным риском как общей смертности, так и смертности от сердечно-сосудистых заболеваний среди людей среднего и пожилого возраста без сердечно-сосудистого анамнеза. Представители группы с самой высокой ДТ продемонстрировали значительное снижение риска смертности как от всех причин (отношение рисков HR = 0,65; 95 %-й доверительный интервал (95% ДИ): 0,54–0,78; $p < 0,001$), так и от сердечно-сосудистых заболеваний (HR = 0,64; 95% ДИ: 0,45–0,93; $p < 0,001$) по сравнению с лицами в группе с самой низкой ДТ. В проспективном когортном исследовании H. Samavat et al. [3] с участием 26 540 китайцев среднего и старшего возраста было обнаружено, что большая ДТ коррелирует с более низким риском смертности от всех причин (HR = 0,93; 95% ДИ: 0,84–1,03; $p = 0,02$), смертности, не связанной с раком (HR = 0,81; 95% ДИ: 0,71–0,92; $p = 0,0001$), в частности от хронической обструктивной болезни легких и пневмонии (HR = 0,79; 95% ДИ: 0,70–0,89; $p = 0,0002$) и заболеваний пищеварительной системы (HR = 0,60; 95% ДИ: 0,42–0,88; $p = 0,02$). В то же время в работе Z. Chen et al. [4] у лиц с сахарным диабетом 2-го типа после корректировки нескольких ковариат более высокий терциль ДТ оказался прямо пропорционально связан с повышенным риском сердечно-сосудистой смертности (HR = 2,11; 95% ДИ: 1,31–3,39; $p < 0,05$), но более низким риском смертности от рака (HR = 0,58; 95% ДИ: 0,37–0,91; $p < 0,05$) по сравнению с самым нижним терцилем ДТ.

Эпигенетические механизмы – это механизмы, которые меняют экспрессию генов, вызы-

вая ремоделирование хроматина посредством химических изменений в ДНК и гистоновых белках, а также посредством взаимодействий с некодирующими РНК. Метилирование ДНК (ДНКм) является основной эпигенетической модификацией в геноме млекопитающих, и было продемонстрировано, что оно играет важную роль в поддержании стабильности и целостности генома, подавлении мобильных элементов, поддержании ДТ, старении и канцерогенезе. Нарушения в паттернах ДНКм участвуют в генезе многих хронических заболеваний. Так, ДНКм способно предсказать продолжительность жизни, время до наступления ишемической болезни сердца, время до наступления рака, а также связано со множеством хронических заболеваний [5]. На основании ДНКм разработаны эпигенетические часы, которые определяют биологический возраст и скорость старения организма: первого (DNAmAgeHorvath, DNAmAgeHannum) и второго (DNAmPhenoAge, DNAmGrimAge, DNAmFitAge) поколений.

Одной из важных особенностей старения является ухудшение многих физиологических функций, при этом регулярное выполнение физических упражнений оказывает системное воздействие на организм, влияя практически на все функции органов, клеточный и органнй метаболизм, окислительно-восстановительные процессы и активацию иммунной системы [6]. Более того, недавно уровень физической подготовки (кардиореспираторная подготовленность (КРП), сила хвата, скорость походки, объем форсированного выдоха за первую секунду) был включен в число показателей оценки биологического возраста на основе ДНКм (DNAmFitAge) [7]. Таким образом, предполагается, что высокий уровень физической работоспособности связан с замедлением биологического старения.

Цель исследования – обзор и анализ научной литературы, посвященной связи между различными параметрами физической работоспособности (сила хвата, КРП, скорость походки), признаками саркопении (мышечная масса,

аппендикулярная масса мышц) и скоростью биологического старения на основании эпигенетических часов, а также ДТ.

Выполнен поиск и последующий анализ литературы по указанной тематике с использованием баз данных PubMed (MEDLINE), Cochrane Library, Epistemonikos, Scopus и SPORTDiscus. Поиск проводился при помощи контрольного чек-листа PRISMA-S (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [8] для обеспечения прозрачности, надежности и воспроизводимости результатов, а также для минимизации риска смещения. Языковые или иные ограничения ни на один из поисков не накладывались. Применялись различные комбинации ключевых слов: «aging + cardiorespiratory fitness» (старение + кардиореспираторная подготовленность), или «aging + grip strength» (старение + сила хвата), или «DNA methylation + cardiorespiratory fitness» (метилирование ДНК + кардиореспираторная подготовленность), или «DNA methylation + grip strength» (метилирование ДНК + сила хвата), или «telomere length + cardiorespiratory fitness» (длина теломер + кардиореспираторная подготовленность), или «telomere length + grip strength» (длина теломер + сила хвата), или «telomere length + gait speed» (длина теломер + скорость походки), или «DNA methylation + gait speed» (метилирование ДНК + скорость походки), или «aging + gait speed» (старение + скорость походки).

Критерии включения – полнотекстовые материалы исследований (систематические обзоры, метаанализы, исследования с Менделевской рандомизацией, наблюдательные и поперечные исследования), в которых оценивалась связь между уровнем физической работоспособности (сила хвата, мышечная сила, КРП, скорость походки), признаками саркопении (мышечная масса, аппендикулярная масса мышц) и биологическим возрастом на основе ДНКм и укорочения теломер. Списки литературы статей были проверены вручную для выявления дополнительных источников. Критерий невключения – исследования на животных моделях.

Комплексный поиск литературы был осуществлен дважды: 3 ноября 2024 года, а затем 6 февраля 2025 года; глубина запроса – 2015–2024 годы. Выявлено 459 упоминаний. После удаления дубликатов и не соответствующих целям исследования публикаций было отображено 22 статьи. Стратегии поиска были проверены другим специалистом по информации с использованием Peer Review of Electronic Search Strategies (PRESS) [9].

Для обеспечения качества обзора литературы применялась шкала SANRA (Scale for the Assessment of Narrative Review Articles) [10]. Шкала анализирует публикацию по нескольким пунктам: 1) объяснение значимости обзора; 2) изложение целей обзора; 3) описание поиска литературы; 4) методы цитирования; 5) качество доказательств; 6) представление данных о конечных точках. Пункты оцениваются следующим образом: 0 баллов – низкое качество, 1 балл – среднее качество, 2 балла – высокое качество. Общая оценка для текущего обзора составила 12 баллов.

Связь между уровнем физической работоспособности и скоростью старения на основании эпигенетических модификаций. Известно, что продолжительность жизни элитных спортсменов выше по сравнению с общей популяцией, о чем свидетельствуют крупные наблюдательные исследования и метаанализы [11, 12]. Современные научные публикации демонстрируют: уровень физической работоспособности коррелирует с биологическим старением. Так, недавно было установлено, что более высокие уровни физической подготовки на основании оценки силы мышц нижних конечностей, силы хвата, максимального потребления кислорода (МПК) и объема форсированного выдоха за первую секунду соответствуют более молодому биологическому возрасту по ДНКм. В работе К. McGreevy et al. [7] было обнаружено, что потребление кислорода на уровне вентиляционного порога обратно пропорционально связано с эпигенетическими часами HannumAgeAccel ($r = -0,188$; $p = 0,029$) и GrimAgeAccel ($r = -0,236$; $p = 0,006$), а МПК –

с GrimAgeAccel ($r = -0,216$; $p = 0,012$). Сила хвата имела сильную отрицательную корреляцию с HannumAgeAccel ($r = -0,175$; $p = 0,042$) и FitAgeAccel ($r = -0,200$; $p = 0,020$), мощность разгибания ног – с FitAgeAccel ($r = -0,179$; $p = 0,038$). При этом хронологический возраст значимо не коррелировал ни с одной из переменных физической подготовки. Т. Kawamura et al. [13] также было установлено, что потребление кислорода на уровне вентиляционного порога и МПК у пожилых мужчин обратно пропорционально связаны с биологическим возрастом на основе эпигенетических часов DNAmAgeAccel. Было выявлено, что поддержание МПК выше порогового значения (22,7 мл/(кг·мин)) ассоциируется с замедлением биологического старения. В работе А. Hernandez Cordero et al. [14] более высокая исходная КПП коррелировала с более медленной скоростью старения в течение последующих трех лет на основе эпигенетических часов DNAmAgeSkinBlood ($p = 0,016$), DNAmGrimAge ($p = 0,012$) и DNAmGrimAge2 ($p = 0,011$). Более того, эти эффекты были последовательны у лиц с хроническим ограничением воздушного потока (DNAmGrimAge, $p = 0,009$; DNAmGrimAge2, $p = 0,007$). В кросс-секционном исследовании Y. Seki et al. [15] более высокий уровень МПК был связан с более медленной скоростью старения на основании эпигенетических часов DNAmPhenoAge и DNAmGrimAge. Таким образом, в когортах с низким уровнем КПП биологический возраст больше, что позволяет сделать вывод: поддержание высокого уровня КПП может способствовать замедлению биологического старения. Предполагается, что ДНКм отвечает за изменение КПП. Так, например, *PDK4* был выделен как главный дифференциально метилированный ген, связанный с КПП и ответственный за митохондриальный биогенез в скелетных мышцах в ответ на физические упражнения [16]. В совокупности результаты исследований связи между аэробной физической работоспособностью и эпигенетическими модификациями демонстрируют участие дифференциаль-

но метилированных генов в метаболических путях, которые необходимы для выполнения мышечной работы. Таким образом, поддержание или улучшение КРП за счет физических упражнений должно способствовать здоровому старению.

R. Marioni et al. [17] установили, что снижение силы хвата коррелирует с ускорением старения на основе ДНКм. В поперечном исследовании S. Ahn et al. [18] с участием 822 лиц в возрасте 40–69 лет был рассчитан показатель риска метилирования (MRS; methylation risk score) путем определения участков CpG, связанных с саркопенией. Оценивалась корреляция MRS с силой хвата и индексом аппендикулярной массы мышц. Более старший возраст ассоциировался с большей вероятностью попадания в категорию с высоким MRS. Напротив, сила хвата и индекс аппендикулярной массы мышц характеризовались обратно пропорциональной связью с MRS: чем больше сила хвата и мышечная масса, тем ниже вероятность попадания в группу с высоким MRS. Результаты S. Ahn et al. [18] демонстрируют: ДНКм усиливается с возрастом, что отрицательно коррелирует с силой хвата и мышечной массой, приводя к саркопении.

В исследовании с Менделевской рандомизацией (MP) G. Chen et al. [19] более высокая скорость походки была ассоциирована с более медленным темпом биологического старения на основании 4 классических эпигенетических часов: GrimAge (бета-коэффициент $\text{BETA} = -1,84$; 95% ДИ: $-2,94 \dots -0,75$), PhenoAge ($\text{BETA} = -1,57$; 95% ДИ: $-3,05 \dots -0,08$), Horvath ($\text{BETA} = -1,09$; 95% ДИ: $-2,14 \dots -0,04$), Hannum ($\text{BETA} = -1,63$; 95% ДИ: $-2,70 \dots -0,56$). Результаты данного MP-анализа указывают на причинно-следственную связь между увеличением скорости походки и замедлением эпигенетического старения. Это говорит о том, что уровень физических кондиций может быть фактором старения, а не просто его признаком. Более того, изучение метилома (1251 образцов из 16 когорт) и транскриптома (1925 образцов из 21 когорты) человеческих мышц продемон-

стрировало, что более высокий уровень аэробной подготовки коррелирует с более молодыми эпигенетическими и транскриптомными профилями [20]. Это подтверждает идею о том, что регулярное выполнение физических упражнений может изменять эпигеном и транскриптом мышц в сторону более молодого профиля, в то время как малоподвижный образ жизни значительно ускоряет эпигеномное и транскриптомное старение. Следовательно, аэробные и силовые тренировки нацелены на многие возрастные транскрипты и локусы ДНКм для поддержания более молодых профилей метилома и транскриптома, особенно в генах, связанных со структурой мышц, метаболизмом и функцией митохондрий. Хотя, безусловно, в научной литературе представлены противоречивые данные о влиянии физической активности на ДНКм и, соответственно, на скорость биологического старения [21–24].

Связь между уровнем физической работоспособности и скоростью старения на основании ДТ. MP-анализ D. Wang et al. [25] установил прямо пропорциональную причинно-следственную связь между некоторыми морфофункциональными показателями и ДТ лейкоцитов. Так, была выявлена положительная корреляция между ДТ лейкоцитов и аппендикулярной мышечной массой (отношение шансов $\text{OR} = 1,053$; 95% ДИ: $1,009-1,099$; $p = 0,018$), при этом меньшая ДТ ассоциировалась с более низкой силой хвата ($\text{OR} = 0,915$; 95% ДИ: $0,860-0,974$; $p = 0,005$), а более быстрый темп ходьбы – с более длинными теломерами лейкоцитов ($\text{OR} = 1,252$; 95% ДИ: $1,121-1,397$; $p < 0,001$). Таким образом, в данном MP-анализе была отмечена двунаправленная ассоциация между ДТ и признаками саркопении. Двунаправленный MP-анализ P. Dempsey et al. [26] с участием когорты биобанка Великобритания показал однонаправленную причинно-следственную связь – влияние скорости походки на ДТ лейкоцитов, но не наоборот. У тех, кто ходит с умеренной и высокой скоростью, ДТ лейкоцитов была значительно больше, чем у тех, кто ходит медленно,

а измерения физической активности с помощью акселерометра дополнительно подтвердили связь ДТ с интенсивностью физической активности, но не с ее объемом [26]. При этом еще в одном МР-анализе, С. Кuo et al. [27], с участием 261 000 лиц старше 60 лет не было обнаружено причинно-следственной связи между ДТ лейкоцитов и силой хвата, а также мышечной массой. В целом немногочисленные МР-анализы предоставляют ценные данные о том, что ухудшение физической работоспособности приводит к снижению ДТ, а сниженная ДТ – к уменьшению мышечной массы и силы, тем самым образуя замкнутый цикл, хотя результаты некоторых исследований противоречивы и неоднозначны.

В систематическом обзоре A. Marques et al. [28] продемонстрировано, что КРП прямо пропорционально связана с ДТ у людей среднего и пожилого возраста. Более того, систематический обзор и метаанализ S. Aguiar et al. [29] установил, что у спортсменов-профессионалов теломеры длиннее, чем у неспортсменов того же возраста (стандартизированная разница средних SMD = 0,89; 95% ДИ: 0,45–1,33; $p < 0,001$). При этом у спортсменов-мастеров наблюдались меньшее прооксидантное повреждение (SMD = 0,59; 95% ДИ: 0,26–0,91; $p < 0,001$) и более высокая антиоксидантная способность (SMD = –0,46; 95% ДИ: –0,89...–0,03; $p = 0,04$), чем у неспортсменов того же возраста. Однако не все исследования, включенные в систематический обзор A. Marques et al. [30], обнаруживали положительную корреляцию между ДТ и мышечной подготовкой, указывая на дополнительные факторы, которые могут влиять на ДТ, например возраст. Также в систематическом обзоре и метаанализе J. Zhou et al. [31] было продемонстрировано, что ДТ значимо не связана с риском слабости по критериям Фрида (средняя разница MD = 0,07; 95% ДИ: –0,03...–0,16) и индексу слабости (MD = –0,02; 95% ДИ: –0,05...0,01), но связана с таковым по шкале слабости (MD = 0,18; 95% ДИ: 0,04–0,32). При этом МР-анализ V. Bountziouka et al. [32] обнаружил ассоциацию

между меньшей ДТ лейкоцитов и более высоким риском слабости, что соответствовало обратной корреляции и в наблюдательном исследовании. Риск слабости был примерно на 33 % выше у тех, у кого ДТ лейкоцитов была меньше средних значений на два стандартных отклонения, по сравнению с теми, у кого ДТ была больше средних значений на два стандартных отклонения.

Согласно современным представлениям, связь изменений ДТ с показателями здоровья неоднозначна. Отрицательное влияние малой ДТ на риск саркопении (повышение) и физические кондиции (снижение) можно объяснить истощением теломер с каждым циклом репликации ДНК, уменьшением количества и репликативного потенциала сателлитных клеток, что в конечном итоге приводит к уменьшению массы и ухудшению функции скелетных мышц. Однако на данный момент сложно определить направление этой связи в наблюдательных и поперечных исследованиях. Немногочисленные МР-анализы устанавливают двунаправленную связь между изменением физической работоспособности, саркопенией, слабостью и ДТ. Предполагается, что более высокий уровень физических кондиций коррелирует с большими уровнями антиоксидантных и противовоспалительных реакций, а также с более высокой активностью экспрессии мРНК обратной транскриптазы теломеразы, что может замедлить процесс истощения теломер [33].

Таким образом, современные научные исследования обнаружили связь между различными показателями физической работоспособности, признаками саркопении и биологическим возрастом на основе ДНКм или ДТ, указывающую на то, что поддержание хорошей физической формы, в частности повышение/поддержание мышечной силы, аппендикулярной массы скелетных мышц, аэробных способностей, скорости походки, будет способствовать смещению эпигенетических модификаций в сторону более молодого состояния, а также влиять на ДТ, что, в свою очередь, приведет к замедлению биологического старения организма. Поскольку результаты некоторых авторов противоречивы,

а большинство работ носит наблюдательный характер, необходимы дополнительные исследования для подтверждения причинно-следственной связи между уровнем физических кондиций и биологическим старением, осо-

бенно среди населения с повышенным риском саркопении, чтобы в дальнейшем можно было разработать профилактические мероприятия для увеличения продолжительности здоровой жизни.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. López-Otín C., Blasco M.A., Partridge L., Serrano M., Kroemer G. Hallmarks of Aging: An Expanding Universe // *Cell*. 2023. Vol. 186, № 2. P. 243–278. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.11.001>
2. Wang Q., Xi L., Yang N., Song J., Taiwaikul D., Zhang X., Bo Y., Tang B., Zhou X. Association of Leukocyte Telomere Length with Risk of All-Cause and Cardiovascular Mortality in Middle-Aged and Older Individuals Without Cardiovascular Disease: A Prospective Cohort Study of NHANES 1999–2002 // *Aging Clin. Exp. Res.* 2024. Vol. 36, № 1. Art. № 131. <https://doi.org/10.1007/s40520-024-02773-z>
3. Samavat H., Luu H.N., Beckman K.B., Jin A., Wang R., Koh W.-P., Yuan J.-M. Leukocyte Telomere Length, Cancer Incidence and All-Cause Mortality Among Chinese Adults: Singapore Chinese Health Study // *Int. J. Cancer*. 2021. Vol. 148, № 2. P. 352–362. <https://doi.org/10.1002/ijc.33211>
4. Chen Z., Shen Y., He J., Shen Y., Zhu W., Wu X., Xiao M. Longer Leukocyte Telomere Length Increases Cardiovascular Mortality in Type 2 Diabetes Patients // *J. Diabetes*. 2023. Vol. 15, № 4. P. 325–331. <https://doi.org/10.1111/1753-0407.13376>
5. Lu A.T., Quach A., Wilson J.G., Reiner A.P., Aviv A., Raj K., Hou L., Baccarelli A.A., Li Y., Stewart J.D., Whitsel E.A., Assimes T.L., Ferrucci L., Horvath S. DNA Methylation GrimAge Strongly Predicts Lifespan and Healthspan // *Aging (Albany N.Y.)*. 2019. Vol. 11, № 2. P. 303–327. <https://doi.org/10.18632/aging.101684>
6. Jakicic J.M., Kohrt W.M., Houmard J.A., Miller M.E., Radom-Aizik S., Rasmussen B.B., Ravussin E., Serra M., Stowe C.L., Trappe S., et al. Molecular Transducers of Physical Activity Consortium (MoTrPAC): Human Studies Design and Protocol // *J. Appl. Physiol.* 2024. Vol. 137, № 3. P. 473–493. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00102.2024>
7. McGreevy K.M., Radak Z., Torma F., Jokai M., Lu A.T., Belsky D.W., Binder A., Marioni R.E., Ferrucci L., Pośpiech E., Branicki W., Ossowski A., Sitek A., Spólnicka M., Raffield L.M., Reiner A.P., Cox S., Kobor M., Corcoran D.L., Horvath S. DNAmFitAge: Biological Age Indicator Incorporating Physical Fitness // *Aging (Albany N.Y.)*. 2023. Vol. 15, № 10. P. 3904–3938. <https://doi.org/10.18632/aging.204538>
8. Rethlefsen M.L., Kirtley S., Waffenschmidt S., Ayala A.P., Moher D., Page M.J., Koffel J.B. PRISMA-S: An Extension to the PRISMA Statement for Reporting Literature Searches in Systematic Reviews // *Syst. Rev.* 2021. Vol. 10, № 1. Art. № 39. <https://doi.org/10.1186/s13643-020-01542-z>
9. McGowan J., Sampson M., Salzwedel D.M., Cogo E., Foerster V., Lefebvre C. PRESS Peer Review of Electronic Search Strategies: 2015 Guideline Statement // *J. Clin. Epidemiol.* 2016. Vol. 75. P. 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2016.01.021>
10. Baethge C., Goldbeck-Wood S., Mertens S. SANRA – a Scale for the Quality Assessment of Narrative Review Articles // *Res. Integr. Peer Rev.* 2019. Vol. 4. Art. № 5. <https://doi.org/10.1186/s41073-019-0064-8>
11. Runacres A., Mackintosh K., McNarry M.A. Health Consequences of an Elite Sporting Career: Long-Term Detriment or Long-Term Gain? A Meta-Analysis of 165,000 Former Athletes // *Sports Med.* 2021. Vol. 51, № 2. P. 289–301. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01379-5>
12. Altulea A., Rutten M.G.S., Verdijk L., Demaria M. Sport and Longevity: An Observational Study of International Athletes // *GeroScience*. 2024. Vol. 47, № 2. P. 1397–1409. <https://doi.org/10.1007/s11357-024-01307-9>
13. Kawamura T., Radak Z., Tabata H., Akiyama H., Nakamura N., Kawakami R., Ito T., Usui C., Jokai M., Torma F., Kim H.-K., Miyachi M., Torii S., Suzuki K., Ishii K., Sakamoto S., Oka K., Higuchi M., Muraoka I., McGreevy K.M.,

Horvath S., Tanisawa K. Associations Between Cardiorespiratory Fitness and Lifestyle-Related Factors with DNA Methylation-Based Ageing Clocks in Older Men: WASEDA'S Health Study // *Aging Cell*. 2024. Vol. 23, № 1. Art. № e13960. <https://doi.org/10.1111/accel.13960>

14. Hernandez Cordero A.I., Peters C., Li X., Yang C.X., Ambalavanan A., MacIsaac J.L., Kobor M.S., Fonseca G.J., Doiron D., Tan W., Bourbeau J., Jensen D., Sin D.D., Koelwyn G.J., Stickland M.K., Duan Q., Leung J.M. Younger Epigenetic Age Is Associated with Higher Cardiorespiratory Fitness in Individuals with Airflow Limitation // *iScience*. 2024. Vol. 27, № 10. Art. № 110934. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110934>

15. Seki Y., Aczel D., Torma F., Jokai M., Boros A., Suzuki K., Higuchi M., Tanisawa K., Boldogh I., Horvath S., Radak Z. No Strong Association Among Epigenetic Modifications by DNA Methylation, Telomere Length, and Physical Fitness in Biological Aging // *Biogerontology*. 2023. Vol. 24, № 2. P. 245–255. <https://doi.org/10.1007/s10522-022-10011-0>

16. Jacques M., Hiam D., Craig J., Barrès R., Eynon N., Voisin S. Epigenetic Changes in Healthy Human Skeletal Muscle Following Exercise – a Systematic Review // *Epigenetics*. 2019. Vol. 14, № 7. P. 633–648. <https://doi.org/10.1080/15592294.2019.1614416>

17. Marioni R., Shah S., McRae A.F., Ritchie S.J., Muniz-Terrera G., Harris S.E., Gibson J., Redmond P., Cox S.R., Pattie A., Corley J., Taylor A., Murphy L., Starr J.M., Horvath S., Visscher P.M., Wray N.R., Deary I.J. The Epigenetic Clock Is Correlated with Physical and Cognitive Fitness in the Lothian Birth Cohort 1936 // *Int. J. Epidemiol.* 2015. Vol. 44, № 4. P. 1388–1396. <https://doi.org/10.1093/ije/dyu277>

18. Ahn S., Sung Y., Song W. Machine Learning-Based Identification of Diagnostic Biomarkers for Korean Male Sarcopenia Through Integrative DNA Methylation and Methylation Risk Score: From the Korean Genomic Epidemiology Study (KoGES) // *J. Korean Med. Sci.* 2024. Vol. 39, № 26. Art. № e200. <https://doi.org/10.3346/jkms.2024.39.e200>

19. Chen G.-Y., Liu C., Xia Y., Wang P.-X., Zhao Z.-Y., Li A.-Y., Zhou C.-Q., Xiang C., Zhang J.-L., Zeng Y., Gu P., Li H. Effects of Walking on Epigenetic Age Acceleration: A Mendelian Randomization Study // *Clin. Epigenetics*. 2024. Vol. 16, № 1. Art. № 94. <https://doi.org/10.1186/s13148-024-01707-w>

20. Voisin S., Seale K., Jacques M., Landen S., Harvey N.R., Haupt L.M., Griffiths L.R., Ashton K.J., Coffey V.G., Thompson J.M., Doering T.M., Lindholm M.E., Walsh C., Davison G., Irwin R., McBride C., Hansson O., Asplund O., Heikkinen A.E., Piirilä P., Pietiläinen K.H., Ollikainen M., Blocquiaux S., Thomis M., Coletta D.K., Sharples A.P., Eynon N. Exercise Is Associated with Younger Methylation and Transcriptome Profiles in Human Skeletal Muscle // *Aging Cell*. 2024. Vol. 23, № 1. Art. № e13859. <https://doi.org/10.1111/accel.13859>

21. Kankaanpää A., Tolvanen A., Bollepalli S., Leskinen T., Kujala U.M., Kaprio J., Ollikainen M., Sillanpää E. Leisure-Time and Occupational Physical Activity Associates Differently with Epigenetic Aging // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2021. Vol. 53, № 3. P. 487–495. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002498>

22. Sillanpää E., Ollikainen M., Kaprio J., Wang X., Leskinen T., Kujala U.M., Törmäkangas T. Leisure-Time Physical Activity and DNA Methylation Age – a Twin Study // *Clin. Epigenetics*. 2019. Vol. 11, № 1. Art. № 12. <https://doi.org/10.1186/s13148-019-0613-5>

23. Gale C.R., Marioni R.E., Čukić I., Chastin S.F., Dall P.M., Dontje M.L., Skelton D.A., Deary I.J. The Epigenetic Clock and Objectively Measured Sedentary and Walking Behavior in Older Adults: The Lothian Birth Cohort 1936 // *Clin. Epigenetics*. 2018. Vol. 10. Art. № 4. <https://doi.org/10.1186/s13148-017-0438-z>

24. Peng H., Gao W., Cao W., Lv J., Yu C., Wu T., Wang S., Pang Z., Yu M., Wang H., Wu X., Li L. Combined Healthy Lifestyle Score and Risk of Epigenetic Aging: A Discordant Monozygotic Twin Study // *Aging (Albany NY)*. 2021. Vol. 13, № 10. P. 14039–14052. <https://doi.org/10.18632/aging.203022>

25. Wang D., Li C., Zhang X., Li Y., He J., Guo X. Leukocyte Telomere Length and Sarcopenia-Related Traits: A Bidirectional Mendelian Randomization Study // *PLoS One*. 2024. Vol. 19, № 1. Art. № e0296063. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296063>

26. Dempsey P.C., Musicha C., Rowlands A.V., Davies M., Khunti K., Razieh C., Timmins I., Zaccardi F., Codd V., Nelson C.P., Yates T., Samani N.J. Investigation of a UK Biobank Cohort Reveals Causal Associations of Self-Reported Walking Pace with Telomere Length // *Commun. Biol.* 2022. Vol. 5, № 1. Art. № 381. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03323-x>

27. Kuo C.-L., Pilling L.C., Kuchel G.A., Ferrucci L., Melzer D. Telomere Length and Aging-Related Outcomes in Humans: A Mendelian Randomization Study in 261,000 Older Participants // *Aging Cell*. 2019. Vol. 18, № 6. Art. № e13017. <https://doi.org/10.1111/accel.13017>

28. Marques A., Gouveira É.R., Peralta M., Martins J., Venturini J., Henriques-Neto D., Sarmiento H. Cardiorespiratory Fitness and Telomere Length: A Systematic Review // *J. Sports Sci.* 2020. Vol. 38, № 14. P. 1690–1697. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1754739>

29. Aguiar S.S., Sousa C.V., Santos P.A., Barbosa L.P., Maciel L.A., Coelho-Júnior H.J., Motta-Santos D., Rosa T.S., Degens H., Simões H.G. Master Athletes Have Longer Telomeres Than Age-Matched Non-Athletes. A Systematic Review, Meta-Analysis and Discussion of Possible Mechanisms // *Exp. Gerontol.* 2021. Vol. 146. Art. № 111212. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2020.111212>

30. Marques A., Peralta M., Marconcin P., Henriques-Neto D., Gouveia É.R., Ferrari G., Martins J. A Systematic Review of the Association Between Muscular Fitness and Telomere Length Across the Adult Lifespan // *Front. Physiol.* 2021. Vol. 12. Art. № 706189. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.706189>

31. Zhou J., Wang J., Shen Y., Yang Y., Huang P., Chen S., Zou C., Dong B. The Association Between Telomere Length and Frailty: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Exp. Gerontol.* 2018. Vol. 106. P. 16–20. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2018.02.030>

32. Bountziouka V., Nelson C.P., Codd V., Wang Q., Musicha C., Allara E., Kaptoge S., Di Angelantonio E., Butterworth A.S., Thompson J.R., Curtis E.M., Wood A.M., Danesh J.N., Harvey N.C., Cooper C., Samani N.J. Association of Shorter Leucocyte Telomere Length with Risk of Frailty // *J. Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2022. Vol. 13, № 3. P. 1741–1751. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12971>

33. Sellami M., Bragazzi N., Prince M.S., Denham J., Elrayess M. Regular, Intense Exercise Training as a Healthy Aging Lifestyle Strategy: Preventing DNA Damage, Telomere Shortening and Adverse DNA Methylation Changes Over a Lifetime // *Front. Genet.* 2021. Vol. 12. Art. № 652497. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.652497>

References

1. López-Otín C., Blasco M.A., Partridge L., Serrano M., Kroemer G. Hallmarks of Aging: An Expanding Universe. *Cell*, 2023, vol. 186, no. 2, pp. 243–278. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.11.001>

2. Wang Q., Xi L., Yang N., Song J., Taiwaikun D., Zhang X., Bo Y., Tang B., Zhou X. Association of Leukocyte Telomere Length with Risk of All-Cause and Cardiovascular Mortality in Middle-Aged and Older Individuals Without Cardiovascular Disease: A Prospective Cohort Study of NHANES 1999–2002. *Aging Clin. Exp. Res.*, 2024, vol. 36, no. 1. Art. no. 131. <https://doi.org/10.1007/s40520-024-02773-z>

3. Samavat H., Luu H.N., Beckman K.B., Jin A., Wang R., Koh W.-P., Yuan J.-M. Leukocyte Telomere Length, Cancer Incidence and All-Cause Mortality Among Chinese Adults: Singapore Chinese Health Study. *Int. J. Cancer*, 2021, vol. 148, no. 2, pp. 352–362. <https://doi.org/10.1002/ijc.33211>

4. Chen Z., Shen Y., He J., Shen Y., Zhu W., Wu X., Xiao M. Longer Leukocyte Telomere Length Increases Cardiovascular Mortality in Type 2 Diabetes Patients. *J. Diabetes*, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 325–331. <https://doi.org/10.1111/1753-0407.13376>

5. Lu A.T., Quach A., Wilson J.G., Reiner A.P., Aviv A., Raj K., Hou L., Baccarelli A.A., Li Y., Stewart J.D., Whitsel E.A., Assimes T.L., Ferrucci L., Horvath S. DNA Methylation GrimAge Strongly Predicts Lifespan and Healthspan. *Aging (Albany N.Y.)*, 2019, vol. 11, no. 2, pp. 303–327. <https://doi.org/10.18632/aging.101684>

6. Jakicic J.M., Kohrt W.M., Houmard J.A., Miller M.E., Radom-Aizik S., Rasmussen B.B., Ravussin E., Serra M., Stowe C.L., Trappe S., et al. Molecular Transducers of Physical Activity Consortium (MoTrPAC): Human Studies Design and Protocol. *J. Appl. Physiol.*, 2024, vol. 137, no. 3, pp. 473–493. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00102.2024>

7. McGreevy K.M., Radak Z., Torma F., Jokai M., Lu A.T., Belsky D.W., Binder A., Marioni R.E., Ferrucci L., Pośpiech E., Branicki W., Ossowski A., Sitek A., Spólnicka M., Raffield L.M., Reiner A.P., Cox S., Kober M., Corcoran D.L., Horvath S. DNAmFitAge: Biological Age Indicator Incorporating Physical Fitness. *Aging (Albany N.Y.)*, 2023, vol. 15, no. 10, pp. 3904–3938. <https://doi.org/10.18632/aging.204538>

8. Rethlefsen M.L., Kirtley S., Waffenschmidt S., Ayala A.P., Moher D., Page M.J., Koffel J.B. PRISMA-S: An Extension to the PRISMA Statement for Reporting Literature Searches in Systematic Reviews. *Syst. Rev.*, 2021, vol. 10, no. 1. Art. no. 39. <https://doi.org/10.1186/s13643-020-01542-z>

9. McGowan J., Sampson M., Salzwedel D.M., Cogo E., Foerster V., Lefebvre C. PRESS Peer Review of Electronic Search Strategies: 2015 Guideline Statement. *J. Clin. Epidemiol.*, 2016, vol. 75, pp. 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2016.01.021>

10. Baethge C., Goldbeck-Wood S., Mertens S. SANRA – a Scale for the Quality Assessment of Narrative Review Articles. *Res. Integr. Peer Rev.*, 2019, vol. 4. Art. no. 5. <https://doi.org/10.1186/s41073-019-0064-8>

11. Runacres A., Mackintosh K., McNarry M.A. Health Consequences of an Elite Sporting Career: Long-Term Detriment or Long-Term Gain? A Meta-Analysis of 165,000 Former Athletes. *Sports Med.*, 2021, vol. 51, no. 2, pp. 289–301. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01379-5>
12. Altulea A., Rutten M.G.S., Verdijk L.B., Demaria M. Sport and Longevity: An Observational Study of International Athletes. *GeroScience*, 2024, vol. 47, no. 2, pp. 1397–1409. <https://doi.org/10.1007/s11357-024-01307-9>
13. Kawamura T., Radak Z., Tabata H., Akiyama H., Nakamura N., Kawakami R., Ito T., Usui C., Jokai M., Torma F., Kim H.-K., Miyachi M., Torii S., Suzuki K., Ishii K., Sakamoto S., Oka K., Higuchi M., Muraoka I., McGreevy K.M., Horvath S., Tanisawa K. Associations Between Cardiorespiratory Fitness and Lifestyle-Related Factors with DNA Methylation-Based Ageing Clocks in Older Men: WASEDA'S Health Study. *Aging Cell*, 2024, vol. 23, no. 1. Art. no. e13960. <https://doi.org/10.1111/acel.13960>
14. Hernandez Cordero A.I., Peters C., Li X., Yang C.X., Ambalavanan A., MacIsaac J.L., Kober M.S., Fonseca G.J., Doiron D., Tan W., Bourbeau J., Jensen D., Sin D.D., Koelwyn G.J., Stickland M.K., Duan Q., Leung J.M. Younger Epigenetic Age Is Associated with Higher Cardiorespiratory Fitness in Individuals with Airflow Limitation. *iScience*, 2024, vol. 27, no. 10. Art. no. 110934. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110934>
15. Seki Y., Aczel D., Torma F., Jokai M., Boros A., Suzuki K., Higuchi M., Tanisawa K., Boldogh I., Horvath S., Radak Z. No Strong Association Among Epigenetic Modifications by DNA Methylation, Telomere Length, and Physical Fitness in Biological Aging. *Biogerontology*, 2023, vol. 24, no. 2, pp. 245–255. <https://doi.org/10.1007/s10522-022-10011-0>
16. Jacques M., Hiam D., Craig J., Barrès R., Eynon N., Voisin S. Epigenetic Changes in Healthy Human Skeletal Muscle Following Exercise – a Systematic Review. *Epigenetics*, 2019, vol. 14, no. 7, pp. 633–648. <https://doi.org/10.1080/15592294.2019.1614416>
17. Marioni R., Shah S., McRae A.F., Ritchie S.J., Muniz-Terrera G., Harris S.E., Gibson J., Redmond P., Cox S.R., Pattie A., Corley J., Taylor A., Murphy L., Starr J.M., Horvath S., Visscher P.M., Wray N.R., Deary I.J. The Epigenetic Clock Is Correlated with Physical and Cognitive Fitness in the Lothian Birth Cohort 1936. *Int. J. Epidemiol.*, 2015, vol. 44, no. 4, pp. 1388–1396. <https://doi.org/10.1093/ije/dyu277>
18. Ahn S., Sung Y., Song W. Machine Learning-Based Identification of Diagnostic Biomarkers for Korean Male Sarcopenia Through Integrative DNA Methylation and Methylation Risk Score: From the Korean Genomic Epidemiology Study (KoGES). *J. Korean Med. Sci.*, 2024, vol. 39, no. 26. Art. no. e200. <https://doi.org/10.3346/jkms.2024.39.e200>
19. Chen G.-Y., Liu C., Xia Y., Wang P.-X., Zhao Z.-Y., Li A.-Y., Zhou C.-Q., Xiang C., Zhang J.-L., Zeng Y., Gu P., Li H. Effects of Walking on Epigenetic Age Acceleration: A Mendelian Randomization Study. *Clin. Epigenetics*, 2024, vol. 16, no. 1. Art. no. 94. <https://doi.org/10.1186/s13148-024-01707-w>
20. Voisin S., Seale K., Jacques M., Landen S., Harvey N.R., Haupt L.M., Griffiths L.R., Ashton K.J., Coffey V.G., Thompson J.M., Doering T.M., Lindholm M.E., Walsh C., Davison G., Irwin R., McBride C., Hansson O., Asplund O., Heikkinen A.E., Piirilä P., Pietiläinen K.H., Ollikainen M., Blocquiaux S., Thomis M., Coletta D.K., Sharples A.P., Eynon N. Exercise Is Associated with Younger Methylation and Transcriptome Profiles in Human Skeletal Muscle. *Aging Cell*, 2024, vol. 23, no. 1. Art. no. e13859. <https://doi.org/10.1111/acel.13859>
21. Kankaanpää A., Tolvanen A., Bollepalli S., Leskinen T., Kujala U.M., Kaprio J., Ollikainen M., Sillanpää E. Leisure-Time and Occupational Physical Activity Associates Differently with Epigenetic Aging. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2021, vol. 53, no. 3, pp. 487–495. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002498>
22. Sillanpää E., Ollikainen M., Kaprio J., Wang X., Leskinen T., Kujala U.M., Törmäkangas T. Leisure-Time Physical Activity and DNA Methylation Age – a Twin Study. *Clin. Epigenetics*, 2019, vol. 11, no. 1. Art. no. 12. <https://doi.org/10.1186/s13148-019-0613-5>
23. Gale C.R., Marioni R.E., Čukić I., Chastin S.F., Dall P.M., Dontje M.L., Skelton D.A., Deary I.J. The Epigenetic Clock and Objectively Measured Sedentary and Walking Behavior in Older Adults: The Lothian Birth Cohort 1936. *Clin. Epigenetics*, 2018, vol. 10. Art. no. 4. <https://doi.org/10.1186/s13148-017-0438-z>
24. Peng H., Gao W., Cao W., Lv J., Yu C., Wu T., Wang S., Pang Z., Yu M., Wang H., Wu X., Li L. Combined Healthy Lifestyle Score and Risk of Epigenetic Aging: A Discordant Monozygotic Twin Study. *Aging (Albany N.Y.)*, 2021, vol. 13, no. 10, Art. no. 14039–14052. <https://doi.org/10.18632/aging.203022>
25. Wang D., Li C., Zhang X., Li Y., He J., Guo X. Leukocyte Telomere Length and Sarcopenia-Related Traits: A Bidirectional Mendelian Randomization Study. *PLoS One*, 2024, vol. 19, no. 1. Art. no. e0296063. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296063>
26. Dempsey P.C., Musicha C., Rowlands A.V., Davies M., Khunti K., Razieh C., Timmins I., Zaccardi F., Codd V., Nelson C.P., Yates T., Samani N.J. Investigation of a UK Biobank Cohort Reveals Causal Associations of Self-Reported

Walking Pace with Telomere Length. *Commun. Biol.*, 2022, vol. 5, no. 1. Art. no. 381. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03323-x>

27. Kuo C.-L., Pilling L.C., Kuchel G.A., Ferrucci L., Melzer D. Telomere Length and Aging-Related Outcomes in Humans: A Mendelian Randomization Study in 261,000 Older Participants. *Aging Cell*, 2019, vol. 18, no. 6. Art. no. e13017. <https://doi.org/10.1111/accel.13017>

28. Marques A., Gouveira É.R., Peralta M., Martins J., Venturini J., Henriques-Neto D., Sarmento H. Cardiorespiratory Fitness and Telomere Length: A Systematic Review. *J. Sports Sci.*, 2020, vol. 38, no. 14, pp. 1690–1697. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1754739>

29. Aguiar S.S., Sousa C.V., Santos P.A., Barbosa L.P., Maciel L.A., Coelho-Júnior H.J., Motta-Santos D., Rosa T.S., Degens H., Simões H.G. Master Athletes Have Longer Telomeres Than Age-Matched Non-Athletes. A Systematic Review, Meta-Analysis and Discussion of Possible Mechanisms. *Exp. Gerontol.*, 2021, vol. 146. Art. no. 111212. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2020.111212>

30. Marques A., Peralta M., Marconcin P., Henriques-Neto D., Gouveia É.R., Ferrari G., Martins J., Sarmento H., Ihle A. A Systematic Review of the Association Between Muscular Fitness and Telomere Length Across the Adult Lifespan. *Front. Physiol.*, 2021, vol. 12. Art. no. 706189. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.706189>

31. Zhou J., Wang J., Shen Y., Yang Y., Huang P., Chen S., Zou C., Dong B. The Association Between Telomere Length and Frailty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Exp. Gerontol.*, 2018, vol. 106, pp. 16–20. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2018.02.030>

32. Bountziouka V., Nelson C.P., Codd V., Wang Q., Musicha C., Allara E., Kaptoge S., Di Angelantonio E., Butterworth A.S., Thompson J.R., Curtis E.M., Wood A.M., Danesh J.N., Harvey N.C., Cooper C., Samani N.J. Association of Shorter Leucocyte Telomere Length with Risk of Frailty. *J. Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2022, vol. 13, no. 3, pp. 1741–1751. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12971>

33. Sellami M., Bragazzi N., Prince M.S., Denham J., Elrayess M. Regular, Intense Exercise Training as a Healthy Aging Lifestyle Strategy: Preventing DNA Damage, Telomere Shortening and Adverse DNA Methylation Changes Over a Lifetime. *Front. Genet.*, 2021, vol. 12. Art. no. 652497. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.652497>

Поступила в редакцию 26.02.2025 / Одобрена после рецензирования 21.04.2025 / Принята к публикации 23.04.2025
Submitted 26 February 2025 / Approved after reviewing 21 April 2025 / Accepted for publication 23 April 2025

Журнал медико-биологических исследований. 2026. Т. 14, № 1. С. 73–89.
Journal of Medical and Biological Research, 2026, vol. 14, no. 1, pp. 73–89.



Обзорная статья

УДК [616.36+59.084]:[616.379-008.64+612.766.1]

DOI: 10.37482/2687-1491-Z271

Влияние различных типов физической нагрузки на функциональное состояние печени мышей при диабете 2-го типа (обзор)

Юйфэнь Юнь* ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8495-207X>

Елена Юрьевна Дьякова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7653-2386>

Сяньбо Цюй* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0237-7915>

*Национальный исследовательский Томский государственный университет
(Томск, Россия)

Аннотация. Сахарный диабет 2-го типа вызывает комплексные системные нарушения, при этом печень, будучи центральным органом углеводного и липидного обмена, является одной из основных мишеней хронических диабетических осложнений. Регулярная физическая активность рассматривается как эффективное немедикаментозное средство коррекции метаболических расстройств, связанных с указанным заболеванием. **Цель** настоящего обзора – сравнительный анализ влияния различных форм физической активности на показатели функционального состояния печени у животных с экспериментальной моделью сахарного диабета 2-го типа. **Материалы и методы.** Выполнен сетевой метаанализ, охватывающий 38 рандомизированных контролируемых исследований (суммарно – с участием 601 мышши). Данные были собраны из баз Web of Science, PubMed, Scopus, CNKI и EBSCO. Рассматривались следующие виды нагрузок: аэробные и силовые тренировки, плавание, высокоинтенсивные интервальные тренировки, тренировки средней интенсивности, а также спонтанная двигательная активность. В качестве исходных критериев оценки учитывались уровни аланинаминотрансферазы (ALT), аспаргатаминотрансферазы (AST), триглицеридов, липопротеинов высокой (ЛПВП) и низкой (ЛПНП) плотности, а также активность фосфоенолпируваткарбокскиназы (PEPCK). **Результаты.** Анализ выявил, что высокоинтенсивные интервальные тренировки оказывали наиболее выраженное воздействие на функциональное состояние печени мышшей с сахарным диабетом 2-го типа, обеспечивая значительное снижение уровней ALT и триглицеридов при одновременном повышении концентрации ЛПВП. Силовые тренировки продемонстрировали преимущество в снижении уровней AST, ЛПНП и активности PEPCK. Плавание и тренировки средней интенсивности также положительно влияли на ряд биомаркеров, однако их эффект был менее выраженным. На основании полученных данных можно сделать вывод, что высокоинтенсивные интервальные тренировки и силовые тренировки могут быть более эффективными стратегиями для регуляции метаболизма печени у мышшей с сахарным диабетом 2-го типа. Эти результаты подчеркивают потенциал физической активности как безопасного и доступного метода коррекции диабетических нарушений печени, действенность которого требует дальнейшего подтверждения в клинических исследованиях.

© Юнь Ю., Дьякова Е.Ю., Цюй С., 2026

Ответственный за переписку: Юйфэнь Юнь, адрес: 634050, г. Томск, просп. Ленина, д. 36; e-mail: q634920875@163.com

Ключевые слова: сахарный диабет 2-го типа, функциональное состояние печени, липидный обмен, силовые тренировки, высокоинтенсивные интервальные тренировки, сетевой метаанализ

Для цитирования: Юнь, Юйфэн. Влияние различных типов физической нагрузки на функциональное состояние печени мышей при диабете 2-го типа (обзор) / Ю. Юнь, Е. Ю. Дьякова, С. Цюй // Журнал медико-биологических исследований. – 2026. – Т. 14, № 1. – С. 73-89. – DOI 10.37482/2687-1491-Z271.

Review article

Effects of Different Types of Exercise on Liver Function in Type 2 Diabetes in Mice (Review)

Yuyfeng Yun* ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8495-207X>
Elena Yu. Dyakova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7653-2386>
Xianbo Qu* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0237-7915>

*Tomsk State University
(Tomsk, Russia)

Abstract. Type 2 diabetes mellitus (T2DM) is a chronic metabolic disorder that affects multiple organ systems. The liver serves as a central regulator of carbohydrate and lipid homeostasis and represents a major target of diabetic complications. Regular physical activity is acknowledged as an effective non-pharmacological intervention for improving metabolic control in diabetes. The **purpose** of this review was a comparative analysis of the effects of different exercise modalities on liver-related biomarkers in animals with T2DM. **Materials and methods.** A network meta-analysis of 38 randomized controlled trials with a total of 601 animals involved was conducted. The following databases were searched: Web of Science, PubMed, Scopus, CNKI and EBSCO. Six categories of exercise interventions were analysed: aerobic training, resistance training, swimming, high-intensity interval training, moderate-intensity continuous training, and voluntary wheel running. The initial assessment criteria included alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST), hepatic triglyceride, high-density lipoprotein (HDL) and low-density lipoprotein (LDL) levels as well as phosphoenolpyruvate carboxykinase (PEPCK) enzymatic activity. **Results.** High-intensity interval training showed the greatest effectiveness in reducing ALT and hepatic triglyceride levels as well as increasing HDL concentrations in mice with T2DM. Resistance training was most effective in lowering AST and LDL as well as in PEPCK activity. Swimming and moderate-intensity continuous training had a positive, albeit less pronounced, influence on certain biomarkers. The findings indicate that high-intensity interval training and resistance training can be more effective strategies for modulating hepatic metabolism in mice with T2DM. These results underscore the potential of physical exercise as a safe and accessible adjunct to the management of diabetes-induced liver dysfunction. However, additional clinical studies in human populations are needed to substantiate these effects.

Keywords: type 2 diabetes mellitus, liver function, lipid metabolism, resistance training, high-intensity interval training, network meta-analysis

Corresponding author: Yuyfeng Yun, address: prosp. Lenina 36, Tomsk, 634050, Russia; e-mail: q634920875@163.com

For citation: Yun Y., Dyakova E.Yu., Qu X. Effects of Different Types of Exercise on Liver Function in Type 2 Diabetes in Mice (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2026, vol. 14, no. 1, pp. 73–89. DOI: 10.37482/2687-1491-Z271

Сахарный диабет – одно из наиболее распространенных хронических метаболических заболеваний, основным проявлением которого при 2-м типе (СД2) служит стойкая гипергликемия [1]. Заболевания печени встречаются у 70 % лиц с СД2 [2], и они являются одной из ведущих причин смерти таких пациентов [3]. Печень выполняет ключевую функцию в регуляции углеводного обмена [4]. Согласно данным исследования [5], у больных СД2 наблюдается выраженное снижение уровня липопротеинов высокой плотности (ЛПВП) и одновременное увеличение уровня липопротеинов низкой плотности (ЛПНП), что ускоряет развитие атеросклеротических изменений. При этом отмечается значительное повышение активности аспаратаминотрансферазы (AST) и аланинаминотрансферазы (ALT), тесно коррелирующей с уровнем триглицеридов [6]. Глюконеогенез в печени контролируется активностью фосфоенолпируваткарбоксихиназы (PEPCK) [7]. Инсулин подавляет глюконеогенез в печени, блокируя PEPCK; при нарушении инсулинового сигнала отсутствие этого блокирующего эффекта приводит к повышению секреции глюкозы и гипергликемии натощак [8]. Дисбаланс процессов глюконеогенеза в печени рассматривается как один из ведущих механизмов формирования гипергликемии при СД2 [9].

Транскрипционный фактор FOXO1, регулирующий элементы инсулинового сигнального каскада, активно экспрессируется в печени; при инсулинорезистентности нарушается инсулин-опосредованное фосфорилирование FOXO1 и его ядерно-цитоплазматическая регуляция [10]. Избыточная экспрессия FOXO1 активирует PEPCK, что ведет к усилению глюконеогенеза, гипергликемии и нарушениям липидного обмена [11].

Имеющиеся данные свидетельствуют, что регулярные физические нагрузки положи-

тельно влияют на печеночный метаболизм, уменьшают выраженность инсулинорезистентности и замедляют прогрессирование СД2 и ожирения [12]. Экспериментальные работы на животных показали, что аэробные тренировки повышают чувствительность печени к инсулину при СД2 и ожирении, активируют фосфорилирование регуляторных белков и снижают экспрессию PEPCK, что приводит к ослаблению глюконеогенеза. Кроме того, доказано, что длительные тренировки средней интенсивности (например, плавание или бег) способствуют уменьшению концентраций триглицеридов и ЛПНП при одновременном увеличении уровня ЛПВП [13]. Однако в научной литературе практически отсутствуют прямые сопоставления эффективности различных тренировочных режимов. В связи с этим целью настоящего исследования стал сетевой метаанализ по 8 ключевым показателям, связанным с функцией печени, для выявления наиболее оптимальных режимов физических нагрузок, поддерживающих работу данного органа у животных с СД2.

Материалы и методы. Проведен поиск данных в базах Web of Science, PubMed, Scopus, CNKI и EBSCO до 1 мая 2025 года. Поисковые запросы включали такие термины, как «type 2 diabetes», «T2DM», «exercises», «liver», «hepatic». Применялась комбинация предметных заголовков и свободных терминов.

Критерии включения: 1) исследования на мышах, у которых был индуцирован СД2 (включенные работы задействовали две наиболее распространенные экспериментальные модели СД2 – диету с высоким содержанием жиров и инъекцию стрептозотоцина); 2) рандомизированные контролируемые испытания с использованием физических упражнений в качестве терапии; 3) отсутствие значимых различий в исходных показате-

лях до вмешательства; 4) контроль следующих показателей: уровни триглицеридов в печени, ЛПВП и ЛПНП, ALT и AST, а также экспрессии PEPCK; 5) применение в качестве вмешательства одной из следующих тренировок: регулярный бег, добровольный бег в колесе, силовые упражнения, тренировки средней интенсивности (непрерывный бег на тредмиле при интенсивности 50–70 % от максимального потребления кислорода), высокоинтенсивные интервальные тренировки (интервальный бег на тредмиле при интенсивности 80–95 % от максимального потребления кислорода с периодами активного отдыха), плавание.

Критерии исключения: 1) отсутствие релевантных показателей результатов или недоступность данных; 2) исследования на недиабетических мышах, обзоры; 3) отсутствие указания типа физической активности.

Извлеченные данные были предварительно обработаны в программе Excel 2016 и преобразованы в форму среднего значения и стандартного отклонения для выявления разницы до и после вмешательства. Сетевой метаанализ был проведен с использованием программы Stata 16.0 с применением частотной модели со случайными эффектами (random-effects model). Результаты представлялись в виде

стандартизированной разности средних (SMD, представляет собой безразмерный показатель величины эффекта, использовался для объединения результатов исследований, в которых оценивались одни и те же биомаркеры, но могли применяться различные методы их измерения) и 95 %-го доверительного интервала (95% CI). Сравнение видов физических нагрузок и оценка достоверности различий проводились в рамках указанной модели, статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$. Для оценки согласованности между прямыми и косвенными доказательствами применялся глобальный тест Вальда (Wald test). Для каждого показателя был построен сетевой график, где различные типы упражнений представлены в виде узлов, размер которых зависит от размера выборки. Лучшая методика упражнений была определена на основе площади под кривой ранжирования (Surface Under the Cumulative Ranking, SUCRA). Наличие эффекта малой выборки или смещения публикаций оценивалось с использованием графиков воронок [14].

Результаты. В процессе поиска было найдено 1408 статей. После исключения дубликатов и несоответствующих работ было отобрано 38 исследований, соответствующих критериям, суммарно с участием 601 мыши (рис. 1).

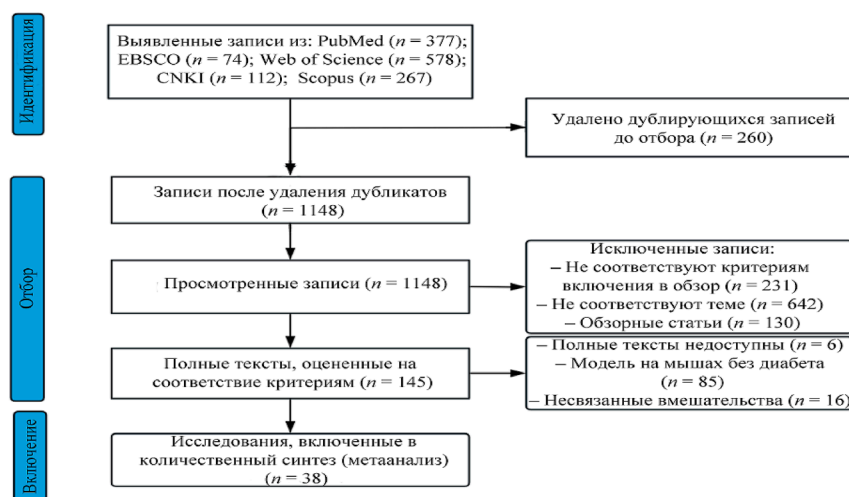


Рис. 1. Процесс и результаты скрининга научной литературы

Fig. 1. Process and results of literature screening

Сетевая структура (рис. 2) показала, что исследования с аэробными упражнениями [13, 15–31] и плаванием [32–38] имеют наибольший размер выборки. Объем выборки для других видов вмешательств, таких как силовые упражнения [39–44] и добровольная физическая активность [45], меньше, что визуализируется малым размером соответствующих узлов на сетевой диаграмме. В 5 исследованиях напрямую сравниваются тренировки средней интенсивности и высокоинтенсивные интервальные тренировки [46–50]. В одном – рассматриваются исключительно высокоинтенсивные интервальные тренировки [51].

Регулярные беговые тренировки у мышей с СД2 приводили к статистически значимому снижению уровня триглицеридов в печени по сравнению с седентарной контрольной группой с СД2 (SMD = $-4,19$; 95% CI: $-6,48...-1,89$; $p < 0,05$). Отрицательное значение безразмерного показателя SMD указывает на уменьшение уровня липидов относительно контроля, а отсутствие пересечения 95% CI с нулевой отметкой подтверждает статистическую достоверность эффекта. Также значимый эффект наблюдался при выполнении силовых упражнений по сравнению с седентарной контрольной группой с СД2 (SMD = $-3,88$; 95% CI: $-7,24...-0,52$;

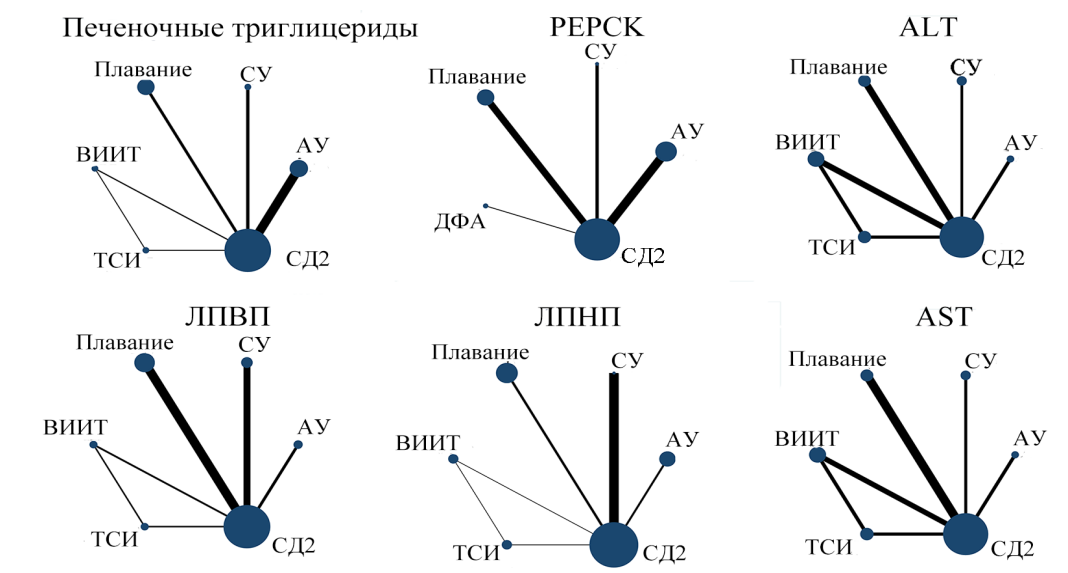


Рис. 2. Сетевая диаграмма взаимосвязей между типами тренировочных программ и исследуемыми показателями функционального состояния печени мышей с СД2 (размер каждого узла (круга) прямо пропорционален общему количеству животных в соответствующей группе вмешательства; толщина линий, соединяющих узлы, отражает количество независимых прямых сравнений между конкретными видами тренировок): АУ – аэробные упражнения (регулярный бег); СИ – силовые упражнения; ВИИТ – высокоинтенсивные интервальные тренировки; ТСИ – тренировки средней интенсивности; ДФА – добровольная физическая активность (свободный бег в колесе)

Fig. 2. Network diagram of the relationships between different types of training and the studied liver parameters in mice with T2DM (the size of each node (circle) is directly proportional to the total number of animals in the corresponding intervention group; the thickness of the lines connecting the nodes reflects the number of independent direct comparisons between the specific types of training): АУ – aerobic exercise (regular running); СИ – resistance training; ВИИТ – high-intensity interval training; ТСИ – moderate-intensity continuous training; ДФА – voluntary wheel running

$p < 0,05$). Кроме того, беговые тренировки оказались эффективнее плавания ($SMD = -3,79$; $95\% \text{ CI: } -6,93 \dots -0,66$; $p < 0,05$). Статистически значимых различий между другими видами интервенций не обнаружено ($p > 0,05$). Подробные данные представлены на *рис. 3*.

При оценке эффекта малой выборки и смещения публикаций с использованием графиков воронок установлено, что большинство точек находилось внутри границ воронкообразного графика, симметрия диаграммы сохранялась, существенного риска публикационного смещения не выявлено (*рис. 4*).

Обсуждение. Проведенный сравнительный анализ влияния различных режимов физической активности на функциональное состояние печени мышей с СД2 установил, что высокоинтенсивные интервальные тренировки обеспечивают наиболее выраженный положительный эффект: наблюдалось существенное снижение уровней триглицеридов и АЛТ при одновременном росте концентрации ЛПНП. В то же время силовые тренировки продемонстрировали преимущество в уменьшении уровней АСТ, ЛПНП и активности РЕРСК.

Предшествующие исследования убедительно доказали, что содержание триглицеридов в печени тесно связано с ожирением и СД2 [52], а снижение их уровня сопровождается улучшением чувствительности к инсулину [53]. У пациентов с СД2 повышение концентрации триглицеридов в печени ассоциируется с высоким уровнем ЛПНП и выраженной инсулинорезистентностью [54, 55]. В сравнении с традиционными аэробными тренировками средней интенсивности, высокоинтенсивные интервальные тренировки демонстрируют большую эффективность в улучшении физической работоспособности, снижении уровня ЛПНП и повышении концентрации ЛПВП [56]. Несмотря на данные R. Marinho et al. о том, что физические нагрузки могут приводить к увеличению уровня триглицеридов [15], что может зависеть от типа и интенсивности упражнений, результаты проведенного нами метаанализа показали: физическая активность

в целом способствует снижению содержания триглицеридов в печени у животных с СД2. В то же время наши данные позволяют предположить, что наиболее эффективным режимом для уменьшения уровня печеночных триглицеридов у животных с СД2 являются именно высокоинтенсивные интервальные тренировки. При гипертриглицеридемии триглицериды попадают в частицы ЛПНП и ЛПВП, а затем удаляются из них с помощью печеночной липазы [57]. ЛПВП и ЛПНП транспортируют холестерин из окружающих тканей, и уровень ЛПВП понижается при диабете 1-го и 2-го типа, а также у лиц с нарушенной толерантностью к глюкозе [58]. Клиническое исследование [59] установило, что у диабетиков высокий уровень ЛПНП и низкий уровень ЛПВП, а также высокое содержание триглицеридов являются важными предикторами смертности. Печень содержит около 70 % рецепторов для ЛПНП, и их активность определяет уровень данных липопротеинов в плазме [60]. Результаты нашего исследования показали, что высокоинтенсивные интервальные тренировки более эффективно влияют на уровни триглицеридов и ЛПВП в печени; это может быть связано с механизмом взаимодействия триглицеридов и ЛПВП.

Согласно данным Q. Liu et al., у мышей с СД2 экспрессия РЕРСК в печени значительно повышена, что может привести к увеличению уровня глюкозы [61]. Физическая активность регулирует экспрессию генов глюконеогенеза и инсулинорезистентности [62].

Физическая активность может обратить вспять снижение уровня гликогена в печени у диабетических животных [63]. Плавание и краткосрочные силовые тренировки способствуют повышению содержания гликогена в печени, усиливая фосфорилирование FOXO1, что приводит к уменьшению активности РЕРСК и концентрации глюкозы [64]. Наш метаанализ также подтвердил, что различные виды физических упражнений способствуют снижению активности РЕРСК в печени. Наиболее эффективной в этом отношении оказалась силовая тренировка.

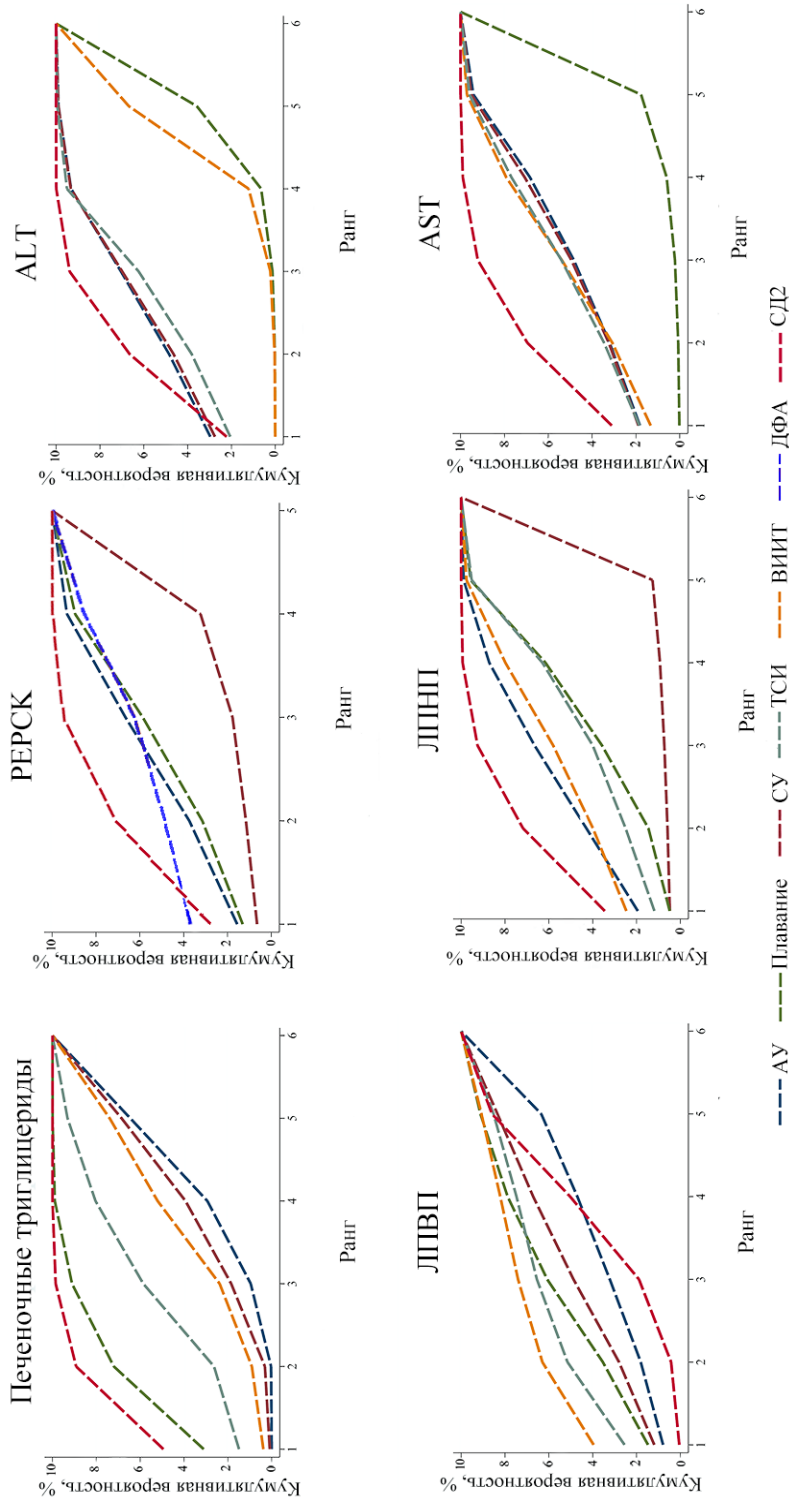


Рис. 3. Кумулятивные вероятности ранжирования эффективности тренировочных программ в улучшении показателей функционального состояния печени у мышей с СД2 (ранг 1 соответствует наименьшей эффективности; площадь под кривой (SUCRA) отражает вероятность занятия лидирующего ранга; обозначения – см. рис. 2)

Fig. 3. Cumulative probabilities of ranking the effectiveness of different types of training in improving liver function in mice with T2DM (rank 1 is the least effective; the area under the curve (SUCRA) reflects the probability of having the highest rank; for legend see Fig. 2)

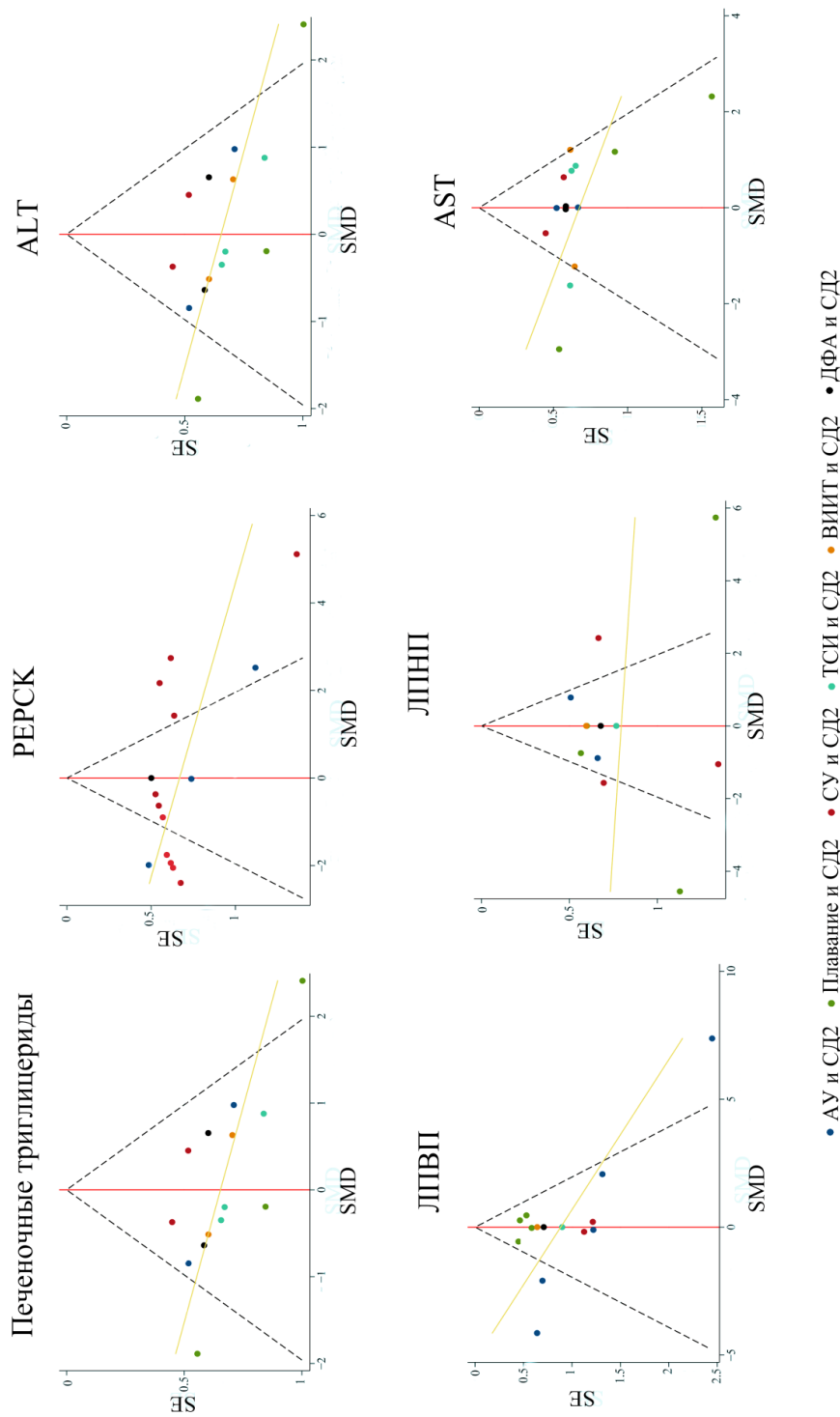


Рис. 4. Воронкообразная диаграмма оценки публикационного смещения: SMD – стандартизованная разность средних в отношении эффективности различных типов тренировочных программ; SE – стандартная ошибка; пунктирная область – 95% CI (визуальная симметрия указывает на отсутствие значимого смещения публикаций); желтая прямая – линия регрессии (тест Эггера) для оценки асимметрии воронки

Fig. 4. Funnel plot for assessing publication bias: SMD – standardized mean difference in the effectiveness of different types of training; SE – standard error; the dotted area is 95% CI (visual symmetry indicates the absence of a significant publication bias); yellow line – regression line (Egger's test) for assessing funnel plot asymmetry

AST и ALT используются как биохимические маркеры повреждения печени и потенциальные индикаторы инсулинорезистентности [65]. У пациентов с СД2 уровни этих ферментов значительно повышены [66]. Начальная стадия СД2 сопровождается накоплением жира в печени, что также приводит к увеличению уровней этих ферментов. Силовые тренировки регулируют липидный обмен и уменьшают образование жира в печени [67]. Независимо от изменений массы тела, физическая активность снижает уровни AST и ALT, вероятно благодаря ослаблению инсулинорезистентности. Аэробные, силовые и высокоинтенсивные интервальные тренировки способствуют уменьшению уровней AST и ALT [68], что согласуется с нашими результатами. Нами также было обнаружено, что среди различных режимов физических нагрузок высокоинтенсивные интервальные тренировки наиболее эффективно снижают уровень ALT, в то время как силовые тренировки – уровень AST.

Ограничения исследования:

1. Включенные в обзор эксперименты были выполнены на животных с использованием двух моделей СД2, которые различаются по патогенетическим механизмам и могут оказывать влияние на полученные результаты.

2. Данный метаанализ был сфокусирован на сопоставлении эффективности типов физических нагрузок, в то время как детальное сравне-

ние влияния различных уровней интенсивности и продолжительности упражнений не входило в задачи работы. В связи с этим в дальнейшем целесообразно проведение исследований, направленных на систематическую оценку воздействия именно интенсивности физических нагрузок на метаболические показатели при СД2.

Наш метаанализ установил, что различные типы физических упражнений оказывают неодинаковое влияние на функциональные показатели печени у мышей с СД2. Наибольший положительный эффект выявлен при высокоинтенсивных интервальных тренировках, которые способствовали выраженному снижению уровней ALT и триглицеридов, а также увеличению концентрации ЛПВП. Силовые тренировки обеспечивали преимущественное уменьшение уровней AST, ЛПНП и активности ПЕРСК, что отражает улучшение глюконеогенеза и липидного обмена в печени. Таким образом, физическая активность, особенно высокоинтенсивные интервальные тренировки и силовые упражнения, представляет собой наиболее эффективную немедикаментозную стратегию для коррекции нарушений печеночного метаболизма при СД2. Однако, учитывая физиологические различия между мышами и людьми, полученные результаты требуют дальнейших исследований перед возможным применением в клинической практике.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Tomic D., Shaw J.E., Magliano D.J. The Burden and Risks of Emerging Complications of Diabetes Mellitus // Nat. Rev. Endocrinol. 2022. Vol. 18, № 9. P. 525–539. <https://doi.org/10.1038/s41574-022-00690-7>
2. Lee C.-H., Lui D.T.W., Lam K.S.L. Non-Alcoholic Fatty Liver Disease and Type 2 Diabetes: An Update // J. Diabetes Investig. 2022. Vol. 13, № 6. P. 930–940. <https://doi.org/10.1111/jdi.13756>
3. Bergman R.N., Piccinini F., Kabir M., Kolka C.M., Ader M. Hypothesis: Role of Reduced Hepatic Insulin Clearance in the Pathogenesis of Type 2 Diabetes // Diabetes. 2019. Vol. 68, № 9. P. 1709–1716. <https://doi.org/10.2337/db19-0098>
4. Ciardullo S., Perseghin G. Prevalence of Elevated Liver Stiffness in Patients with Type 1 and Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis // Diabetes Res. Clin. Pract. 2022. Vol. 190. Art. № 109981. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2022.109981>

5. Duckworth W.C., Bennett R.G., Hamel F.G. Insulin Degradation: Progress and Potential // *Endocr. Rev.* 1998. Vol. 19, № 5. P. 608–624. <https://doi.org/10.1210/edrv.19.5.0349>
6. Fazio S., Linton M.F. Mouse Models of Hyperlipidemia and Atherosclerosis // *Front. Biosci.* 2001. Vol. 6. P. D515–D525. <https://doi.org/10.2741/fazio>
7. Feng J., Zhang Q., Chen B., Chen J., Wang W., Hu Y., Yu J., Huang H. Effects of High-Intensity Intermittent Exercise on Glucose and Lipid Metabolism in Type 2 Diabetes Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2024. Vol. 15. Art. № 1360998. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1360998>
8. Galderisi A., Polidori D., Weiss R., Giannini C., Pierpont B., Tricò D., Caprio S. Lower Insulin Clearance Parallels a Reduced Insulin Sensitivity in Obese Youths and Is Associated with a Decline in β -Cell Function over Time // *Diabetes*. 2019. Vol. 68, № 11. P. 2074–2084. <https://doi.org/10.2337/db19-0120>
9. Gan S.K., Kriketos A.D., Ellis B.A., Thompson C.H., Kraegen E.W., Chisholm D.J. Changes in Aerobic Capacity and Visceral Fat but Not Myocyte Lipid Levels Predict Increased Insulin Action After Exercise in Overweight and Obese Men // *Diabetes Care*. 2003. Vol. 26, № 6. P. 1706–1713. <https://doi.org/10.2337/diacare.26.6.1706>
10. Gu L., Ding X., Wang Y., Gu M., Zhang J., Yan S., Li N., Song Z., Yin J., Lu L., Peng Y. Spexin Alleviates Insulin Resistance and Inhibits Hepatic Gluconeogenesis via the FoxO1/PGC-1 α Pathway in High-Fat-Diet-Induced Rats and Insulin Resistant Cells // *Int. J. Biol. Sci.* 2019. Vol. 15, № 13. P. 2815–2829. <https://doi.org/10.7150/ijbs.31781>
11. Hoene M., Lehmann R., Hennige A.M., Pohl A.K., Häring H.U., Schleicher E.D., Weigert C. Acute Regulation of Metabolic Genes and Insulin Receptor Substrates in the Liver of Mice by One Single Bout of Treadmill Exercise // *J. Physiol.* 2009. Vol. 587, № 1. P. 241–252. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.160275>
12. Kanaley J.A., Colberg S.R., Corcoran M.H., Malin S.K., Rodriguez N.R., Crespo C.J., Kirwan J.P., Zierath J.R. Exercise/Physical Activity in Individuals with Type 2 Diabetes: A Consensus Statement from the American College of Sports Medicine // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2022. Vol. 54, № 2. P. 353–368. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002800>
13. Kazeminasab F., Baharlooie M., Rezazadeh H., Soltani N., Rosenkranz S.K. The Effects of Aerobic Exercise on Liver Function, Insulin Resistance, and Lipid Profiles in Prediabetic and Type 2 Diabetic Mice // *Physiol. Behav.* 2023. Vol. 271. Art. № 114340. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114340>
14. Liu J.L. The Role of the Funnel Plot in Detecting Publication and Related Biases in Meta-Analysis // *Evid. Based Dent.* 2011. Vol. 12, № 4. P. 121–122. <https://doi.org/10.1038/sj.ebd.6400831>
15. Marinho R., Ropelle E.R., Cintra D.E., De Souza C.T., Da Silva A.S., Bertoli F.C., Colantonio E., D’Almeida V., Pauli J.R. Endurance Exercise Training Increases APPL1 Expression and Improves Insulin Signaling in the Hepatic Tissue of Diet-Induced Obese Mice, Independently of Weight Loss // *J. Cell. Physiol.* 2012. Vol. 227, № 7. P. 2917–2926. <https://doi.org/10.1002/jcp.23037>
16. Brust K.B., Corbell K.A., Al-Nakkash L., Babu J.R., Broderick T.L. Expression of Gluconeogenic Enzymes and 11 β -Hydroxysteroid Dehydrogenase Type 1 in Liver of Diabetic Mice After Acute Exercise // *Diabetes Metab. Syndr. Obes.* 2014. Vol. 7. P. 495–504. <https://doi.org/10.2147/dms.o.s70767>
17. Heled Y., Shapiro Y., Shani Y., Moran D.S., Langzam L., Barash V., Sampson S.R., Meyerovitch J. Physical Exercise Enhances Hepatic Insulin Signaling and Inhibits Phosphoenolpyruvate Carboxykinase Activity in Diabetes-Prone *Psammomys obesus* // *Metabolism*. 2004. Vol. 53, № 7. P. 836–841. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2004.02.006>
18. Gomes R.J., de Oliveira C.A.M., Ribeiro C., de Alencar Mota C.S., Moura L.P., Cesar Tognoli L.M.M., de Almeida Leme J.A.C., Luciano E., de Mello M.A.R. Effects of Exercise Training on Hippocampus Concentrations of Insulin and IGF-1 in Diabetic Rats // *Hippocampus*. 2009. Vol. 19, № 10. P. 981–987. <https://doi.org/10.1002/hipo.20636>
19. Stevanović-Silva J., Beleza J., Coxito P., Oliveira P.J., Ascensão A., Magalhães J. Gestational Exercise Antagonises the Impact of Maternal High-Fat High-Sucrose Diet on Liver Mitochondrial Alterations and Quality Control Signalling in Male Offspring // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2023. Vol. 20, № 2. Art. № 1388. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021388>
20. Lin X., Qu J., Yin L., Wang R., Wang X. Aerobic Exercise-Induced Decrease of Chemerin Improved Glucose and Lipid Metabolism and Fatty Liver of Diabetes Mice Through Key Metabolism Enzymes and Proteins // *Biochim. Biophys. Acta Mol. Cell Biol. Lipids*. 2023. Vol. 1868, № 12. Art. № 159409. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2023.159409>
21. Zhang Y., Ye T., Zhou P., Li R., Liu Z., Xie J., Hua T., Sun Q. Exercise Ameliorates Insulin Resistance and Improves ASK1-Mediated Insulin Signalling in Obese Rats // *J. Cell. Mol. Med.* 2021. Vol. 25, № 23. P. 10930–10938. <https://doi.org/10.1111/jcmm.16994>

22. Moura L.P., Puga G.M., Beck W.R., Teixeira I.P., Ghezzi A.C., Silva G.A., Mello M.A.R. Exercise and *Spirulina* Control Non-Alcoholic Hepatic Steatosis and Lipid Profile in Diabetic Wistar Rats // *Lipids Health Dis.* 2011. Vol. 10. Art. № 77. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-10-77>
23. Lima T.I., Monteiro I.C., Valença S., Leal-Cardoso J.H., Fortunato R.S., Carvalho D.P., Teodoro B.G., Ceccatto V.M. Effect of Exercise Training on Liver Antioxidant Enzymes in STZ-Diabetic Rats // *Life Sci.* 2015. Vol. 128. P. 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2015.01.031>
24. Kuga G.K., Gaspar R.C., Muñoz V.R., Nakandakari S.C.B.R., Breda L., Sandoval B.M., Caetano F.H., Leme J.A.C.A., Pauli J.R., Gomes R.J. Physical Training Reverses Changes in Hepatic Mitochondrial Diameter of Alloxan-Induced Diabetic Rats // *Einstein (São Paulo)*. 2018. Vol. 16, № 3. Art. № eAO4353. <https://doi.org/10.1590/S1679-45082018AO4353>
25. de Bem G.F., da Costa C.A., da Silva Cristino Cordeiro V., Santos I.B., de Carvalho L.C.R.M., de Andrade Soares R., Ribeiro J.H., de Souza M.A.V., da Cunha Sousa P.J., Ognibene D.T., Resende A.C., de Moura R.S. *Euterpe oleracea* Mart. (açai) Seed Extract Associated with Exercise Training Reduces Hepatic Steatosis in Type 2 Diabetic Male Rats // *J. Nutr. Biochem.* 2018. Vol. 52. P. 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2017.09.021>
26. Katar M., Gevrek F. Relation of the Intense Physical Exercise and Asprosin Concentrations in Type 2 Diabetic Rats // *Tissue Cell.* 2024. Vol. 90. Art. № 102501. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2024.102501>
27. Lin X.-J., Yang H.-F., Wang X.-H. Effects of Aerobic Exercise and Dieting on Chemerin and Its Receptor CMKLR1 in the Livers of Type 2 Diabetic Rats // *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi.* 2017. Vol. 33, № 5. P. 426–430. <https://doi.org/10.12047/j.cjap.5495.2017.103>
28. Yi X., Cao S., Chang B., Zhao D., Gao H., Wan Y., Shi J., Wei W., Guan Y. Effects of Acute Exercise and Chronic Exercise on the Liver Leptin-AMPK-ACC Signaling Pathway in Rats with Type 2 Diabetes // *J. Diabetes Res.* 2013. Vol. 2013. Art. № 946432. <https://doi.org/10.1155/2013/946432>
29. Gomes R.J., de Almeida Leme J.A.C., de Moura L.P., de Araújo M.B., Rogatto G.P., de Moura R.F., Luciano E., de Mello M.A.R. Growth Factors and Glucose Homeostasis in Diabetic Rats: Effects of Exercise Training // *Cell Biochem. Funct.* 2009. Vol. 27, № 4. P. 199–204. <https://doi.org/10.1002/cbf.1556>
30. Baldissera G., Sperotto N.D.M., Rosa H.T., Henn J.G., Peres V.F., Moura D.J., Roehrs R., Denardin E.L.G., Dal Lago P., Nunes R.B., Saffi J. Effects of Crude Hydroalcoholic Extract of *Syzygium cumini* (L.) Skeels Leaves and Continuous Aerobic Training in Rats with Diabetes Induced by a High-Fat Diet and Low Doses of Streptozotocin // *J. Ethnopharmacol.* 2016. Vol. 194. P. 1012–1021. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.10.076>
31. de Almeida Leme J.A.C., Gomes R.J., de Mello M.A.R., Caetano F.H., Luciano E. Effects of Short-Term Physical Training on the Liver IGF-I in Diabetic Rats // *Growth Factors.* 2007. Vol. 25, № 1. P. 9–14. <https://doi.org/10.1080/08977190701210693>
32. Leme J.A.C.A., Silveira R.F., Gomes R.J., Moura R.F., Sibuya C.A., Mello M.A., Luciano E. Long-Term Physical Training Increases Liver IGF-I in Diabetic Rats // *Growth Horm. IGF Res.* 2009. Vol. 19, № 3. P. 262–266. <https://doi.org/10.1016/j.ghir.2008.12.004>
33. Ropelle E.R., Pauli J.R., Cintra D.E., Frederico M.J.S., de Pinho R.A., Velloso L.A., De Souza C.T. Acute Exercise Modulates the Foxo1/PGC-1 α Pathway in the Liver of Diet-Induced Obesity Rats // *J. Physiol.* 2009. Vol. 587, № 9. P. 2069–2076. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.164202>
34. Kolieb E., Maher S.A., Shalaby M.N., Alsuhaibani A.M., Alharthi A., Hassan W.A., El-Sayed K. Vitamin D and Swimming Exercise Prevent Obesity in Rats Under a High-Fat Diet via Targeting FATP4 and TLR4 in the Liver and Adipose Tissue // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022. Vol. 19, № 21. Art. № 13740. <https://doi.org/10.3390/ijerph192113740>
35. Huang L., Yue P., Wu X., Yu T., Wang Y., Zhou J., Kong D., Chen K. Combined Intervention of Swimming Plus Metformin Ameliorates the Insulin Resistance and Impaired Lipid Metabolism in Murine Gestational Diabetes Mellitus // *PLoS One.* 2018. Vol. 13, № 4. Art. № e0195609. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195609>
36. Sakr H.F., Abbas A.M., Haidara M.A. Swimming, but Not Vitamin E, Ameliorates Prothrombotic State and Hypofibrinolysis in a Rat Model of Nonalcoholic Fatty Liver Disease // *J. Basic Clin. Physiol. Pharmacol.* 2018. Vol. 29, № 1. P. 61–71. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2017-0069>
37. Lima A.F., Ropelle E.R., Pauli J.R., Cintra D.E., Frederico M.J.S., Pinho R.A., Velloso L.A., De Souza C.T. Acute Exercise Reduces Insulin Resistance-Induced TRB3 Expression and Amelioration of the Hepatic Production of Glucose in the Liver of Diabetic Mice // *J. Cell. Physiol.* 2009. Vol. 221, № 1. P. 92–97. <https://doi.org/10.1002/jcp.21833>

38. Bicer M., Gunay M., Akil M., Avunduk M.C., Mogulkoc R., Baltaci A.K. Effect of Long-Term Intraperitoneal Zinc Administration on Liver Glycogen Levels in Diabetic Rats Subjected to Acute Forced Swimming // *Biol. Trace Elem. Res.* 2011. Vol. 139, № 3. P. 317–324. <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8658-5>
39. Pereira R.M., da Cruz Rodrigues K.C., Anaruma C.P., Sant'Ana M.R., Pereira de Campos T.D., Gaspar R.S., Canciglieri R.S., de Melo D.G., Mekary R.A., Ramos da Silva A.S., Cintra D.E., Ropelle E.R., Pauli J.R., de Moura L.P. Short-Term Strength Training Reduces Gluconeogenesis and NAFLD in Obese Mice // *J. Endocrinol.* 2019. Vol. 241, № 1. P. 59–70. <https://doi.org/10.1530/JOE-18-0567>
40. Vivero A., Ruz M., Rivera M., Miranda K., Sacristán C., Espinosa A., Codoceo J., Inostroza J., Vásquez K., Pérez Á., García-Díaz D., Arredondo M. Zinc Supplementation and Strength Exercise in Rats with Type 2 Diabetes: Akt and PTP1B Phosphorylation in Nonalcoholic Fatty Liver // *Biol. Trace Elem. Res.* 2021. Vol. 199, № 6. P. 2215–2224. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02324-3>
41. Pereira R.M., da Cruz Rodrigues K.C., Sant'Ana M.R., da Rocha A.L., Morelli A.P., Veras A.S.C., Gaspar R.S., da Costa Fernandes C.J., Teixeira G.R., Simabuco F.M., da Silva A.S.R., Cintra D.E., Ropelle E.R., Pauli J.R., de Moura L.P. FOXO1 Is Downregulated in Obese Mice Subjected to Short-Term Strength Training // *J. Cell. Physiol.* 2022. Vol. 237, № 11. P. 4262–4274. <https://doi.org/10.1002/jcp.30882>
42. Júnior A.S.S., Aidar F.J., Dos Santos J.L., Dos Santos Estevam C., Dos Santos J.D.M., de Oliveira e Silva A.M., Lima F.B., De Araújo S.S., Marçal A.C. Effects of Resistance Training and Turmeric Supplementation on Reactive Species Marker Stress in Diabetic Rats // *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 2020. Vol. 12. Art. № 45. <https://doi.org/10.1186/s13102-020-00194-9>
43. Zarrinkalam E., Ranjbar K., Salehi I., Vakili M., Kheiripour N., Komaki A. Resistance Training and Hawthorn Extract Ameliorate Cognitive Deficits in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats // *Biomed. Pharmacother.* 2018. Vol. 97. P. 503–510. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.10.138>
44. Dehghan F., Hajiaghaalipour F., Yusof A., Muniandy S., Hosseini S.A., Heydari S., Salim L.Z.A., Azarbayjani M.A. Saffron with Resistance Exercise Improves Diabetic Parameters Through the GLUT4/AMPK Pathway *in-vitro* and *in-vivo* // *Sci. Rep.* 2016. Vol. 6. Art. № 25139. <https://doi.org/10.1038/srep25139>
45. Király M.A., Campbell J., Park E., Bates H.E., Yue J.T.Y., Rao V., Matthews S.G., Bikopoulos G., Rozakis-Adcock M., Giacca A., Vranic M., Riddell M.C. Exercise Maintains Euglycemia in Association with Decreased Activation of c-Jun NH2-Terminal Kinase and Serine Phosphorylation of IRS-1 in the Liver of ZDF Rats // *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 2010. Vol. 298, № 3. P. E671–E682. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.90575.2008>
46. Mansoori Z., Jahromi M.K., Daryanoosh F., Forouhari S. High Intensity Interval Training Is More Effective Than Moderate Intensity Continuous Training in Ameliorating the Influence of Acute Noise Stress on Coagulation Factors // *Sport Sci. Health.* 2023. Vol. 19, № 2. P. 537–544. <https://doi.org/10.1007/s11332-022-01041-9>
47. Kalaki-Jouybari F., Shanaki M., Delfan M., Gorgani-Firuzjaee S., Khakdan S. High-Intensity Interval Training (HIIT) Alleviated NAFLD Feature via miR-122 Induction in Liver of High-Fat High-Fructose Diet Induced Diabetic Rats // *Arch. Physiol. Biochem.* 2020. Vol. 126, № 3. P. 242–249. <https://doi.org/10.1080/13813455.2018.1510968>
48. Mohammad P., Esfandiari K.Z., Abbas S., Ahoora R. Effects of Moderate-Intensity Continuous Training and High-Intensity Interval Training on Serum Levels of Resistin, Chemerin and Liver Enzymes in Streptozotocin-Nicotinamide Induced Type-2 Diabetic Rats // *J. Diabetes Metab. Disord.* 2019. Vol. 18, № 2. P. 379–387. <https://doi.org/10.1007/s40200-019-00422-1>
49. Amri J., Parastesh M., Sadegh M., Latifi S.A., Alaei M. High-Intensity Interval Training Improved Fasting Blood Glucose and Lipid Profiles in Type 2 Diabetic Rats More Than Endurance Training; Possible Involvement of Irisin and Betatrophin // *Physiol. Int.* 2019. Vol. 106, № 3. P. 213–224. <https://doi.org/10.1556/2060.106.2019.24>
50. Sini Z.K., Afzalpour M.E., Ahmadi M.M., Sardar M.A., Khaleghzadeh H., Gorgani-Firuzjaee S., Hofmeister M., Akaras E., Azimkhani A. Comparison of the Effects of High-Intensity Interval Training and Moderate-Intensity Continuous Training on Indices of Liver and Muscle Tissue in High-Fat Diet-Induced Male Rats with Non-Alcoholic Fatty Liver Disease // *Egypt. Liver J.* 2022. Vol. 12. Art. № 63. <https://doi.org/10.1186/s43066-022-00229-5>
51. Marcinko K., Sikkema S.R., Samaan M.C., Kemp B.E., Fullerton M.D., Steinberg G.R. High Intensity Interval Training Improves Liver and Adipose Tissue Insulin Sensitivity // *Mol. Metab.* 2015. Vol. 4, № 12. P. 903–915. <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2015.09.006>
52. Li W., Wang Y., He F., Liu Z., Dong J., Zhang Y., Li T., Liu S., Chen E. Association Between Triglyceride-Glucose Index and Nonalcoholic Fatty Liver Disease in Type 2 Diabetes Mellitus // *BMC Endocr. Disord.* 2022. Vol. 22, № 1. Art. № 261. <https://doi.org/10.1186/s12902-022-01172-7>

53. Gong R., Luo G., Wang M., Ma L., Sun S., Wei X. Associations Between TG/HDL Ratio and Insulin Resistance in the US Population: A Cross-Sectional Study // *Endocr. Connect.* 2021. Vol. 10, № 11. P. 1502–1512. <https://doi.org/10.1530/EC-21-0414>
54. Liu H., Liu J., Liu J., Xin S., Lyu Z., Fu X. Triglyceride to High-Density Lipoprotein Cholesterol (TG/HDL-C) Ratio, a Simple but Effective Indicator in Predicting Type 2 Diabetes Mellitus in Older Adults // *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2022. Vol. 13. Art. № 828581. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.828581>
55. Sargeant J.A., Gray L.J., Bodicoat D.H., Willis S.A., Stensel D.J., Nimmo M.A., Aithal G.P., King J.A. The Effect of Exercise Training on Intrahepatic Triglyceride and Hepatic Insulin Sensitivity: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Obes. Rev.* 2018. Vol. 19, № 10. P. 1446–1459. <https://doi.org/10.1111/obr.12719>
56. Leon A.S., Sanchez O.A. Response of Blood Lipids to Exercise Training Alone or Combined with Dietary Intervention // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2001. Vol. 33, № 6. P. S502–S515. <https://doi.org/10.1097/00005768-200106001-00021>
57. Najjar S.M., Caprio S., Gastaldelli A. Insulin Clearance in Health and Disease // *Annu. Rev. Physiol.* 2023. Vol. 85. P. 363–381. <https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-031622-043133>
58. Philip R., Mathias M., Sucheta Kumari N., Damodara Gowda K.M., Jayaprakash Shetty K. Evaluation of Relationship Between Markers of Liver Function and the Onset of Type 2 Diabetes // *J. Health Allied Sci. NU.* 2014. Vol. 4, № 2. P. 90–93. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1703770>
59. Sultani R., Tong D.C., Peverelle M., Lee Y.S., Baradi A., Wilson A.M. Elevated Triglycerides to High-Density Lipoprotein Cholesterol (TG/HDL-C) Ratio Predicts Long-Term Mortality in High-Risk Patients // *Heart Lung Circ.* 2020. Vol. 29, № 3. P. 414–421. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2019.03.019>
60. Reitman M.L., Gavrilova O. A-ZIP/F-1 Mice Lacking White Fat: A Model for Understanding Lipoatrophic Diabetes // *Int. J. Obes.* 2000. Vol. 24, suppl. 4. P. S11–S14. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801493>
61. Liu Q., Zhang L., Zhang W., Hao Q., Qiu W., Wen Y., Li X. Inhibition of NF- κ B Reduces Renal Inflammation and Expression of PEPCK in Type 2 Diabetic Mice // *Inflammation*. 2018. Vol. 41, № 6. P. 2018–2029. <https://doi.org/10.1007/s10753-018-0845-0>
62. Shamsoddini A., Sobhani V., Ghamar Chehreh M.E., Alavian S.M., Zaree A. Effect of Aerobic and Resistance Exercise Training on Liver Enzymes and Hepatic Fat in Iranian Men with Nonalcoholic Fatty Liver Disease // *Hepat. Mon.* 2015. Vol. 15, № 10. Art. № e31434. <https://doi.org/10.5812/hepatmon.31434>
63. Sreenivasa Baba C., Alexander G., Kalyani B., Pandey R., Rastogi S., Pandey A., Choudhuri G. Effect of Exercise and Dietary Modification on Serum Aminotransferase Levels in Patients with Nonalcoholic Steatohepatitis // *J. Gastroenterol. Hepatol.* 2006. Vol. 21, № 1, pt. 1. P. 191–198. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1746.2005.04233.x>
64. Sullivan S., Kirk E.P., Mittendorfer B., Patterson B.W., Klein S. Randomized Trial of Exercise Effect on Intrahepatic Triglyceride Content and Lipid Kinetics in Nonalcoholic Fatty Liver Disease // *Hepatology*. 2012. Vol. 55, № 6. P. 1738–1745. <https://doi.org/10.1002/hep.25548>
65. Taskinen M.R. Pathogenesis of Dyslipidemia in Type 2 Diabetes // *Exp. Clin. Endocrinol. Diabetes*. 2001. Vol. 109, suppl. 2. P. S 180–S188. <https://doi.org/10.1055/s-2001-18580>
66. Wan X.D., Yang W.B., Xia Y.Z., Wang J.F., Wang Y.J., Zhang Y.L. Disruption of Glucose Homeostasis and Induction of Insulin Resistance by Elevated Free Fatty Acids in Human L02 Hepatocytes // *J. Endocrinol. Invest.* 2009. Vol. 32, № 5. P. 454–459. <https://doi.org/10.1007/bf03346485>
67. Warner S.O., Yao M.V., Cason R.L., Winnick J.J. Exercise-Induced Improvements to Whole Body Glucose Metabolism in Type 2 Diabetes: The Essential Role of the Liver // *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2020. Vol. 11. Art. № 567. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00567>
68. Yki-Järvinen H. Liver Fat in the Pathogenesis of Insulin Resistance and Type 2 Diabetes // *Dig. Dis.* 2010. Vol. 28, № 1. P. 203–209. <https://doi.org/10.1159/000282087>

References

1. Tomic D., Shaw J.E., Magliano D.J. The Burden and Risks of Emerging Complications of Diabetes Mellitus. *Nat. Rev. Endocrinol.*, 2022, vol. 18, no. 9, pp. 525–539. <https://doi.org/10.1038/s41574-022-00690-7>
2. Lee C.-H., Lui D.T.W., Lam K.S.L. Non-Alcoholic Fatty Liver Disease and Type 2 Diabetes: An Update. *J. Diabetes Investig.*, 2022, vol. 13, no. 6, pp. 930–940. <https://doi.org/10.1111/jdi.13756>

3. Bergman R.N., Piccinini F., Kabir M., Kolka C.M., Ader M. Hypothesis: Role of Reduced Hepatic Insulin Clearance in the Pathogenesis of Type 2 Diabetes. *Diabetes*, 2019, vol. 68, no. 9, pp. 1709–1716. <https://doi.org/10.2337/db19-0098>
4. Ciardullo S., Perseghin G. Prevalence of Elevated Liver Stiffness in Patients with Type 1 and Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Diabetes Res. Clin. Pract.*, 2022, vol. 190. Art. no. 109981. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2022.109981>
5. Duckworth W.C., Bennett R.G., Hamel F.G. Insulin Degradation: Progress and Potential. *Endocr. Rev.*, 1998, vol. 19, no. 5, pp. 608–624. <https://doi.org/10.1210/edrv.19.5.0349>
6. Fazio S., Linton M.F. Mouse Models of Hyperlipidemia and Atherosclerosis. *Front. Biosci.*, 2001, vol. 6, pp. D515–D525. <https://doi.org/10.2741/fazio>
7. Feng J., Zhang Q., Chen B., Chen J., Wang W., Hu Y., Yu J., Huang H. Effects of High-Intensity Intermittent Exercise on Glucose and Lipid Metabolism in Type 2 Diabetes Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*, 2024, vol. 15. Art. no. 1360998. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1360998>
8. Galderisi A., Polidori D., Weiss R., Giannini C., Pierpont B., Tricò D., Caprio S. Lower Insulin Clearance Parallels a Reduced Insulin Sensitivity in Obese Youths and Is Associated with a Decline in β -Cell Function over Time. *Diabetes*, 2019, vol. 68, no. 11, pp. 2074–2084. <https://doi.org/10.2337/db19-0120>
9. Gan S.K., Kriketos A.D., Ellis B.A., Thompson C.H., Kraegen E.W., Chisholm D.J. Changes in Aerobic Capacity and Visceral Fat but Not Myocyte Lipid Levels Predict Increased Insulin Action After Exercise in Overweight and Obese Men. *Diabetes Care*, 2003, vol. 26, no. 6, pp. 1706–1713. <https://doi.org/10.2337/diacare.26.6.1706>
10. Gu L., Ding X., Wang Y., Gu M., Zhang J., Yan S., Li N., Song Z., Yin J., Lu L., Peng Y. Spexin Alleviates Insulin Resistance and Inhibits Hepatic Gluconeogenesis via the FoxO1/PGC-1 α Pathway in High-Fat-Diet-Induced Rats and Insulin Resistant Cells. *Int. J. Biol. Sci.*, 2019, vol. 15, no. 13, pp. 2815–2829. <https://doi.org/10.7150/ijbs.31781>
11. Hoene M., Lehmann R., Hennige A.M., Pohl A.K., Häring H.U., Schleicher E.D., Weigert C. Acute Regulation of Metabolic Genes and Insulin Receptor Substrates in the Liver of Mice by One Single Bout of Treadmill Exercise. *J. Physiol.*, 2009, vol. 587, no. 1, pp. 241–252. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.160275>
12. Kanaley J.A., Colberg S.R., Corcoran M.H., Malin S.K., Rodriguez N.R., Crespo C.J., Kirwan J.P., Zierath J.R. Exercise/Physical Activity in Individuals with Type 2 Diabetes: A Consensus Statement from the American College of Sports Medicine. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2022, vol. 54, no. 2, pp. 353–368. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002800>
13. Kazeminasab F., Baharlooe M., Rezazadeh H., Soltani N., Rosenkranz S.K. The Effects of Aerobic Exercise on Liver Function, Insulin Resistance, and Lipid Profiles in Prediabetic and Type 2 Diabetic Mice. *Physiol. Behav.*, 2023, vol. 271. Art. no. 114340. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114340>
14. Liu J.L. The Role of the Funnel Plot in Detecting Publication and Related Biases in Meta-Analysis. *Evid. Based Dent.*, 2011, vol. 12, no. 4, pp. 121–122. <https://doi.org/10.1038/sj.ebd.6400831>
15. Marinho R., Ropelle E.R., Cintra D.E., De Souza C.T., Da Silva A.S., Bertoli F.C., Colantonio E., D’Almeida V., Pauli J.R. Endurance Exercise Training Increases APPL1 Expression and Improves Insulin Signaling in the Hepatic Tissue of Diet-Induced Obese Mice, Independently of Weight Loss. *J. Cell. Physiol.*, 2012, vol. 227, no. 7, pp. 2917–2926. <https://doi.org/10.1002/jcp.23037>
16. Brust K.B., Corbell K.A., Al-Nakkash L., Babu J.R., Broderick T.L. Expression of Gluconeogenic Enzymes and 11 β -Hydroxysteroid Dehydrogenase Type 1 in Liver of Diabetic Mice After Acute Exercise. *Diabetes Metab. Syndr. Obes.*, 2014, vol. 7, pp. 495–504. <https://doi.org/10.2147/dmso.s70767>
17. Heled Y., Shapiro Y., Shani Y., Moran D.S., Langzam L., Barash V., Sampson S.R., Meyerovitch J. Physical Exercise Enhances Hepatic Insulin Signaling and Inhibits Phosphoenolpyruvate Carboxykinase Activity in Diabetes-Prone *Psammomys obesus*. *Metabolism*, 2004, vol. 53, no. 7, pp. 836–841. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2004.02.001>
18. Gomes R.J., de Oliveira C.A.M., Ribeiro C., de Alencar Mota C.S., Moura L.P., Cesar Tognoli L.M.M., de Almeida Leme J.A.C., Luciano E., de Mello M.A.R. Effects of Exercise Training on Hippocampus Concentrations of Insulin and IGF-1 in Diabetic Rats. *Hippocampus*, 2009, vol. 19, no. 10, pp. 981–987. <https://doi.org/10.1002/hipo.20636>
19. Stevanović-Silva J., Beleza J., Coxito P., Oliveira P.J., Ascensão A., Magalhães J. Gestational Exercise Antagonises the Impact of Maternal High-Fat High-Sucrose Diet on Liver Mitochondrial Alterations and Quality Control Signalling in Male Offspring. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2023, vol. 20, no. 2. Art. no. 1388. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021388>
20. Lin X., Qu J., Yin L., Wang R., Wang X. Aerobic Exercise-Induced Decrease of Chemerin Improved Glucose and Lipid Metabolism and Fatty Liver of Diabetes Mice Through Key Metabolism Enzymes and Proteins. *Biochim. Biophys. Acta Mol. Cell Biol. Lipids*, 2023, vol. 1868, no. 12. Art. no. 159409. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2023.159409>

21. Zhang Y., Ye T., Zhou P., Li R., Liu Z., Xie J., Hua T., Sun Q. Exercise Ameliorates Insulin Resistance and Improves ASK1-Mediated Insulin Signalling in Obese Rats. *J. Cell. Mol. Med.*, 2021, vol. 25, no. 23, pp. 10930–10938. <https://doi.org/10.1111/jcmm.16994>
22. Moura L.P., Puga G.M., Beck W.R., Teixeira I.P., Ghezzi A.C., Silva G.A., Mello M.A.R. Exercise and *Spirulina* Control Non-Alcoholic Hepatic Steatosis and Lipid Profile in Diabetic Wistar Rats. *Lipids Health Dis.*, 2011, vol. 10. Art. no. 77. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-10-77>
23. Lima T.I., Monteiro I.C., Valença S., Leal-Cardoso J.H., Fortunato R.S., Carvalho D.P., Teodoro B.G., Ceccatto V.M. Effect of Exercise Training on Liver Antioxidant Enzymes in STZ-Diabetic Rats. *Life Sci.*, 2015, vol. 128, pp. 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2015.01.031>
24. Kuga G.K., Gaspar R.C., Muñoz V.R., Nakandakari S.C.B.R., Breda L., Sandoval B.M., Caetano F.H., Leme J.A.C.A., Pauli J.R., Gomes R.J. Physical Training Reverses Changes in Hepatic Mitochondrial Diameter of Alloxan-Induced Diabetic Rats. *Einstein (São Paulo)*, 2018, vol. 16, no. 3. Art. no. eAO4353. <https://doi.org/10.1590/S1679-45082018AO4353>
25. de Bem G.F., da Costa C.A., da Silva Cristino Cordeiro V., Santos I.B., de Carvalho L.C.R.M., de Andrade Soares R., Ribeiro J.H., de Souza M.A.V., da Cunha Sousa P.J., Ognibene D.T., Resende A.C., de Moura R.S. *Euterpe oleracea* Mart. (açai) Seed Extract Associated with Exercise Training Reduces Hepatic Steatosis in Type 2 Diabetic Male Rats. *J. Nutr. Biochem.*, 2018, vol. 52, pp. 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2017.09.021>
26. Katar M., Gevrek F. Relation of the Intense Physical Exercise and Asprosin Concentrations in Type 2 Diabetic Rats. *Tissue Cell*, 2024, vol. 90. Art. no. 102501. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2024.102501>
27. Lin X.-J., Yang H.-F., Wang X.-H. Effects of Aerobic Exercise and Dieting on Chemerin and Its Receptor CMKLR1 in the Livers of Type 2 Diabetic Rats. *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi*, 2017, vol. 33, no. 5, pp. 426–430. <https://doi.org/10.12047/j.cjap.5495.2017.103>
28. Yi X., Cao S., Chang B., Zhao D., Gao H., Wan Y., Shi J., Wei W., Guan Y. Effects of Acute Exercise and Chronic Exercise on the Liver Leptin-AMPK-ACC Signaling Pathway in Rats with Type 2 Diabetes. *J. Diabetes Res.*, 2013, vol. 2013. Art. no. 946432. <https://doi.org/10.1155/2013/946432>
29. Gomes R.J., de Almeida Leme J.A.C., de Moura L.P., de Araújo M.B., Rogatto G.P., de Moura R.F., Luciano E., de Mello M.A.R. Growth Factors and Glucose Homeostasis in Diabetic Rats: Effects of Exercise Training. *Cell Biochem. Funct.*, 2009, vol. 27, no. 4, pp. 199–204. <https://doi.org/10.1002/cbf.1556>
30. Baldissera G., Sperotto N.D.M., Rosa H.T., Henn J.G., Peres V.F., Moura D.J., Roehrs R., Denardin E.L.G., Dal Lago P., Nunes R.B., Saffi J. Effects of Crude Hydroalcoholic Extract of *Syzygium cumini* (L.) Skeels Leaves and Continuous Aerobic Training in Rats with Diabetes Induced by a High-Fat Diet and Low Doses of Streptozotocin. *J. Ethnopharmacol.*, 2016, vol. 194, pp. 1012–1021. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.10.056>
31. de Almeida Leme J.A.C., Gomes R.J., de Mello M.A.R., Caetano F.H., Luciano E. Effects of Short-Term Physical Training on the Liver IGF-I in Diabetic Rats. *Growth Factors*, 2007, vol. 25, no. 1, pp. 9–14. <https://doi.org/10.1080/08977190701210693>
32. Leme J.A.C.A., Silveira R.F., Gomes R.J., Moura R.F., Sibuya C.A., Mello M.A., Luciano E. Long-Term Physical Training Increases Liver IGF-I in Diabetic Rats. *Growth Horm. IGF Res.*, 2009, vol. 19, no. 3, pp. 262–266. <https://doi.org/10.1016/j.ghir.2008.12.004>
33. Ropelle E.R., Pauli J.R., Cintra D.E., Frederico M.J.S., de Pinho R.A., Velloso L.A., De Souza C.T. Acute Exercise Modulates the Foxo1/PGC-1 α Pathway in the Liver of Diet-Induced Obesity Rats. *J. Physiol.*, 2009, vol. 587, no. 9, pp. 2069–2076. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.164202>
34. Kolieb E., Maher S.A., Shalaby M.N., Alsuhaibani A.M., Alharthi A., Hassan W.A., El-Sayed K. Vitamin D and Swimming Exercise Prevent Obesity in Rats Under a High-Fat Diet via Targeting FATP4 and TLR4 in the Liver and Adipose Tissue. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, vol. 19, no. 21. Art. no. 13740. <https://doi.org/10.3390/ijerph192113740>
35. Huang L., Yue P., Wu X., Yu T., Wang Y., Zhou J., Kong D., Chen K. Combined Intervention of Swimming Plus Metformin Ameliorates the Insulin Resistance and Impaired Lipid Metabolism in Murine Gestational Diabetes Mellitus. *PLoS One*, 2018, vol. 13, no. 4. Art. no. e0195609. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195609>
36. Sakr H.F., Abbas A.M., Haidara M.A. Swimming, but Not Vitamin E, Ameliorates Prothrombotic State and Hypofibrinolysis in a Rat Model of Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *J. Basic Clin. Physiol. Pharmacol.*, 2018, vol. 29, no. 1, pp. 61–71. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2017-0069>

37. Lima A.F., Ropelle E.R., Pauli J.R., Cintra D.E., Frederico M.J.S., Pinho R.A., Velloso L.A., De Souza C.T. Acute Exercise Reduces Insulin Resistance-Induced TRB3 Expression and Amelioration of the Hepatic Production of Glucose in the Liver of Diabetic Mice. *J. Cell. Physiol.*, 2009, vol. 221, no. 1, pp. 92–97. <https://doi.org/10.1002/jcp.21833>
38. Bicer M., Gunay M., Akil M., Avunduk M.C., Mogulkoc R., Baltaci A.K. Effect of Long-Term Intraperitoneal Zinc Administration on Liver Glycogen Levels in Diabetic Rats Subjected to Acute Forced Swimming. *Biol. Trace Elem. Res.*, 2011, vol. 139, no. 3, pp. 317–324. <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8658-5>
39. Pereira R.M., da Cruz Rodrigues K.C., Anaruma C.P., Sant'Ana M.R., Pereira de Campos T.D., Gaspar R.S., Canciglieri R.S., de Melo D.G., Mekary R.A., Ramos da Silva A.S., Cintra D.E., Ropelle E.R., Pauli J.R., de Moura L.P. Short-Term Strength Training Reduces Gluconeogenesis and NAFLD in Obese Mice. *J. Endocrinol.*, 2019, vol. 241, no. 1, pp. 59–70. <https://doi.org/10.1530/JOE-18-0567>
40. Vivero A., Ruz M., Rivera M., Miranda K., Sacristán C., Espinosa A., Codoceo J., Inostroza J., Vásquez K., Pérez Á., García-Díaz D., Arredondo M. Zinc Supplementation and Strength Exercise in Rats with Type 2 Diabetes: Akt and PTP1B Phosphorylation in Nonalcoholic Fatty Liver. *Biol. Trace Elem. Res.*, 2021, vol. 199, no. 6, pp. 2215–2224. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02324-3>
41. Pereira R.M., da Cruz Rodrigues K.C., Sant'Ana M.R., da Rocha A.L., Morelli A.P., Veras A.S.C., Gaspar R.S., da Costa Fernandes C.J., Teixeira G.R., Simabuco F.M., da Silva A.S.R., Cintra D.E., Ropelle E.R., Pauli J.R., de Moura L.P. FOXO1 Is Downregulated in Obese Mice Subjected to Short-Term Strength Training. *J. Cell. Physiol.*, 2022, vol. 237, no. 11, pp. 4262–4274. <https://doi.org/10.1002/jcp.30882>
42. Júnior A.S.S., Aidar F.J., Dos Santos J.L., Dos Santos Estevam C., Dos Santos J.D.M., de Oliveira e Silva A.M., Lima F.B., De Araújo S.S., Marçal A.C. Effects of Resistance Training and Turmeric Supplementation on Reactive Species Marker Stress in Diabetic Rats. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.*, 2020, vol. 12. Art. no. 45. <https://doi.org/10.1186/s13102-020-00194-9>
43. Zarrinkalam E., Ranjbar K., Salehi I., Vakili M., Kheiripour N., Komaki A. Resistance Training and Hawthorn Extract Ameliorate Cognitive Deficits in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *Biomed. Pharmacother.*, 2018, vol. 97, pp. 503–510. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.10.138>
44. Dehghan F., Hajiaghaalipour F., Yusof A., Muniandy S., Hosseini S.A., Heydari S., Salim L.Z.A., Azarbayjani M.A. Saffron with Resistance Exercise Improves Diabetic Parameters Through the GLUT4/AMPK Pathway *in-vitro* and *in-vivo*. *Sci. Rep.*, 2016, vol. 6. Art. no. 25139. <https://doi.org/10.1038/srep25139>
45. Király M.A., Campbell J., Park E., Bates H.E., Yue J.T.Y., Rao V., Matthews S.G., Bikopoulos G., Rozakis-Adcock M., Giacca A., Vranic M., Riddell M.C. Exercise Maintains Euglycemia in Association with Decreased Activation of c-Jun NH2-Terminal Kinase and Serine Phosphorylation of IRS-1 in the Liver of ZDF Rats. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 2010, vol. 298, no. 3, pp. E671–E682. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.90575.2008>
46. Mansoori Z., Jahromi M.K., Daryanoosh F., Forouhari S. High Intensity Interval Training Is More Effective Than Moderate Intensity Continuous Training in Ameliorating the Influence of Acute Noise Stress on Coagulation Factors. *Sport Sci. Health*, 2023, vol. 19, no. 2, pp. 537–544. <https://doi.org/10.1007/s11332-022-01041-9>
47. Kalaki-Jouybari F., Shanaki M., Delfan M., Gorgani-Firuzjae S., Khakdan S. High-Intensity Interval Training (HIIT) Alleviated NAFLD Feature via *miR-122* Induction in Liver of High-Fat High-Fructose Diet Induced Diabetic Rats. *Arch. Physiol. Biochem.*, 2020, vol. 126, no. 3, pp. 242–249. <https://doi.org/10.1080/13813455.2018.1510968>
48. Mohammad P., Esfandiar K.Z., Abbas S., Ahoora R. Effects of Moderate-Intensity Continuous Training and High-Intensity Interval Training on Serum Levels of Resistin, Chemerin and Liver Enzymes in Streptozotocin-Nicotinamide Induced Type-2 Diabetic Rats. *J. Diabetes Metab. Disord.*, 2019, vol. 18, no. 2, pp. 379–387. <https://doi.org/10.1007/s40200-019-00422-1>
49. Amri J., Parastesh M., Sadegh M., Latifi S.A., Alaei M. High-Intensity Interval Training Improved Fasting Blood Glucose and Lipid Profiles in Type 2 Diabetic Rats More Than Endurance Training; Possible Involvement of Irisin and Betatrophin. *Physiol. Int.*, 2019, vol. 106, no. 3, pp. 213–224. <https://doi.org/10.1556/2060.106.2019.24>
50. Sini Z.K., Afzalpour M.E., Ahmadi M.M., Sardar M.A., Khaleghzadeh H., Gorgani-Firuzjae S., Hofmeister M., Akaras E., Azimkhani A. Comparison of the Effects of High-Intensity Interval Training and Moderate-Intensity Continuous Training on Indices of Liver and Muscle Tissue in High-Fat Diet-Induced Male Rats with Non-Alcoholic Fatty Liver Disease. *Egypt. Liver J.*, 2022, vol. 12. Art. no. 63. <https://doi.org/10.1186/s43066-022-00229-5>
51. Marcinko K., Sikkema S.R., Samaan M.C., Kemp B.E., Fullerton M.D., Steinberg G.R. High Intensity Interval Training Improves Liver and Adipose Tissue Insulin Sensitivity. *Mol. Metab.*, 2015, vol. 4, no. 12, pp. 903–915. <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2015.09.006>

52. Li W., Wang Y., He F., Liu Z., Dong J., Zhang Y., Li T., Liu S., Chen E. Association Between Triglyceride–Glucose Index and Nonalcoholic Fatty Liver Disease in Type 2 Diabetes Mellitus. *BMC Endocr. Disord.*, 2022, vol. 22, no. 1. Art. no. 261. <https://doi.org/10.1186/s12902-022-01172-7>
53. Gong R., Luo G., Wang M., Ma L., Sun S., Wei X. Associations Between TG/HDL Ratio and Insulin Resistance in the US Population: A Cross-Sectional Study. *Endocr. Connect.*, 2021, vol. 10, no. 11, pp. 1502–1512. <https://doi.org/10.1530/EC-21-0414>
54. Liu H., Liu J., Liu J., Xin S., Lyu Z., Fu X. Triglyceride to High-Density Lipoprotein Cholesterol (TG/HDL-C) Ratio, a Simple but Effective Indicator in Predicting Type 2 Diabetes Mellitus in Older Adults. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*, 2022, vol. 13. Art. no. 828581. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.828581>
55. Sargeant J.A., Gray L.J., Bodicoat D.H., Willis S.A., Stensel D.J., Nimmo M.A., Aithal G.P., King J.A. The Effect of Exercise Training on Intrahepatic Triglyceride and Hepatic Insulin Sensitivity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Obes. Rev.*, 2018, vol. 19, no. 10, pp. 1446–1459. <https://doi.org/10.1111/obr.12719>
56. Leon A.S., Sanchez O.A. Response of Blood Lipids to Exercise Training Alone or Combined with Dietary Intervention. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2001, vol. 33, no. 6, pp. S502–S515. <https://doi.org/10.1097/00005768-200106001-00021>
57. Najjar S.M., Caprio S., Gastaldelli A. Insulin Clearance in Health and Disease. *Annu. Rev. Physiol.*, 2023, vol. 85, pp. 363–381. <https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-031622-043133>
58. Philip R., Mathias M., Sucheta Kumari N., Damodara Gowda K.M., Jayaprakash Shetty K. Evaluation of Relationship Between Markers of Liver Function and the Onset of Type 2 Diabetes. *J. Health Allied Sci. NU*, 2014, vol. 4, no. 2, pp. 90–93. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1703770>
59. Sultani R., Tong D.C., Peverelle M., Lee Y.S., Baradi A., Wilson A.M. Elevated Triglycerides to High-Density Lipoprotein Cholesterol (TG/HDL-C) Ratio Predicts Long-Term Mortality in High-Risk Patients. *Heart Lung Circ.*, 2020, vol. 29, no. 3, pp. 414–421. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2019.03.019>
60. Reitman M.L., Gavrilova O. A-ZIP/F-1 Mice Lacking White Fat: A Model for Understanding Lipoatrophic Diabetes. *Int. J. Obes.*, 2000, vol. 24, suppl. 4, pp. S11–S14. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801493>
61. Liu Q., Zhang L., Zhang W., Hao Q., Qiu W., Wen Y., Li X. Inhibition of NF- κ B Reduces Renal Inflammation and Expression of PEPCK in Type 2 Diabetic Mice. *Inflammation*, 2018, vol. 41, no. 6, pp. 2018–2029. <https://doi.org/10.1007/s10753-018-0845-0>
62. Shamsoddini A., Sobhani V., Ghamar Chehreh M.E., Alavian S.M., Zaree A. Effect of Aerobic and Resistance Exercise Training on Liver Enzymes and Hepatic Fat in Iranian Men with Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *Hepat. Mon.*, 2015, vol. 15, no. 10. Art. no. e31434. <https://doi.org/10.5812/hepatmon.31434>
63. Sreenivasa Baba C., Alexander G., Kalyani B., Pandey R., Rastogi S., Pandey A., Choudhuri G. Effect of Exercise and Dietary Modification on Serum Aminotransferase Levels in Patients with Nonalcoholic Steatohepatitis. *J. Gastroenterol. Hepatol.*, 2006, vol. 21, no. 1, pt. 1, pp. 191–198. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1746.2005.04233.x>
64. Sullivan S., Kirk E.P., Mittendorfer B., Patterson B.W., Klein S. Randomized Trial of Exercise Effect on Intrahepatic Triglyceride Content and Lipid Kinetics in Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *Hepatology*, 2012, vol. 55, no. 6, pp. 1738–1745. <https://doi.org/10.1002/hep.25548>
65. Taskinen M.R. Pathogenesis of Dyslipidemia in Type 2 Diabetes. *Exp. Clin. Endocrinol. Diabetes*, 2001, vol. 109, suppl. 2, pp. S180–S188. <https://doi.org/10.1055/s-2001-18580>
66. Wan X.-D., Yang W.-B., Xia Y.-Z., Wang J.-F., Wang Y.-J., Zhang Y.-L. Disruption of Glucose Homeostasis and Induction of Insulin Resistance by Elevated Free Fatty Acids in Human L02 Hepatocytes. *J. Endocrinol. Invest.*, 2009, vol. 32, no. 5, pp. 454–459. <https://doi.org/10.1007/bf03346485>
67. Warner S.O., Yao M.V., Cason R.L., Winnick J.J. Exercise-Induced Improvements to Whole Body Glucose Metabolism in Type 2 Diabetes: The Essential Role of the Liver. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*, 2020, vol. 11. Art. no. 567. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00567>
68. Yki-Järvinen H. Liver Fat in the Pathogenesis of Insulin Resistance and Type 2 Diabetes. *Dig. Dis.*, 2010, vol. 28, no. 1, pp. 203–209. <https://doi.org/10.1159/000282087>

Поступила в редакцию 27.06.2025 / Одобрена после рецензирования 28.10.2025 / Принята к публикации 31.10.2025
Submitted 27 June 2025 / Approved after reviewing 28 October 2025 / Accepted for publication 31 October 2025



Обзорная статья

УДК 57.08:[61+63]

DOI: 10.37482/2687-1491-Z277

Оценка современного состояния российского биобанкинга в различных отраслях (обзор)

Марина Васильевна Колодина* ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2581-2500>

Нушик Сааковна Саркисян* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3512-5738>

Дарья Алексеевна Гавриш* ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9158-8099>

Анна Сергеевна Волынкина* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5554-5882>

Александр Николаевич Куличенко* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9362-3949>

*Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора
(Ставрополь, Россия)

Аннотация. За последние годы в России сформировалась сеть разнопрофильных биобанков, охватывающая медицину, эпидемиологический надзор, агропромышленный комплекс, ветеринарию, экологию. Эти коллекции биоматериалов стали ценным инструментом для решения научных и прикладных задач, а также важным показателем уровня биотехнологического развития страны. В работе использованы рецензируемые публикации из баз Scopus, PubMed, eLIBRARY.RU, CyberLeninka, отчеты Национальной ассоциации биобанков и специалистов по биобанкированию и других организаций, а также нормативно-правовые документы и отраслевые стандарты (ISO, ГОСТы). Поиск научных публикаций проводился за период 2012–2025 годов. Рассмотрены вопросы роли биобанков как вспомогательного инструмента в области клеточной биологии (в части культивирования клеточных линий и тканей) и использования биоинформационного анализа в цифровизации данных. Выделены 4 основных направления российского биобанкинга: эпидемиологическое (мониторинг инфекций, разработка вакцин), медицинское (персонализированная медицина, онкология, фармакогенетика), аграрно-ветеринарное (селекционная деятельность, ветеринарный надзор) и экологическое (сохранение биоразнообразия, мониторинг изменений климата). Главными барьерами по-прежнему остаются разнородность форматов данных и отсутствие единого каталога. Сделан вывод, что биобанки, не теряя утилитарной роли криохранилищ, постепенно становятся центрами знаний и платформами для сотрудничества ученых разных направлений. Значение биобанков будет только расти по мере

© Колодина М.В., Саркисян Н.С., Гавриш Д.А., Волынкина А.С., Куличенко А.Н., 2026

Ответственный за переписку: Марина Васильевна Колодина, адрес: 355035, г. Ставрополь, ул. Советская, д. 13–15; e-mail: kolodina_mv@snipchi.ru

эволюции персонализированной медицины, генной терапии и сферы биобезопасности. Для дальнейшего развития биобанкинга необходим комплекс мер по унификации стандартов, полной оцифровке коллекций и системному взаимодействию специалистов разных профилей. Решение этих задач позволит использовать базы данных не только как архивные хранилища, но и как ресурс для создания новых лекарственных средств и вакцин, для повышения точности эпидемиологических прогнозов и управления рисками природно-очаговых и зоонозных инфекций.

Ключевые слова: биобанк, биоресурсная коллекция, биоресурсный центр, клинические образцы, криохранилище, персонализированная медицина, эпидемиологический надзор, цифровой паспорт образца

Для цитирования: Оценка современного состояния российского биобанкинга в различных отраслях (обзор) / М. В. Колодина, Н. С. Саркисян, Д. А. Гавриш, А. С. Волынкина, А. Н. Куличенко // Журнал медико-биологических исследований. – 2026. – Т. 14, № 1. – С. 90-106. – DOI 10.37482/2687-1491-Z277.

Review article

Assessment of the Current State of Russian Biobanking in Various Sectors (Review)

Marina V. Kolodina* ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2581-2500>

Nushik S. Sarkisyan* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3512-5738>

Darya A. Gavrish* ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9158-8099>

Anna S. Volynkina* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5554-5882>

Aleksandr N. Kulichenko* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9362-3949>

*Stavropol Plague Control Research Institute
(Stavropol, Russia)

Abstract. In recent years, a network of diversified biobanks has been created in Russia, covering medicine, epidemiological surveillance, industrial agriculture, veterinary medicine and ecology. These biomaterial collections have become a valuable tool for solving scientific and applied problems as well as an important indicator of the level of the country's biotechnological development. The paper uses peer-reviewed publications from the Scopus, PubMed, eLIBRARY and CyberLeninka databases, reports from the National Association of Biobanks and Biobanking Specialists and other organizations as well as regulatory documents and industry standards (ISO, GOSTs). The search covered publications from 2012 to 2025. The article discusses the role of biobanks as an auxiliary tool in the field of cell biology (in terms of cell line and tissue cultivation) and the use of bioinformatics analysis in data digitalization. Four principal domains of Russian biobanking were identified: epidemiology (infection monitoring, vaccine development), medicine (personalized medicine, oncology, pharmacogenetics), agricultural and veterinary sciences (breeding, veterinary surveillance) and ecology (biodiversity conservation, climate change monitoring).

Corresponding author: Marina Kolodina, address: 355035, ul. Sovetskaya 13–15, Stavropol, Russia; e-mail: kolodina_mv@snipchi.ru

The major barriers remain heterogeneous data formats and the absence of a unified catalogue. We conclude that, while retaining their utilitarian function as cryostorage facilities, biobanks are increasingly becoming knowledge hubs and platforms for collaboration between scientists from different fields. The importance of biobanks will continue to grow alongside advances in personalized medicine, gene therapy and biosafety. Further development of biobanking requires a coordinated package of measures to harmonize standards, fully digitize collections and establish systematic collaboration between specialists across disciplines. Addressing these challenges will enable databases to function not only as archival repositories but also as resources for creating new drugs and vaccines, improving the accuracy of epidemiological forecasting and managing risks associated with naturally occurring and zoonotic infections.

Keywords: *biobank, biological resource collection, biological resource centre, clinical samples, cryostorage, precision medicine, epidemiological surveillance, digital sample passport*

For citation: Kolodina M.V., Sarkisyan N.S., Gavrish D.A., Volynkina A.S., Kulichenko A.N. Assessment of the Current State of Russian Biobanking in Various Sectors (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2026, vol. 14, no. 1, pp. 90–106. DOI: 10.37482/2687-1491-Z277

Последние десятилетия характеризуются ростом как в России, так и во всем мире интереса к биобанкированию и активным расширением сети биобанков – специализированных хранилищ биологического материала для научных, клинических, аграрных и экологических целей [1]. Современные биобанки стали важной составляющей широкого спектра исследований в области генетики, фармакологии, биотехнологии, охраны окружающей среды [2].

Пандемия COVID-19 продемонстрировала, что скорость научного и эпидемиологического реагирования на инфекционные вспышки во многом зависит от эффективной организации коллекций патогенов и сывороток, от их состояния и доступности [3]. Показателен пример биобанка Национального исследовательского центра эпидемиологии и микробиологии (НИЦЭМ) имени Н.Ф. Гамалеи, использовавшегося для оценки перекрестной нейтрализации вариантов вируса SARS-CoV-2. Данные ретроспективных исследований позволяют судить о динамике популяционного иммунитета и принимать оперативные решения в эпидемиологическом надзоре [3, 4].

Обзор освещает вклад российских биобанков в здравоохранение, эпиднадзор и науку,

рассматривает достижения последних лет с акцентом на прикладной потенциал биобанков [4–7].

Для подготовки обзора проводился поиск публикаций о биобанках и биоресурсных коллекциях в российских и международных научных базах (eLIBRARY.RU, PubMed, Scopus, CyberLeninka) за период 2012–2025 годов, а также анализ нормативных документов и профильных стандартов. При поиске использовались ключевые слова «биобанк», «биобанкирование», «биоресурсная коллекция», «криохранение», термины, связанные с эпиднадзором, клиническими и прикладными задачами. Всего было просмотрено более 100 источников, в обзор вошли 35 публикаций, наиболее полно отражающих состояние и особенности российских биобанков.

Эволюция биобанков и их инфраструктуры

В российских национальных стандартах термин «биобанкинг» употребляется широко: ГОСТ Р ИСО 20387–2021¹ трактует его как инфраструктуру для любых биоматериалов и связанных с ними данных, а

¹ГОСТ Р ИСО 20387–2021. Биотехнология. Биобанкинг. Общие требования. Введ. 2021–10–21. М.: Рос. ин-т стандартизации, 2021. 40 с. URL: <https://protect.gost.ru/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=0&month=1&year=2026&search=20387-2021&id=241624> (дата обращения: 07.10.2025).

ГОСТ Р ИСО 24088-1–2024² распространяет это определение на микроорганизмы, что сближает российские нормы с международной практикой [2, 8]. Согласно определению ISBER³ (International Society for Biological and Environmental Repositories – Международное общество биологических и экологических репозиторий), биобанк – специализированное хранилище биообразцов и связанных с ними данных, обеспечивающее их сохранность, обработку и распространение материалов для научного или клинического использования [8, 9]. Термин «биобанк» применим к биоматериалам человека и связанным с ними данным; «референс-коллекции изолятов/культур» – для штаммов патогенов; «банку семян» и «криоколлекции генетических ресурсов» – в отношении растительного и животного мира (вместе – «биоресурсные коллекции») [1, 8–10].

Исторически биобанкирование развивалось на стыке медицины, микробиологии и эпидемиологии, а вне медицинской сферы – на базе естественно-научных коллекций (гербарии, зоомузеи), из которых выросли современные биоресурсные центры [2]. Собрания анатомических и ботанических препаратов, формировавшиеся в XVIII веке, заложили основу систематического хранения материалов.

В 1980-е годы криоконсервация открыла путь к долговременному хранению клеток, тканей и микробиоты при сохранении их жизнеспособности. В XXI веке биобанкирование вступило в эпоху стандартизации и межотраслевого взаимодействия (появились международные организации по биобанкированию, были утверждены единые стандарты хранения) [2, 8, 11].

В России основу практики биобанкирования формируют национальные стандарты, гармонизированные с ISO 20387:2018⁴ и рекомендациями ISBER, их применение унифицирует форматы данных, повышает воспроизводимость и обеспечивает межведомственную совместимость коллекций [9].

Современная инфраструктура биобанков базируется на трех элементах: физическая платформа (криохранилища), цифровой двойник (подробный электронный паспорт образца с минимальными метаданными и прослеживаемостью) и защищенный каталог для обмена информацией [2, 6, 7]. Такая структура облегчает межведомственное и межотраслевое использование коллекций, обеспечивает их сохранность и всесторонний анализ, включая дистанционную работу с образцами посредством специализированных программных продуктов, с применением биоинформационного анализа [8, 12].

В российской практике отчетливо различимы 4 прикладные области применения биобанкинга: эпидемиология, медицина, аграрная сфера и экология.

Биобанкинг в отраслях

Роль биобанкинга в эпидемиологии и эпиднадзоре. Инфекционная медицина десятилетиями строилась на ответных мерах реагирования: возникновение вспышки → идентификация возбудителя → контроль распространения → введение карантинных мер. Опыт последних лет, особенно в условиях пандемии COVID-19, потребовал перехода к прогностическому и превентивному подходам. Биобанки позволяют системно накапливать данные для долгосрочного наблюдения, быстрого реагирования и мо-

²ГОСТ Р ИСО 24088-1–2024. Биотехнология. Биобанкинг. Требования к сбору, обработке, хранению и транспортированию микроорганизмов. Ч. 1. Бактерии и археи. Введ. 2024–04–26. М.: Рос. ин-т стандартизации, 2024. 20 с. URL: <https://protect.gost.ru/document1.aspx?baseC=6&control=31&id=259205> (дата обращения: 07.10.2025).

³ISBER (International Society for Biological and Environmental Repositories). Best Practices for Repositories: Collection, Storage, Retrieval, and Distribution of Biological Materials for Research. 5th ed. 2023. URL: <https://www.isber.org/page/BPR> (дата обращения: 07.10.2025).

⁴ISO 20387:2018. Biotechnology – Biobanking – General Requirements for Biobanking. International Organization for Standardization, 2018. URL: <https://www.iso.org/standard/67888.html> (дата обращения: 07.10.2025). Гармонизирован в РФ как ГОСТ Р ИСО 20387–2021.

делирования эпидемиологической ситуации [3, 4]. Современные коллекции изолятов патогенов и биобанки сывороток/плазмы крови используются для клинической апробации и валидации вакцин, диагностических тест-систем [3, 5, 9].

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Пастера сыграл ключевую роль в развитии биобанков в России. Институт разрабатывает протоколы серомониторинга и стандарты хранения, обеспечивая связь научных данных с эпиднадзором. Его коллекции сывороток и патогенов традиционно использовались для борьбы с чумой, дифтерией, полиомиелитом, а в наши дни применяются для анализа популяционного иммунитета к гриппу, COVID-19 и в борьбе с новыми и возвращающимися инфекциями [3, 5].

Биобанк сывороток крови НИЦЭМ имени Н.Ф. Гамалеи, сформированный в разгар пан-

демии COVID-19, стал рабочим инструментом оценки иммунного ответа и отслеживания новых штаммов SARS-CoV-2 [3–5]. При появлении очередного варианта вируса ретроспективный анализ сотен образцов с уже известными титрами антител выявил падение нейтрализующей активности антител в отношении нового вируса, что позволило оптимизировать программу вакцинопрофилактики [3–5].

Подобные коллекции также позволяют отслеживать появление новых вариантов возбудителей, изучать их эволюцию, распространенность и устойчивость к вакцинам, что особенно актуально в связи с возникновением резистентных штаммов [5, 13].

Основные типы коллекций и биобанков, которые используются в российском эпиднадзоре, представлены в *табл. 1*.

В последние годы в России ведется работа по созданию и внедрению программных ком-

Таблица 1

Типы эпидемиологических биобанков России и их значение
Types of epidemiological biobanks in Russia and their role

Биобанк	Объекты хранения (виды биоматериала)	Основные задачи и вклад	Особенности организации
Референс-коллекция изолятов возбудителей	Вирусы, бактерии, грибы	Идентификация и типирование, сертификация, поддержка разработки вакцин и диагностических тест-систем	Необходимость международной сертификации и биобезопасности
Серологический банк	Сыворотки и плазма крови	Серомониторинг, ретроспективный анализ циркуляции патогенов, оценка популяционного иммунитета	Строгие стандарты преаналитики, сопоставление серологических данных с информацией о вакцинации и заболеваемости
Ветеринарная коллекция	Пробы (сыворотки, ткани, мазки) от животных, в т. ч. диких	Мониторинг очагов, оценка рисков межвидовой передачи инфекций	Необходимость полевой логистики, сезонный сбор
Коллекция бактериофагов	Бактериофаги	Типирование штаммов, контроль антибиотикорезистентности, фаготерапия	Необходимость регулярного обновления и стандартизации панелей
Банк микробиоты	Образцы микробиоты человека, пробиотические штаммы	Изучение иммуномодуляции и дисбиотических состояний, взаимодействия микробиома и иммунной системы	Высокая чувствительность к условиям хранения, сложность стандартизации

плексов, позволяющих использовать информацию из биобанков для ретроспективного анализа циркуляции возбудителей, оценки прогноза и эпидемиологических рисков. В таких программах сопоставляются сведения о циркулирующих изолятах и генетических вариантах возбудителей, числе зарегистрированных случаев, географии очагов и объемах вакцинации [5, 6, 8]. Это повышает готовность к новым и возвращающимся инфекционным угрозам [7, 9].

Таким образом, ценность биобанков эпидемиологического профиля определяется не только качеством и объемом материалов, но и полнотой метаданных, степенью их цифровизации, а также возможностью оперативной их интеграции [2, 7, 9].

Биобанки в разных областях медицины.

Расширение сети биобанков и стандартизированных коллекций биоматериалов открывает новые возможности для точной диагностики, поиска терапевтических мишеней и персонального подбора схем лечения (табл. 2). Современная медицина фокусируется не на отдельных болезнях, а на целостном профиле человека – его геноме, эпигеноме, иммунном статусе, микробиоте, жизненном анамнезе и факторах среды, реализуя принципы «концепции 6P», т. е. являясь предиктивной, профилактической, персонализированной, партисипативной, популяционной и платформенной [5, 9, 12]. Коллекции клинических образцов (сыворотки и плазма крови, ткани ДНК/РНК), связанные с клиническими данными, позволяют формировать сопоставимые когорты и подтверждать воспроизводимость диагностических показателей (биомаркеров) [2, 8, 11, 14].

На основе популяционно-нозологического биобанка Национального медицинского исследовательского центра терапии и профилактической медицины разработаны генетические шкалы оценки риска сердечно-сосудистых заболеваний, впоследствии ставшие частью про-

грамм диспансеризации и позволившие перейти к адресным профилактическим мерам [15].

В онкологии потенциал биобанков используется максимально активно. В Национальном медицинском исследовательском центре онкологии имени Н.Н. Блохина и Национальном медицинском исследовательском центре онкологии имени Н.Н. Петрова сформированы масштабные коллекции опухолевых тканей, биомаркеров и клинических данных, применяемые для изучения молекулярных механизмов канцерогенеза, разработки противоопухолевых вакцин и препаратов на основе неоантигенов [16, 17]. Эти биобанки обеспечивают доступ к образцам опухолевых тканей для стратификации пациентов и подбора таргетной терапии [6, 7, 15, 18].

Приоритетным направлением становится интеграция биобанков с центрами доклинических исследований на базе крупных научных учреждений, в т. ч. с лабораториями, работающими по стандартам GLP⁵, что позволяет ускорить трансляцию результатов в лечебную практику [11, 17].

Регенеративная медицина, клеточная биология, а также трансплантология используют биобанки как системные хранилища тканей, клеточных линий и матриц для создания биомедицинских клеточных продуктов [19–21]. Это новый класс терапевтических средств на основе аутологичных или донорских стволовых клеток (чаще всего мезенхимальных или плюрипотентных), факторов роста и, при необходимости, лекарственных веществ. В отличие от инертных имплантатов, такие препараты встраиваются в ткани, восстанавливая их структуру и метаболическую активность. В российских клиниках данные технологии уже применяются для восстановления голосовых связок, барабанной перепонки, слизистой полости носа, а в перспективе запланировано их использование для лечения офтальмологических, онкологических и гематологических заболеваний. Получены данные о восстановлении функциональных свойств тканей у паци-

⁵GLP (Good Laboratory Practice) – международная система норм, правил и указаний, направленных на обеспечение согласованности и достоверности результатов лабораторных исследований.

Таблица 2

Типы медицинских биобанков России и их значение

Types of medical biobanks in Russia and their role

Биобанк	Объекты хранения (виды биоматериала)	Основные задачи и вклад	Особенности организации
Нозологический	Кровь, ткани, ДНК/РНК	Диагностика, биомаркерный анализ, стратификация заболеваний	Необходимость клинико-лабораторной верификации и стандартизации
Репродуктивный	Сперма, ооциты, эмбрионы	Хранение репродуктивного материала, экстракорпоральное оплодотворение, сохранение фертильности	Строгие требования к криоконсервации и этическому учету
Онкологический	Опухолевые ткани, биомаркеры	Персонализированный подбор терапии, изучение онкогенеза	Необходимость системного подхода и молекулярного картирования
Клеточный/тканевый	Стволовые клетки, тканевые матриксы	Терапия стволовыми клетками, тканевая инженерия	Интеграция с 3D-печатью и клеточной терапией
Фармакогенетический	Буккальные мазки, выделенная ДНК	Оценка полиморфизмов, индивидуализация лекарственной терапии	Интеграция с цифровыми системами обработки информации
Популяционно-генетический	Кровь, мазки	Биомониторинг, этногенетика, изучение полиморфизмов	Необходимость защищенной цифровой среды и строгие правила доступа

ентов, которые ранее не считались операбельными [21].

Показательным примером, запатентованным на международном уровне, стала SPRS-терапия (Service for Personal Regeneration of Skin – «процедура омоложения собственными клетками кожи»), основанная на применении аутологичных фибробластов, выделенных, размноженных и сохраненных в биобанке, что служит основой для формирования тканей *in vitro* [19–21]. Эти клетки используются в дерматологии для коррекции возрастных изменений кожи, лечения рубцов, ожогов и буллезного эпидермолиза [20].

Одним из перспективных направлений отечественной тканевой инженерии является 3D-биопечать тканей, расширяющая возможности регенеративной медицины [22]. На базе крупных научных центров развиваются био-

банки тканевых аллотрансплантатов, применяемых при лечении пациентов с поражениями сердечно-сосудистой и нервной систем, а также печени [20–22]. В крупных научных центрах формируется инфраструктура для хранения трансплантатов и редких фенотипов крови [19, 23, 24].

Трансплантология требует не только выбора трансплантата и режима терапии, но и длительного посттрансплантационного наблюдения. Биобанки составляют основу этой системы: они обеспечивают стандартизованный учет и длительное хранение серийных образцов пациента, что позволяет отслеживать признаки отторжения, динамику иммунного ответа и своевременно корректировать иммуносупрессию [18, 19].

Одним из направлений регенеративной медицины стало создание банков пуповинной кро-

ви, накопивших за 15 лет значительные объемы стволовых клеток, которые применяются в гематологии и восстановительной медицине [24].

В фармакогенетике биобанки используются для анализа полиморфизмов генов, влияющих на метаболизм лекарств и ответ на терапию [18, 25]. Фармакогенетический атлас России помогает оптимизировать подбор лекарственных препаратов и дозировок с учетом генетических особенностей населения по регионам, снижая риск побочных эффектов и повышая эффективность лечения [25].

В геронтологии биобанки применяются для поиска биомаркеров старения, иммунной резистентности и предикторов хронических заболеваний [6, 8]. Например, уже разработаны панели микроРНК из клеток крови, служащие ранними предикторами болезни Альцгеймера, выявляемыми задолго до изменений в ликворе и появления симптомов болезни. Подобный подход становится основой для доклинической диагностики заболеваний и подбора персональной профилактики [18, 26].

Все перечисленные направления нуждаются в инфраструктурной поддержке биобанков, этическом регулировании и защите персональных данных [8, 27].

Таким образом, современные медицинские биобанки стали важной составляющей предиктивной и персонализированной медицины, ускоряя внедрение новых методов диагностики, терапии и профилактики [8, 11, 18].

Аграрные и ветеринарные биобанки. Ключевым инструментом сохранения генетического разнообразия и обеспечения продовольственной безопасности сегодня стали биобанки, поддерживающие агропромышленный комплекс (табл. 3) [1, 28, 29]. Крупнейшее в России собрание культурных растений и их диких сородичей, хранящееся во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), насчитывает свыше 330 тыс. образцов, включая сорта с повышенными засухо- и морозоустойчивостью, а также устойчивостью к вредителям и болезням. Эти ресурсы используются для выведения

новых сортов, адаптированных к различным агроклиматическим зонам. Коллекция ВИР регулярно пополняется и перезакладывается по правилам, близким к международным протоколам [29].

Аграрные биобанки объединяют усилия селекционеров, микробиологов и ветеринаров, закладывая основу для «зеленых» биотехнологий (биорешений для растениеводства, животноводства и экологии) [1, 29]. Значительную роль играют криобанки гамет и эмбрионов сельскохозяйственных животных, особенно аборигенных пород, устойчивых к инфекциям, экстремальным погодным условиям и скудной кормовой базе [29]. Их генетические ресурсы востребованы при выведении адаптированных гибридов или для восстановления численности поголовья после эпизоотий [29].

Биобанки становятся источником материалов для разработки биологических средств защиты растений и создания кормовых добавок. В аграрной биотехнологии все чаще и активнее применяются эндофитные микроорганизмы, способные фиксировать атмосферный азот [1, 30]. Например, на основе подобного биобанка было отобрано 9 штаммов *Bacillus* spp., выделенных из рапса и пшеницы, которые подавляют на 50 % развитие корневой гнили (*Rhizoctonia solani*) на солонцеватых почвах, где химические фунгициды малоэффективны. После криоконсервации штаммы возвращаются в производство как отечественные бактериальные биофунгициды, снижающие зависимость от импортных агрохимикатов [30].

В аграрных научно-исследовательских институтах и университетах формируются экологические и ветеринарные биобанки. Например, в Кубанском государственном аграрном университете имени И.Т. Трубилина (г. Краснодар) собрана коллекция микроорганизмов, выделенных из силоса, навоза и рубца жвачных животных, послужившая основой для создания пробиотиков и кормовых добавок; в Национальном исследовательском Томском государственном университете разработан подход к «микробиому паспорту фермы» как целостной экоси-

Типы аграрных и ветеринарных биобанков России и их значение
Types of agricultural and veterinary biobanks in Russia and their role

Биобанк	Объекты хранения (виды биоматериала)	Основные задачи и вклад	Особенности организации
Биобанк сельскохозяйственных растений	Семена, пыльца, растительные ткани	Селекция, повышение устойчивости к стрессам, сохранение биоразнообразия	Необходимость регулярного обновления коллекций
Криоколлекция сельскохозяйственных животных	Семя, эмбрионы, микробиота рубца	Повышение продуктивности, мониторинг патогенов	Необходимость этического сопровождения, ограничения совместимости
Референс-коллекция изолятов патогенов животных	Вирусы, бактерии животных	Ветеринарный (эпизоотический) надзор, оценка зоонозных рисков, разработка ветеринарных вакцин	Строгие регламенты биобезопасности и надзора
Коллекция ферментирующих микроорганизмов	Микрофлора кормов, силоса, навоза	Создание пробиотиков, улучшение усвоения кормов, снижение потребности в антибиотиках	Нестабильность при культивировании, чувствительность к условиям среды

стемы, позволяющий минимизировать использование антибиотиков и агрессивной химии в животноводстве [2, 10, 28].

Масштабное производство биопродуктов и биоматериалов требует комплексного подхода к организации коллекций микробиоты, эмбрионов, коллекционных культур и цифровых баз данных [6, 7, 12]. Эти биобанки создают базу для воспроизводства высокопродуктивных пород животных, новых штаммов микроорганизмов, а также линий клеток, которые используются в агробιοтехнологиях [29].

Аграрные коллекции функционируют в тесной связи с практикой – селекцией, диагностикой, производством кормов и пробиотиков. Они давно заняли свое место в отрасли и стали опорой для стабильного и эффективного агропроизводства [1, 29].

Биобанки в экологии. Долгое время экологические биобанки оставались фрагментарными и не имели самостоятельного статуса, функционируя в составе гербариев, музеев или лабораторий, и единых стандартов [2, 9, 31].

Сегодня, на фоне утраты биоразнообразия и климатических сдвигов, создание экологических коллекций становится стратегической задачей [2, 9, 31].

На международном уровне важность экологического биобанкирования была признана в 2008 году, когда к названию ISBER был добавлен термин *environmental* («экологических») [9]. Эта организация разрабатывает стандарты сбора, хранения и передачи образцов, обеспечивает долгосрочные наблюдения за состоянием экосистем и позволяет оценивать воздействие антропогенного фактора [9].

В России сложилась разветвленная система экологических коллекций, позволяющая проводить многолетний мониторинг экосистем. Один из самых заметных проектов последних лет – «Ноев ковчег» Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова: междисциплинарный депозитарий живых систем, объединяющий более 1 млн образцов растений, животных, микроорганизмов и гри-

бов. Основные цели проекта – сохранение биоразнообразия и создание удобной цифровой базы для описания новых видов, экосистемного анализа и биологических исследований [31].

На стыке экологии и прикладной микробиологии формируются микробные коллекции, используемые в почвоведении, микробиологии, биотехнологии [9, 10, 32]. В составе таких биобанков – штаммы из редких и экстремальных биотопов (арктических, болотных экосистем, термальных источников и т. д.) [33]. Эти коллекции важны не только как репозитории биоразнообразия, но и как потенциальные биотехнологические банки – источники ферментов и антимикробных соединений, пигментов, которые найдут применение в фармакологии, пищевой промышленности, косметологии [31, 33].

Отдельного внимания заслуживают морские коллекции бактерий и микроводорослей, поскольку они синтезируют метаболиты, нехарактерные для континентальных видов. Например, на базе Морского биобанка Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского Дальневосточного отделения Российской академии наук был выделен новый антимикробный циклолипопептид, активный против штаммов *Pseudomonas aeruginosa* (синегнойной палочки), резистентных к большинству современных антибиотиков [33].

Данные о переносчиках и резервуарах, условиях местообитаний и сезонности факторов среды используются в санитарно-эпидемиологическом надзоре, помогая уточнять зоны риска природно-очаговых и зоонозных инфекций [34]. Развитие сети экологических биобанков позволит в долгосрочной перспективе оценивать изменения экосистем,

что важно для сохранения природного наследия страны и учета биологических рисков, связанных с климатическими изменениями [1, 10, 31].

Этико-правовые аспекты и перспективы развития биобанкинга в России

Для дальнейшего успешного развития и реализации потенциала биобанкинга требуется решение задач на нескольких уровнях: от организационных и технических до этических и нормативно-правовых. Уникальность российского опыта состоит в опережающих темпах роста и развития биобанков по отношению к нормативно-правовой базе [8, 11, 27].

Деятельность биобанков регулируется национальными стандартами ГОСТ Р ИСО 20387–2021, ГОСТ Р 59781–2021⁶, ГОСТ Р ИСО 24088–1–2024, которые устанавливают требования к управлению качеством, преаналитике, хранению, транспортировке и передаче образцов. В области биомедицинских исследований одним из основных документов является Федеральный закон № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации»⁷, устанавливающий основные положения об информированном добровольном согласии пациента/донора (или его законного представителя) на медицинское вмешательство и участие в исследованиях. Федеральный закон № 152-ФЗ «О персональных данных»⁸ предусматривает обязанность оператора персональных данных четко указывать цели, сроки хранения и условия их передачи, особенно при трансграничной передаче образцов или обработке генетической информации. Дополнительные этические требования к биобанкам устанавливает приказ Минздрава России от 31.10.2024 № 586н «Об

⁶ГОСТ Р 59781–2021 / ISO/TR 22758:2020. Биотехнология. Биобанкинг. Руководство по внедрению ИСО 20387. Введ. 2021–10–21. М.: Рос. ин-т стандартизации, 2021. 28 с. URL: <https://protect.gost.ru/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=0&month=1&year=2026&search=59781&id=241622> (дата обращения: 07.10.2025).

⁷Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации: федер. закон от 21.11.2011 г. № 323-ФЗ // КонсультантПлюс: [офиц. сайт]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/ (дата обращения: 07.10.2025).

⁸О персональных данных: федер. закон от 27.07.2006 г. № 152-ФЗ // КонсультантПлюс: [офиц. сайт]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/ (дата обращения: 07.10.2025).

утверждении положения о совете по этике...»⁹, согласно которому любые исследования, связанные с забором и хранением биоматериала, должны получить одобрение независимого этического комитета, что также защищает интересы донора в системе биомедицинских отношений. Федеральный закон № 428-ФЗ¹⁰, принятый в 2024 году, закрепляет требования к учету образцов и правила открытого доступа [27].

Для медицинских биобанков центральным вопросом остается корректное оформление информированного согласия и надежная защита персональных данных [27]. Для референс-коллекций изолятов/культур патогенов на первый план выходят режимные требования биобезопасности, включая правила учета, транспортировки и обеззараживания штаммов [9, 28]. Эти направления дополняют друг друга, формируя основу правовых и организационных гарантий.

Практика ведения электронных паспортов образцов и стандартизации метаданных остается неоднородной. Значительная часть исторических коллекций до сих пор не оцифрована. Вместе с тем с 2020 года во многих биобанках началась масштабная цифровизация – от коллекций микроорганизмов до клинических образцов в научно-медицинских центрах [6, 11, 12, 14]. Существенно этот процесс ограничивает дефицит подготовленных специалистов с навыками работы в области молекулярной биологии, права, биоинформатики.

Открытыми остаются вопросы о статусе биообразца как носителя персональных дан-

ных, праве донора на результаты проведенных исследований и допустимости коммерческого использования биоматериалов.

Перспективы отрасли на ближайшие десятилетия связаны с ростом национальной сети биобанков и внедрением цифровой инфраструктуры, объединяющей коллекции из разных ведомств – от медицины до сельского хозяйства [2, 6, 7, 11]. Важным инструментом здесь станут методы биоинформатики и анализа больших массивов данных, позволяющие налаживать междисциплинарные связи и выявлять эпидемиологические закономерности [13, 14].

В последние годы растет интерес к микробиологическим коллекциям. Банки микробиоты (например, кишечной микрофлоры) используются для комплексной оценки роли микробиома в развитии метаболических и аутоиммунных заболеваний. Бактериофаги рассматриваются как возможная альтернатива антибиотикам на фоне мировой проблемы антибиотикорезистентности. Микроводоросли изучаются как альтернативный источник белка, а также как перспективное сырье для производства биотоплива и биополимеров [12, 30, 31, 35].

В медицине сохраняется устойчивый интерес к биобанкам в области трансплантологии. Образцы применяются для изучения механизмов отторжения и иммуносупрессии и таргетной терапии [18, 19]. В эпидемиологии банки используются при геномониторинге патогенов [5, 13]. В аграрной и экологической сферах продолжается развитие банков семян высоко-

⁹Об утверждении положения о совете по этике, порядка его создания и деятельности, требований к квалификации и опыту работы по экспертной оценке научных, медицинских и этических аспектов клинических исследований лекарственных препаратов для медицинского применения, предъявляемых к экспертам совета по этике, порядка организации и проведения этической экспертизы, форм заключений совета по этике, порядка размещения информации о составе совета по этике, планах его работы и текущей деятельности: приказ Минздрава России от 31.10.2024 г. № 586н // Федер. служба по надзору в сфере здравоохранения: [офиц. сайт]. URL: <https://www.roszdravnadzor.gov.ru/i/upload/images/2025/4/7/1744058653.94092-1-3895210.pdf> (дата обращения: 07.10.2025).

¹⁰О биоресурсных центрах и биологических (биоресурсных) коллекциях и о внесении изменений в статью 29 Федерального закона «О животном мире»: федер. закон от 30.11.2024 г. № 428-ФЗ // КонсультантПлюс: [офиц. сайт]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_491930/ (дата обращения: 07.10.2025).

урожайных сортов растений и криобанков эмбрионов аборигенных пород животных [1, 10, 29, 32].

Таким образом, будущее биобанкинга в нашей стране связано с проработкой этических норм, строгим соблюдением правил биобезопасности, полной цифровизацией фондов и межведомственным взаимодействием. Это позволит использовать потенциал биобанков в интересах науки, здравоохранения и эпиднадзора [2, 6, 9, 11].

Заключение

Российские биобанки за последнее десятилетие прошли серьезный путь развития – от разрозненных узкопрофильных коллекций к единой сети хранения и использования биоматериалов. Рост масштабов коллекций и расширение сфер их применения усилили потребность в цифровой трансформации и единых стандартах работы [2, 6]. Сегодня ценность биобанков определяется качеством данных, прослеживаемостью образцов и готовностью оперативно решать прикладные задачи (например, быстро создавать диагностические тест-системы, оценивать состояние популяционного иммунитета к той или иной инфекции, производить геномониторинг патогенов) [8, 11].

Существующие нормы законодательства (федеральные законы «О персональных данных», «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» и др.) и национальные стандарты задают общие правила работы с биоматериалом, а санитарные нормы по обращению с патогенными биологическими агентами¹¹ устанавливают правила работы с референс-коллекциями изолятов и культур микроорганизмов [8, 9, 27].

В эпидемиологии коллекции изолятов и банки сывороток/плазмы крови позволяют оценивать популяционный иммунитет и проводить

апробацию диагностических тест-систем [3, 5, 9]. В медицине биобанки дают возможность проводить когортные исследования и изучать биомаркеры, которые могут являться предикторами различных заболеваний [11, 15, 18]. В аграрной сфере банки семян и криоколлекции эмбрионов формируют резерв генетических ресурсов для растениеводства и животноводства [1, 29, 31]. Разнообразные микробиологические коллекции позволяют создавать и тестировать биопрепараты, снижающие зависимость от антибиотиков и агрохимикатов [30, 33, 35]. Экологические коллекции помогают поддерживать биоразнообразие экосистем [1, 31].

В то же время очевидно, что дальнейший рост отрасли невозможен без системных изменений. Необходимы профессиональная подготовка кадров, развитие цифровой инфраструктуры и формирование единого координирующего центра [6, 11]. В настоящее время основными задачами биобанков являются полная оцифровка действующих и исторических коллекций, а также развитие и формирование интегрированной системы клинических, эпидемиологических и ветеринарных данных [2].

Таким образом, система биобанкинга открывает перспективы для оперативного создания диагностических панелей, разработки новых подходов к ветеринарной профилактике и высокопродуктивному сельскому хозяйству, а также персонализированной медицине и эпиднадзору [11, 18]. При соблюдении этических норм и требований биобезопасности, а также при полной оцифровке коллекций и межведомственной интеграции биобанки способны стать «биологической сокровищницей» – системой, которая объединит фундаментальные научные исследования и новые биотехнологические разработки для внедрения и использования в различных отраслях.

¹¹СанПиН 3.3686-21. Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней: утв. постановлением Гл. гос. санитар. врача Рос. Федерации от 28.01.2021 г. № 4. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102180019> (дата обращения: 07.10.2025).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Вклад авторов: Колодина М.В. – подбор и анализ литературы, написание текста обзора, подготовка таблиц; Саркисян Н.С. – разработка концепции обзора, редактирование текста статьи; Гавриш Д.А. – подбор и анализ литературы; Волюнкина А.С. – редактирование статьи; Куличенко А.Н. – утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' contributions: M.V. Kolodina selected and analysed literature, wrote the review and prepared the tables; N.S. Sarkisyan developed the concept of the review and edited the manuscript; D.A. Gavrish selected and analysed literature; A.S. Volynkina edited the manuscript; A.N. Kulichenko approved the final version of the article.

Список литературы

1. The Third Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome: FAO, 2025. <https://doi.org/10.4060/cd4711en>
2. Драккина О.М. Российская «Национальная ассоциация биобанков и специалистов по биобанкированию» – инструмент интеграции российских биобанков и повышения эффективности биомедицинских исследований // Кардиоваскуляр. терапия и профилактика. 2020. Т. 19, № 6. С. 131–133. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2020-2757>
3. Свитич О.А., Зверев В.В., Соломай Т.В., Семененко Т.А., Ноздрачева А.В., Готвянская Т.П. Возможности банка биологических образцов для серологического мониторинга инфекционной заболеваемости // Кардиоваскуляр. терапия и профилактика. 2023. Т. 22, № 11. С. 99–105. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3693>
4. Семененко Т.А., Гуцин В.А., Симакова Я.В., Потапкина А.Е., Субботина Т.И., Клейменов Д.А., Почтовый А.А., Гинцбург А.Л. Банки сывороток крови человека в системе сероэпидемиологического мониторинга популяционного иммунитета // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2025. Т. 24, № 3. С. 14–24. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2025-24-3-14-24>
5. Gladkikh A., Dedkov V., Sharova A., Klyuchnikova E., Sbarzaglia V., Kanaeva O., Arbutova T., Tsyganova N., Popova A., Ramsay E., Totolian A. Epidemiological Features of COVID-19 in the Northwest Russia in 2021 // Viruses. 2022. Vol. 14, № 5. Art. № 931. <https://doi.org/10.3390/v14050931>
6. Глотов А.С., Ярцева О.Ю., Насыхова Ю.А., Лазарева Т.Е., Барбитов Ю.А., Мартынов А.Д., Ахмеров Т.М. Цифровизация российских биобанков для обеспечения медико-генетических исследований: проблемы и перспективы // Мед. генетика. 2023. Т. 22, № 5. С. 12–21. <https://doi.org/10.25557/2073-7998.2023.05.12-21>
7. Brancato V., Esposito G., Coppola L., Cavaliere C., Mirabelli P., Scapicchio C., Borgheresi R., Neri E., Salvatore M., Aiello M. Standardizing Digital Biobanks: Integrating Imaging, Genomic, and Clinical Data for Precision Medicine // J. Transl. Med. 2024. Vol. 22, № 1. Art. № 136. <https://doi.org/10.1186/s12967-024-04891-8>
8. Anisimov S.V., Meshkov A.N., Glotov A.S., Borisova A.L., Balanovsky O.P., Belyaev V.E., Granstrem O.G., Grivtsova L.Yu., Efimenko A.Yu., Pokrovskaya M.S., Semenenko T.A., Sukhorukov V.S., Kaprin A.D., Drapkina O.M. National Association of Biobanks and Biobanking Specialists: New Community for Promoting Biobanking Ideas and Projects in Russia // Biopreservation and Biobanking. 2021. Vol. 19, № 1. P. 73–82. <https://doi.org/10.1089/bio.2020.0049>
9. Долудин Ю.В., Борисова А.Л., Покровская М.С., Стефанюк О.В., Сивакова О.В., Боцоева С.А., Мешков А.Н., Метельская В.А., Драккина О.М. Современные передовые практики и рекомендации по биобанкированию // Клин. лаб. диагностика. 2019. Т. 64, № 12. С. 769–776.
10. Ковтун И.С., Филонова М.В., Борисова А.А., Сазонов А.Э. Изучение продуктов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных: перспективы создания биобанка // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2022. № 60. С. 6–22. <https://doi.org/10.17223/19988591/60/1>
11. Мешков А.Н., Покровская М.С., Глотов А.С., Ершова А.И., Родионова Ю.В., Драккина О.М. От идеи к внедрению: развитие биобанкирования в России. Сотрудничество ведущих научных центров с журналом

«Кардиоваскулярная терапия и профилактика»: Национальная ассоциация биобанков и специалистов по биобанкированию (НАСБИО) // Кардиоваскуляр. терапия и профилактика. 2023. Т. 22, № 11. С. 154–162. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3864>

12. *Tozzo P., Delicati A., Marcante B., Caenazzo L.* Digital Biobanking and Big Data as a New Research Tool: A Position Paper // Healthcare (Basel). 2023. Vol. 11, № 13. Art. № 1825. <https://doi.org/10.3390/healthcare11131825>

13. *Денисов Н.С., Каменских Е.М., Федорова О.С.* Тренды популяционных исследований: молекулярная и цифровая эпидемиология (обзор) // Современ. технологии в медицине. 2022. Т. 14, № 4. С. 60–72. <https://doi.org/10.17691/stm2022.14.4.07>

14. *Bukreeva A.S., Malsagova K.A., Petrovskiy D.V., Butkova T.V., Nakhod V.I., Rudnev V.R., Izotov A.A., Kaysheva A.L.* Biobank Digitalization: From Data Acquisition to Efficient Use // Biology (Basel). 2024. Vol. 13, № 12. Art. № 957. <https://doi.org/10.3390/biology13120957>

15. *Гусакова А.М., Кравченко Е.С., Суслова Т.Е., Попов С.В., Бощенко А.А.* Биобанки в исследованиях сердечно-сосудистых заболеваний // Кардиоваскуляр. терапия и профилактика. 2024. Т. 23, № 11. С. 136–149. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-4170>

16. *Хабаров О.Р., Сеферов Б.Д., Алиев К.А., Зима Д.В., Голубинская Е.П., Зяблицкая Е.Ю.* Биобанкирование образцов опухолевых тканей для научных исследований в морфологии и молекулярной онкологии // Исследования и практика в медицине. 2024. Т. 11, № 1. С. 29–39. <https://doi.org/10.17709/2410-1893-2024-11-1-3>

17. *Нехаева Т.Л., Балдуева И.А., Данилова А.Б., Новик А.В., Питиа Н.П., Гафтон Г.И., Семилетова Ю.В., Носов А.К., Авдонкина Н.А., Зозуля А.Ю., Емельянова Н.В., Блохина М.Л.* Организация банка биологических образцов односторонне пролеченных онкологических больных: современный подход к проведению фундаментальных и прикладных исследований // Труды Первого международного форума онкологии и радиологии (Москва, 23–27 сент. 2019 г.). М., 2019. С. 204.

18. *Покровская М.С., Борисова А.Л., Киселева А.В., Еришова А.И., Мешков А.Н., Драпкина О.М.* Роль биобанкирования в развитии персонализированной медицины в России и в мире // Кардиоваскуляр. терапия и профилактика. 2024. Т. 23, № 11. С. 6–16. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-4214>

19. *Лебедева Ю.Н., Суханов Ю.В., Фоминых Е.М., Еремеев А.В., Роговая О.С., Алексанян Т.А., Воротеляк Е.А., Васильев А.В.* Создание клинических и производственных биобанков кожи и ее продуктов в системе здравоохранения Российской Федерации // Трансплантология. 2025. Т. 17, № 1. С. 90–107. <https://doi.org/10.23873/2074-0506-2025-17-1-90-107>

20. *Zorina A., Zorin V., Isaev A., Kudlay D., Vasileva M., Kopnin P.* Dermal Fibroblasts as the Main Target for Skin Anti-Age Correction Using a Combination of Regenerative Medicine Methods // Curr. Iss. Mol. Biol. 2023. Vol. 45, № 5. P. 3829–3847. <https://doi.org/10.3390/cimb45050247>

21. *Свистушкин М.В., Бакулина А.А., Бикмулина П.Ю., Золотова А.В., Селезнева Л.В., Шевчик Е.А., Кочетков П.А., Серженикова Н.Б., Никифорова А.Н., Тычкина И.А., Шпичка А.И., Свистушкин В.М., Тимашев П.С.* Биоинженерные импланты на основе мезенхимных стромальных клеток в восстановлении поврежденных голосовых складок и барабанной перепонки (пилотные экспериментальные результаты) // Мед. совет. 2024. № 7. С. 110–121. <https://doi.org/10.21518/ms2024-088>

22. *Bikmulina P., Kosheleva N., Efremov Y., Bakulina A., Kuryanova A., Aksenova N., Shavkuta B., Kotova S., Shpichka A., Timashev P.* Building a Tissue: Gingiva- and Adipose-Derived Mesenchymal Cell Spheroids' Survivability and Functionality after 3D Extrusion Bioprinting // Bioprinting. 2023. Vol. 32. Art. № e00279. <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2023.e00279>

23. *Калмыкова О.С., Дубинкин И.В., Демидова Е.С., Климова Н.А., Гапонова Т.В.* Формирование и применение банка редких фенотипов эритроцитов кадровых доноров в ФГБУ «НМИЦ гематологии» Минздрава России // Гематология и трансфузиология. 2022. Т. 67, № 2. С. 42–43.

24. *Тюмина О.В., Волчков С.Е., Овчинников П.А., Бугаков А.И., Потапов И.В., Приходько А.В., Приходько Е.М., Комарова О.В.* Анализ деятельности банков пуповинной крови в Российской Федерации // Гены и клетки. 2023. Т. 18, № 3. С. 205–218. <https://doi.org/10.23868/gc486812>

25. *Балановская Е.В., Петрушенко В.С., Кошель С.М., Почешхова Э.А., Черневский Д.К., Мирзаев К.Б., Абдуллаев Ш.П., Балановский О.П.* Картографический атлас распространения 45 фармакогенетических маркеров в народонаселении России и сопредельных стран // Вестн. Рос. гос. мед. ун-та. 2020. № 6. С. 39–52. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2020.080>

26. Denny J.C., Rutter J.L., Goldstein D.B., Philippakis A., Smoller J.W., Jenkins G., Dishman E. All of Us Research Program Investigators. The “All of Us” Research Program // *N. Engl. J. Med.* 2019. Vol. 381, № 7. P. 668–676. <https://doi.org/10.1056/NEJMs1809937>

27. Пономарёва Д.В. Международно-правовые основы создания, использования и сохранения биоресурсных коллекций // *Lex Genetica*. 2024. Т. 3, № 2. С. 84–99. <https://doi.org/10.17803/lexgen-2024-3-2-84-99>

28. Ганнибал Ф.Б., Левитин М.М. Лаборатория микологии и фитопатологии ВИЗР – 110 лет напряженной и увлекательной работы // *Микология и фитопатология*. 2017. Т. 51, № 5. С. 259–267.

29. Loskutov I.G., Ukhatova Y.V., Khlestkina E.K. VIR: From a Small Bureau in the Russian Empire to the Present-Day National Center for Plant Genetic Resources // *Genet. Resour.* 2025. № S2. P. 58–69. <https://doi.org/10.46265/genresj.EVEF5522>

30. Родыгина Ю.К., Худяева М.В., Ерофеева А.В., Чеботарь В.К. Биотехнологический потенциал эндофитных бактерий семян яровой пшеницы и ярового рапса // *Биотехнология: взгляд в будущее: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ставрополь: Изд-во СтГМУ, 2025. Ч. I. С. 164–166.*

31. Калякин М.В., Серегин А.П., Соловченко А.Е., Каменский П.А., Садовничий В.А. Проект «Ноев ковчег»: промежуточные итоги и перспективы развития классических коллекций // *Acta Naturae*. 2018. Т. 10, № 4(39). С. 49–58. <https://doi.org/10.32607/20758251-2018-10-4-49-58>

32. Разумова О.Ю., Тихонов В.Н., Зиновьева Н.А. Биобанкирование генетических ресурсов сельскохозяйственных животных: состояние и перспективы // *С.-х. биология*. 2022. Т. 57, № 4. С. 643–654.

33. Огнистая А.В., Маркина Ж.В., Орлова Т.Ю. Антимикробная активность морских микроводорослей // *Биология моря*. 2022. Т. 48, № 4. С. 219–232. <https://doi.org/10.31857/S0134347522040076>

34. Колодина М.В. Перспективы интеграции биобанков животных и человека в единую систему зооэпидемиологического надзора // *Биотехнология: взгляд в будущее: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ставрополь: Изд-во СтГМУ, 2025. Ч. I. С. 203–205.*

35. Зурабов А.Ю., Каркищенко Н.Н., Попов Д.В., Жиленков Е.Л., Попова В.М. Создание отечественной коллекции бактериофагов и принципы разработки лечебно-профилактических фаговых препаратов // *Биомедицина*. 2012. № 1. С. 134–138.

References

1. *The Third Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. Rome, 2025. <https://doi.org/10.4060/cd4711en>

2. Drapkina O.M. Russian National Association of Biobanks and Biobanking Specialists – a Tool for Integrating Russian Biobanks and Increasing the Efficiency of Biomedical Research. *Cardiovasc. Ther. Prev.*, 2020, vol. 19, no. 6, pp. 131–133 (in Russ.). <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2020-2757>

3. Svitich O.A., Zverev V.V., Solomay T.V., Semenenko T.A., Nozdracheva A.V., Gotvyanskaya T.P. Possibilities of a Biobank for Serological Monitoring of Infectious Morbidity. *Cardiovasc. Ther. Prev.*, 2023, vol. 22, no. 11, pp. 99–105 (in Russ.). <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3693>

4. Semenenko T.A., Gushchin V.A., Simakova Ya.V., Potapkina A.E., Subbotina T.I., Kleymenov D.A., Pochtovy A.A., Gintsburg A.L. Human Blood Serum Banks in the System of Seroepidemiological Monitoring of Population Immunity. *Epidemiol. Vaccinal Prev.*, 2025, vol. 24, no. 3, pp. 14–24 (in Russ.). <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2025-24-3-14-24>

5. Gladkikh A., Dedkov V., Sharova A., Klyuchnikova E., Sbarzaglia V., Kanaeva O., Arbusova T., Tsyganova N., Popova A., Ramsay E., Totolian A. Epidemiological Features of COVID-19 in Northwest Russia in 2021. *Viruses*, 2022, vol. 14, no. 5. Art. no. 931. <https://doi.org/10.3390/v14050931>

6. Glotov A.S., Yartseva O.Yu., Nasykhova Yu.A., Lazareva T.E., Barbitov Yu.A., Martynov A.D., Akhmerov T.M. Digitalization of Russian Biobanks for Medical Genetic Studies: Problems and Prospects. *Med. Genet.*, 2023, vol. 22, no. 5, pp. 12–21 (in Russ.). <https://doi.org/10.25557/2073-7998.2023.05.12-21>

7. Brancato V., Esposito G., Coppola L., Cavaliere C., Mirabelli P., Scapicchio C., Borgheresi R., Neri E., Salvatore M., Aiello M. Standardizing Digital Biobanks: Integrating Imaging, Genomic, and Clinical Data for Precision Medicine. *J. Transl. Med.*, 2024, vol. 22, no. 1. Art. no. 136. <https://doi.org/10.1186/s12967-024-04891-8>

8. Anisimov S.V., Meshkov A.N., Glotov A.S., Borisova A.L., Balanovsky O.P., Belyaev V.E., Granstrem O.G., Grivtsova L.Yu., Efimenko A.Yu., Pokrovskaya M.S., Semenenko T.A., Sukhorukov V.S., Kaprin A.D., Drapkina O.M. National Association of Biobanks and Biobanking Specialists: New Community for Promoting Biobanking Ideas and Projects in Russia. *Biopreservation Biobanking*, 2021, vol. 19, no. 1, pp. 73–82. <https://doi.org/10.1089/bio.2020.0049>
9. Doludin Y.V., Borisova A.L., Pokrovskaya M.S., Stefanyuk O.V., Sivakova O.V., Botsoeva S.A., Meshkov A.N., Metelskaya V.A., Drapkina O.M. Current Best Practices and Biobanking Recommendations. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika*, 2019, vol. 64, no. 12, pp. 769–776 (in Russ.).
10. Kovtun I.S., Filonova M.V., Borisova A.A., Sazonov A.E. The Study of Metabolic By-Products of Farm Livestock: Prospects for the Creation of a Biobank. *Tomsk State Univ. J. Biol.*, 2022, no. 60, pp. 6–22 (in Russ.). <https://doi.org/10.17223/19988591/60/1>
11. Meshkov A.N., Pokrovskaya M.S., Glotov A.S., Ershova A.I., Rodionova Yu.V., Drapkina O.M. From Idea to Implementation: The Development of Biobanking in Russia. The Cardiovascular Therapy and Prevention Journal's Top Contributing Institutions: National Association of Biobanks and Biobanking Specialists (NASBIO). *Cardiovasc. Ther. Prev.*, 2023, vol. 22, no. 11, pp. 154–162 (in Russ.). <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3864>
12. Tozzo P., Delicati A., Marcante B., Caenazzo L. Digital Biobanking and Big Data as a New Research Tool: A Position Paper. *Healthcare (Basel)*, 2023, vol. 11, no. 13, Art. no. 1825. <https://doi.org/10.3390/healthcare11131825>
13. Denisov N.S., Kamenskikh E.M., Fedorova O.S. Trends in Population-Based Studies: Molecular and Digital Epidemiology (Review). *Mod. Technol. Med.*, 2022, vol. 14, no. 4, pp. 60–70. <https://doi.org/10.17691/stm2022.14.4.07>
14. Bukreeva A.S., Malsagova K.A., Petrovskiy D.V., Butkova T.V., Nakhod V.I., Rudnev V.R., Izotov A.A., Kaysheva A.L. Biobank Digitalization: From Data Acquisition to Efficient Use. *Biology (Basel)*, 2024, vol. 13, no. 12, Art. no. 957. <https://doi.org/10.3390/biology13120957>
15. Gusakova A.M., Kravchenko E.S., Suslova T.E., Popov S.V., Boshchenko A.A. Biobanks in Cardiovascular Disease Research. *Cardiovasc. Ther. Prev.*, 2024, vol. 23, no. 11, pp. 136–149 (in Russ.). <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-4170>
16. Khabarov O.R., Seferov B.D., Aliev K.A., Zima D.V., Golubinskaya E.P., Zyblytskaya E.Yu. Tumor Tissue Samples Collection for Scientific Research in Morphology and Molecular Oncology. *Res. Pract. Med. J.*, 2024, vol. 11, no. 1, pp. 29–39 (in Russ.). <https://doi.org/10.17709/2410-1893-2024-11-1-3>
17. Nekhaeva T.L., Baldueva I.A., Danilova A.B., Novik A.V., Pipia N.P., Gafton G.I., Semiletova Yu.V., Nosov A.K., Avdonkina N.A., Zozulya A.Yu., Emel'yanova N.V., Blokhina M.L. Organizatsiya banka biologicheskikh obraztsov odnotipno prolechennykh onkologicheskikh bol'nykh: sovremennyy podkhod k provedeniyu fundamental'nykh i prikladnykh issledovaniy [Organization of a Bank of Biological Samples of Similarly Treated Cancer Patients: A Modern Approach to Conducting Fundamental and Applied Research]. *Trudy Pervogo mezhdunarodnogo foruma onkologii i radiologii* [Proceedings of the First International Forum of Oncology and Radiology]. Moscow, 2019, p. 204.
18. Pokrovskaya M.S., Borisova A.L., Kiseleva A.V., Ershova A.I., Meshkov A.N., Drapkina O.M. Role of Biobanking in the Development of Personalized Medicine in Russia and the World. *Cardiovasc. Ther. Prev.*, 2024, vol. 23, no. 11, pp. 6–16. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-4214>
19. Lebedeva Yu.N., Sukhanov Yu.V., Fominykh E.M., Ereemeev A.V., Rogovaya O.S., Aleksanyan T.A., Vorotelyak E.A., Vasil'ev A.V. Setting Up Clinical and Production-Based Biobanks in the Healthcare System of the Russian Federation. *Transplantologiya Russ. J. Transplant.*, 2025, vol. 17, no. 1, pp. 90–107. <https://doi.org/10.23873/2074-0506-2025-17-1-90-107>
20. Zorina A., Zorin V., Isaev A., Kudlay D., Vasileva M., Kopnin P. Dermal Fibroblasts as the Main Target for Skin Anti-Age Correction Using a Combination of Regenerative Medicine Methods. *Curr. Iss. Mol. Biol.*, 2023, vol. 45, no. 5, pp. 3829–3847. <https://doi.org/10.3390/cimb45050247>
21. Svistushkin M.V., Bakulina A.A., Bikmulina P.Yu., Zolotova A.V., Selezneva L.V., Shevchik E.A., Kochetkov P.A., Serezhnikova N.B., Nikiforova A.N., Tychkina I.A., Shpichka A.I., Svistushkin V.M., Timashev P.S. Mesenchymal Stromal Cells Based Bioengineered Implants in Vocal Folds and Tympanic Membrane Restoration (Pilot Experimental Results). *Med. Counc.*, 2024, no. 7, pp. 110–121 (in Russ.). <https://doi.org/10.21518/ms2024-088>
22. Bikmulina P., Kosheleva N., Efremov Y., Bakulina A., Kuryanova A., Aksenova N., Shavkuta B., Kotova S., Shpichka A., Timashev P. Building a Tissue: Gingiva- and Adipose-Derived Mesenchymal Cell Spheroids' Survivability and Functionality After 3D Extrusion Bioprinting. *Bioprinting*, 2023, vol. 32, Art. no. e00279. <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2023.e00279>

23. Kalmykova O.S., Dubinkin I.V., Demidova E.S., Klimova N.A., Gaponova T.V. Formirovanie i primenenie banka redkikh fenotipov eritrotsitov kadrovyykh donorov v FGBU “NMITs gematologii” Minzdrava Rossii [Creation and Use of a Bank of Rare Erythrocyte Phenotypes of Human Donors at the National Medical Research Center for Hematology of the Ministry of Health of the Russian Federation]. *Gematologiya i transfuziologiya*, 2022, vol. 67, no. 2, pp. 42–43.

24. Tyumina O.V., Volchkov S.E., Ovchinnikov P.A., Bugakov A.I., Potapov I.V., Prihodko A.V., Prihodko E.M., Komarova O.V. Analysis of the Activities of Cord Blood Banks in the Russian Federation. *Genes Cells*, 2023, vol. 18, no. 3, pp. 205–218. <https://doi.org/10.23868/gc486812>

25. Balanovskaya E.V., Petrushenko V.S., Koshel' S.M., Pocheshkhova E.A., Chernevskiy D.K., Mirzaev K.B., Abdullaev Sh.P., Balanovskiy O.P. Kartograficheskiy atlas rasprostraneniya 45 farmakogeneticheskikh markerov v narodonaselenii Rossii i sopredel'nykh stran [Cartographic Atlas of Frequency Variation for 45 Pharmacogenetic Markers in Populations of Russia and Its Neighbor States]. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*, 2020, no. 6, pp. 39–52. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2020.080>

26. Denny J.C., Rutter J.L., Goldstein D.B., Philippakis A., Smoller J.W., Jenkins G., Dishman E. All of Us Research Program Investigators. The “All of Us” Research Program. *N. Engl. J. Med.*, 2019, vol. 381, no. 7, pp. 668–676. <https://doi.org/10.1056/NEJMs1809937>

27. Ponomareva D.V. International Legal Framework for the Creation, Use and Conservation of Bioresource Collections. *Lex Genet.*, 2024, vol. 3, no. 2, pp. 84–99 (in Russ.). <https://doi.org/10.17803/lexgen-2024-3-2-84-99>

28. Gannibal F.B., Levitin M.M. Laboratoriya mikologii i fitopatologii VIZR – 110 let napryazhennoy i uvlekatel'noy raboty [Laboratory of Mycology and Phytopathology of VIZR – 110 Years of Intensive and Fascinating Work]. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2017, vol. 51, no. 5, pp. 259–267.

29. Loskutov I.G., Ukhatova Y.V., Khlestkina E.K. VIR: From a Small Bureau in the Russian Empire to the Present-Day National Center for Plant Genetic Resources. *Genet. Resour.*, 2025, no. S2, pp. 58–69. <https://doi.org/10.46265/genresj.EVEF5522>

30. Rodygina Yu.K., Khudyaeva M.V., Erofeeva A.V., Chebotar' V.K. Biotekhnologicheskyy potentsial endofitnykh bakteriy semyan yarovoy pshenitsy i yarovogo rapsa [Biotechnological Potential of Endophytic Bacteria from Spring Wheat and Spring Rape Seeds]. *Biotekhnologiya: vzglyad v budushchee* [Biotechnology: A Look into the Future]. Stavropol, 2025. Pt. 1, pp. 164–166.

31. Kalyakin M.V., Seregin A.P., Solovchenko A.E., Kamenskiy P.A., Sadovnichiy V.A. “Noah’s Ark” Project: Interim Results and Outlook for Classic Collection Development. *Acta Naturae*, 2018, vol. 10, no. 4, pp. 49–58. <https://doi.org/10.32607/20758251-2018-10-4-49-58>

32. Razumova O.Yu., Tikhonov V.N., Zinov'eva N.A. Biobankirovanie geneticheskikh resursov sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh: sostoyanie i perspektivy [Biobanking of Farm Animal Genetic Resources: Status and Prospects]. *Sels'kokhozyaystvennaya biologiya*, 2022, vol. 57, no. 4, pp. 643–654.

33. Ognistaya A.V., Markina Zh.V., Orlova T.Yu. Antimikrobnaya aktivnost' morskikh mikrovodorosley [Antimicrobial Activity of Marine Microalgae]. *Biologiya morya*, 2022, vol. 48, no. 4, pp. 219–232. <https://doi.org/10.31857/S0134347522040076>

34. Kolodina M.V. Perspektivy integratsii biobankov zhivotnykh i cheloveka v edinuyu sistemu zooepidemiologicheskogo nadzora [Prospects for the Integration of Animal and Human Biobanks into a Single System of Epizootiological Surveillance]. *Biotekhnologiya: vzglyad v budushchee* [Biotechnology: A Look into the Future]. Stavropol, 2025. Pt. 1, pp. 203–205.

35. Zurabov A.Yu., Karkishchenko N.N., Popov D.V., Zhilenkov E.L., Popova V.M. Sozdanie otechestvennoy kolleksii bakteriofagov i printsipy razrabotki lechebno-profilakticheskikh fagovykh preparatov [Creation of Native Bacteriophages Collection and Principle of Treatment and Prophylactic Phages Drug Design]. *Biomeditsina*, 2012, no. 1, pp. 134–138.

Поступила в редакцию 07.10.2025 / Одобрена после рецензирования 04.12.2025 / Принята к публикации 08.12.2025
Submitted 7 October 2025 / Approved after reviewing 4 December 2025 / Accepted for publication 8 December 2025



Краткое сообщение
УДК 356.33+331.483
DOI: 10.37482/2687-1491-Z279

Номенклатура обязательных гигиенических исследований, проблемы и способы ее совершенствования в медицинской службе Вооруженных сил РФ

Владимир Павлович Андреев* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9072-2845>
Елена Федоровна Сороколетова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9645-3391>
Жанна Вячеславовна Плахотская* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9045-721X>
Инна Алексеевна Коновалова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6779-5870>

*Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова
(Санкт-Петербург, Россия)

Аннотация. Работа посвящена анализу руководящих документов в части, касающейся оценки номенклатуры методов анализа, применяемых медицинским контролем войскового звена в процессе его повседневной деятельности, а также современных методик в гражданской сфере контроля, которые могли бы использоваться медицинским контролем Вооруженных сил Российской Федерации для повышения его эффективности. Установлено, что самостоятельным критерием отбора методик может быть их простота. Также к числу критериев следует отнести широкую область применения методики, высокую точность результата и быстроту его получения. На основании данных критериев можно вносить аргументированные предложения о включении того или иного нового метода в обязательную номенклатуру или обосновывать сохранение действующей методики в новой редакции «Руководства по медицинскому обеспечению Вооруженных сил Российской Федерации на мирное время».

Ключевые слова: медицинская служба войскового звена, медицинский контроль, номенклатура обязательных исследований, методы гигиенических исследований, методы санитарно-микробиологических исследований, альтернативные методики

Финансирование. Работа не имела спонсорской поддержки, никто из авторов финансово не заинтересован в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Номенклатура обязательных гигиенических исследований, проблемы и способы ее совершенствования в медицинской службе Вооруженных сил РФ / В. П. Андреев, Е. Ф. Сороколетова, Ж. В. Плахотская, И. А. Коновалова // Журнал медико-биологических исследований. – 2026. – Т. 14, № 1. – С. 107-112. – DOI 10.37482/2687-1491-Z279.

© Андреев В.П., Сороколетова Е.Ф., Плахотская Ж.В., Коновалова И.А., 2026

Ответственный за переписку: Жанна Вячеславовна Плахотская, адрес: 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6, лит. Ж; e-mail: zannapl@yandex.ru

Brief communication

Problems and Ways of Improving the Nomenclature of Mandatory Hygiene Tests in the Medical Service of the Russian Armed Forces

Vladimir P. Andreev* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9072-2845>
Elena F. Sorokoletova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9645-3391>
Zhanna V. Plakhotskaya* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9045-721X>
Inna A. Konovalova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6779-5870>

*Kirov Military Medical Academy
(St. Petersburg, Russia)

Abstract. The paper analyses guidelines on the evaluation of the nomenclature of testing methods employed by the army's medical control on the daily basis as well as modern techniques used in the civilian sphere which could be applied by the medical control of the Russian Armed Forces in order to improve its effectiveness. It was established that simplicity of a technique can serve as an independent criterion for its selection. Other criteria should be a wide range of applications, high accuracy of the results and rapidity. Using these criteria, one can bring forward reasoned proposals for inclusion of certain new methods in the mandatory nomenclature or substantiate the preservation of the current methodology in the new edition of the "Guidelines for the Medical Service of the Armed Forces of the Russian Federation During Peacetime".

Keywords: *army medical service, medical control, nomenclature of mandatory tests, hygiene testing methods, microbiological testing methods, alternative methods*

Funding. This research was not sponsored; none of the authors have a financial interest in the materials or methods presented.

For citation: Andreev V.P., Sorokoletova E.F., Plakhotskaya Zh.V., Konovalova I.A. Problems and Ways of Improving the Nomenclature of Mandatory Hygiene Tests in the Medical Service of the Russian Armed Forces. *Journal of Medical and Biological Research*, 2026, vol. 14, no. 1, pp. 107–112. DOI: 10.37482/2687-1491-Z279

Одними из главных задач медицинской службы Вооруженных сил (МС ВС) являются анализ, научное обоснование и внедрение в практику медицинского обеспечения ВС передовых достижений и опыта. Исходя из вышесказанного, цель работы состояла в уточнении основных подходов к совершенствованию номенклатуры обязательных гигиенических и санитарно-микробиологических исследований

применительно к задачам, решаемым медицинской службой войскового звена.

Определенные резервы оптимизации таких исследований содержит сам список методик, используемых медицинской службой войскового звена [1, с. 5]. Анализ номенклатуры обязательных гигиенических и санитарно-микробиологических исследований, выполняемых МС ВС, выявляет методики, предназначенные для ре-

Corresponding author: Zhanna Plakhotskaya, address: ul. Akademika Lebedeva 6, lit. Zh, St. Petersburg, 194044, Russia; e-mail: zannapl@yandex.ru

шения одних и тех же проблем, но требующие для получения результата существенно разных периодов ожидания. Например, в практике контроля качества молочных продуктов применяется широкий перечень органолептических, физических и химических методов, выбор которых зависит от вида молочного продукта и содержания в нем жира, целей идентификации и технических возможностей [2, с. 95]. Для оценки качества пастеризации молока проводят тест на сохранение активности ферментов – пероксидазы или фосфатазы. При пастеризации ферменты теряют функциональную активность. Наличие ферментативной активности говорит либо о добавлении в пастеризованный продукт сырого молока, либо о некачественной пастеризации. Неоднозначность ответа определяется тем, что контролируемые ферменты различаются устойчивостью к температурному фактору. Если щелочная фосфатаза инактивируется при мягкой пастеризации, которая проводится при 65 °С, то для инактивации пероксидазы требуется 80 °С. Кислая же фосфатаза утратит активность лишь при 85 °С [3, с. 46]. С другой стороны, для выявления активности пероксидазы требуется до 2 мин, фосфатазная же активность обнаруживается лишь после 1 ч выдерживания пробы молока с добавленным в него индикатором в термостате при 40–50 °С. Очевидно, что отказываться от использования одной из методик в пользу другой, ориентируясь только на быстроту анализа, не следует, поскольку для каждой из них показана своя область адекватного применения.

Рассмотренные методики объединены тем, что уже включены в номенклатуру обязательных гигиенических и санитарно-микробиологических исследований, проводимых специалистами санитарно-эпидемиологической лаборатории (взвода) медицинской роты. Они упомянуты здесь для обоснования целесообразности их сохранения. Существуют, тем не менее, методы, которые официально не при-

няты, но могут и должны быть рекомендованы к использованию. Данное утверждение тем более справедливо, что фальсификация продовольственного сырья и его компонентов в последние годы стала особенно изощренной. Выявлены фальсификаты искусственного происхождения, имитирующие некоторые свойства натуральных продуктов. Например, меламин используется для фальсификации молока и соевых бобов. Современная профилактическая наука привлекает для решения указанной проблемы целый ряд новейших методов, в т. ч. масс-спектрометрию, газовую хроматографию, инфракрасную Фурье-спектроскопию, ионоселективную кондуктометрию и др. [4, с. 259, 283]. В этом плане целесообразно сравнить традиционные и перспективные подходы к определению нитритов в колбасных изделиях, поскольку снижение в колбасных изделиях содержания различных пищевых добавок, в частности нитрита натрия, отвечающего за цвет колбас, является весьма актуальной задачей [5, с. 45]. Содержание нитрита в готовой продукции по законодательству РФ не должно превышать 0,005 г на 100 г продукта, т. е. 50 мг/кг. Сущность любой из традиционных методик заключается в оценке содержания нитритов по интенсивности окраски, получаемой с помощью добавляемого индикаторного красителя¹. Однако наиболее точный и быстрый результат дает измерение иономером концентрации нитрит-ионов с помощью ионоселективного электрода. Так, иономер «Эксперт-001» с нитритселективным электродом «Элит-071» осуществляет одномоментное измерение и автоматический пересчет результата в требуемые действующим законодательством единицы – миллиграммы на килограмм. По сочетанию показателей «быстрота» и «точность» выигрывает именно приборный метод. Тот факт, что методика не предусмотрена ГОСТ 8558.1–2015, не должен препятствовать рекомендации по ее внедрению в ВС РФ, тем более что государственные

¹ГОСТ 8558.1–2015. Продукты мясные. Методы определения нитрита. Введ. 2017–01–01. М.: Стандартинформ, 2016. 10 с.

стандарты в нашей стране носят рекомендательный характер. В ст. 4 Федерального закона № 162-ФЗ первым же принципом стандартизации заявлена добровольность применения соответствующих документов².

Такая же ситуация сложилась в оценке методик определения активного хлора. Контроль его содержания чрезвычайно важен, т. к. предотвращение образования канцерогенных продуктов обеспечивается лишь при таких режимах хлорирования, когда содержание остаточного активного хлора не превышает регламентируемых значений (0,8–1,2 мг/л) [6, с. 70, 72]. Сравнение методов, применяемых в этой области исследований, приводит к выводу о предпочтительном использовании лабораторного йодометрического метода. Из всех рассмотренных он один поддается метрологическому сопровождению и описан в ГОСТ 18190–72³ и ГОСТ Р 57001–2016⁴. Последний стандарт устанавливает метод определения содержания активного хлора в водных растворах, порошках и таблетках.

Однако методы, применяемые в лабораториях, не всегда удобны в полевых условиях. Поэтому при проводимых в мирное время учениях войск вне мест постоянной дислокации предлагается для оценки состояния дезинфицирующих растворов использовать определение содержания остаточного активного хлора экспресс-методом⁵, являющимся упрощенной модификацией метода, описанного в ГОСТ Р 57001–2016. В этом методе капля анализиру-

емого раствора наносится на активную тест-полоску, развивающуюся окраску сравнивают с образцами на контрольной шкале.

На территории России существуют условия, детерминирующие высокий риск заражения яйцами гельминтов [7, с. 17, 18]. В связи с этим целесообразно рассмотреть методики оценки санитарного состояния почвы, описанные в МУК 4.2.2661–10⁶. Анализ документа показал, что в то время как ведущий показатель санитарно-химического состояния почвы – санитарное число определяется безальтернативно, единственным способом, санитарно-эпидемиологические показатели зараженности почв яйцами гельминтов могут быть оценены разными методами, при этом содержание яиц гельминтов и цист кишечных патогенных простейших устанавливается путем прямого наблюдения по общему содержанию яиц в 1 кг и цист в 100 г почвы. Важнейшим этапом работы является обеспечение всплывания яиц гельминтов путем обработки почвенного образца флотирующим раствором.

В МУК 4.2.2661–10 описан, например, метод санитарно-гельминтологического исследования почвы по Н.А. Романенко, который официально рекомендован к применению и широко используется в разных модификациях [8, с. 9]. Между тем именно этот метод обладает ограниченной чувствительностью, поскольку применяемые насыщенные флотирующие растворы быстро кристаллизуются и затрудняют просмотр проб, а выполнение нескольких

²О стандартизации в Российской Федерации: федер. закон от 29.06.2015 г. № 162-ФЗ (ред. от 03.07.2016 г.) // КонсультантПлюс: [офиц. сайт]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_181810 (дата обращения: 10.03.2025).

³ГОСТ 18190–72. Вода питьевая. Методы определения содержания остаточного активного хлора. Введ. 1974–01–01. М.: Стандартинформ, 2009. 7 с.

⁴ГОСТ Р 57001–2016. Дезинфектология и дезинфектологическая деятельность. Химические дезинфицирующие средства и антисептики. Метод определения содержания активного хлора. Введ. 2017–01–01. М.: Стандартинформ, 2016. 8 с.

⁵Полевая лаборатория анализа воды НКВ-1. URL: <https://ecologlab.ru/nkv-1> (дата обращения: 10.06.2024).

⁶МУК 4.2.2661–10. Методы санитарно-паразитологических исследований: утв. Гл. гос. санитар. врачом Рос. Федерации 23.07.2010 г. М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 63 с.

последовательных промывок приводит к потере части материала.

Более удачной является модификация способа санитарно-гельминтологического исследования почвы, предложенная Д.А. Долбиным с соавт. В этой методике применяется флотирующая трехкомпонентная система, содержащая насыщенные растворы $ZnCl_2$, $NaCl$ и глицерин в соотношении 1:1:1. Такая смесь обеспечивает всплытие яиц гельминтов, а ее компоненты не нарушают морфологию яиц паразитов и не создают затруднений с их идентификацией [9, с. 62].

В отличие от яиц, личинки обладают определенной подвижностью. Метод исследования почвы на личинки гельминтов по Берману также описан в МУК 4.2.2661–10. Он основан на свойстве термотропности личинок гельминтов, т. е. их способности мигрировать через сито из емкости с почвенной взвесью в пробирку с теплой водой, где они оседают на дно. В осадке подсчитывают число личинок. Недостатком метода является низкая скорость оседания личинок – требуется 4–5 ч для полного их оседания.

Более быстрым является метод исследования почвы на личинки гельминтов по Супряге. Он основан на способности личинок образовывать взвесь уже через 20 мин после помещения навески почвы в теплый (40 °С) физраствор [10, с. 1259].

Анализ приведенных выше примеров позволяет сделать следующие выводы:

1. Главными показателями включения методик контроля в номенклатуру должны быть широкая область применения, высокая точность результата и быстрота его получения.

2. При рассмотрении методик, принадлежащих к одной области применения, но совокупно включенных в номенклатуру обязательных исследований, целесообразно исключать из нее методы, требующие длительного ожидания ответа, и сохранять более точные и дающие быстрый ответ.

3. Методики, не предусмотренные действующими государственными стандартами, но отвечающие требованиям точности и быстроты анализа, должны рассматриваться на предмет рекомендации по их внедрению в ВС РФ наравне с методами, поддерживаемыми нормативными документами.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Власов А.Ю. Медицинское обеспечение Вооруженных Сил Российской Федерации: итоги деятельности и задачи на 2017 год // Воен.-мед. журн. 2017. Т. 338, № 1. С. 4–21.
2. Школьникова М.Н. Обзор современных методов идентификации цельномолочных продуктов // Вестн. КрасГАУ. 2017. № 7(130). С. 90–97.
3. Наумова Н.Л. Влияние технологических факторов на формирование витаминно-минеральной ценности обогащенного пастеризованного молока // Техника и технология пищевых производств. 2016. Т. 40, № 1. С. 46–50.
4. Большаков Д.С., Кочетова А.Н., Подколзин И.В. Современные методы определения подлинности пищевых продуктов // Тр. федер. центра охраны здоровья животных. 2020. Т. 17. С. 257–299.
5. Котельникова Ю.А., Корневская П.А. Изучение возможности увеличения сроков хранения колбасы вареной // Безопасность и качество товаров: материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. С.А. Богатырева. Саратов, 2021. С. 45–48.
6. Дерябкина Л.А., Марченко Б.И., Плуготаренко Н.К., Юхно А.И. Оценка эффективности применения преаммонизации в целях снижения канцерогенного риска от тригалогенметанов в питьевой воде // Анализ риска здоровью. 2020. № 3. С. 70–77. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.08>

7. Романенко Н.А. Гигиенические вопросы профилактики паразитарных болезней // Гигиена и санитария. 2003. № 3. С. 16–18.

8. Романенко Н.А., Гафурова З.М. Осадок сточных вод. Паразитологическая характеристика. Методы обеззараживания и использования в сельском хозяйстве // Почва, отходы производства и потребления: проблемы охраны и контроля: материалы конф. Пенза: Приволж. Дом знаний, 1996. С. 7–10.

9. Долбин Д.А., Лутфуллин М.Х. Усовершенствованная методика исследования почвы на загрязненность их возбудителями паразитозов // Ветеринар. врач. 2017. № 2. С. 61–65.

10. Асланова М.М., Загайнова А.В., Манья Т.Р., Ракитина Д.В., Абрамов И.А., Курбатова И.В., Савостикова О.Н. Анализ и оценка современного состояния санитарно-паразитологических методов исследования почв // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102, № 11. С. 1255–1260. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-11-1255-1260>

References

1. Vlasov A.Yu. Meditsinskoe obespechenie Vooruzhennykh Sil Rossiyskoy Federatsii: itogi deyatel'nosti i zadachi na 2017 god [Medical Support of the Armed Forces of the Russian Federation: Results of Activity and Aims for 2017]. *Voенно-meditsinskiy zhurnal*, 2017, vol. 338, no. 1, pp. 4–21.

2. Shkol'nikova M.N. Obzor sovremennykh metodov identifikatsii tsel'nomolochnykh produktov [Review of Modern Methods of Whole-Milk Products Identification]. *Vestnik KrasGAU*, 2017, no. 7, pp. 90–97.

3. Naumova N.L. Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov na formirovanie vitaminno-mineral'noy tsennosti obogashchennogo pasterizovannogo moloka [The Influence of Technological Factors on the Formation of Vitamin and Mineral Value of Enriched Pasteurized Milk]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2016, vol. 40, no. 1, pp. 46–50.

4. Bol'shakov D.S., Kochetova A.N., Podkolzin I.V. Sovremennyye metody opredeleniya podlinnosti pishchevykh produktov [Contemporary Techniques for Food Authentication]. *Trudy federal'nogo tsentra okhrany zdorov'ya zhivotnykh*, 2020, vol. 17, pp. 257–299.

5. Kotel'nikova Yu.A., Korenevskaya P.A. Izuchenie vozmozhnosti uvelicheniya srokov khraneniya kolbasy varenoy [Possible Ways of Increasing the Shelf Life of Boiled Sausages]. Bogatyrev S.A. (ed.). *Bezopasnost' i kachestvo tovarov* [Product Safety and Quality]. Saratov, 2021, pp. 45–48.

6. Deryabkina L.A., Marchenko B.I., Plugotarenko N.K., Yukhno A.I. Otsenka effektivnosti primeneniya preammonizatsii v tselyakh snizheniya kantserogennogo riska ot trigalogenmetanov v pit'evoy vode [Assessing Efficiency of Pre-Ammonization Aimed at Reducing Carcinogenic Risks Caused by Trihalomethanes in Drinking Water]. *Analiz riska zdorov'yu*, 2020, no. 3, pp. 70–77. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.08>

7. Romanenko N.A. Gigienicheskie voprosy profilaktiki parazitarnykh bolezney [Contemporary Techniques for Food Authentication]. *Gigiena i sanitariya*, 2003, no. 3, pp. 16–18.

8. Romanenko N.A., Gafurova Z.M. Osadok stochnykh vod. Parazitologicheskaya kharakteristika. Metody obezrazhivaniya i ispol'zovaniya v sel'skom khozyaystve [Sewage Sludge. Parasitological Characteristics. Methods of Disinfection and Use in Agriculture]. *Pochva, otkhody proizvodstva i potrebleniya: problemy okhrany i kontrolya* [Soil and Production and Consumption Waste: Protection and Control]. Penza, 1996, pp. 7–10.

9. Dolbin D.A., Lutfullin M.Kh. Usovershenstvovannaya metodika issledovaniya pochvy na zagryaznennost' ikh vozбудитelyami parazitozov [An Improved Method for Detection of Soil Contamination with Parasitic Eggs]. *Veterinarnyy vrach*, 2017, no. 2, pp. 61–65.

10. Aslanova M.M., Zagainova A.V., Maniya T.R., Rakitina D.V., Abramov I.A., Kurbatova I.V., Savostikova O.N. Analysis and Evaluation of the Current State of Sanitary and Parasitological Methods of Soil Investigation. *Hyg. Sanitation*, 2023, vol. 102, no. 11, pp. 1255–1260 (in Russ.). <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-11-1255-1260>

Поступила в редакцию 29.09.2025 / Одобрена после рецензирования 04.12.2025 / Принята к публикации 08.12.2025
Submitted 29 September 2025 / Approved after reviewing 4 December 2025 / Accepted for publication 8 December 2025

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

«Журнал медико-биологических исследований» содержит публикации по основным направлениям научно-исследовательской работы в области биологических, медико-биологических наук, клинической и профилактической медицины.

Общие требования

Тексты представляются в электронном виде. Для этого необходимо зайти на сайт журнала <https://vestnikmed.ru> и, нажав на кнопку «Отправить материал», перейти на редакционно-издательскую платформу, куда можно будет после регистрации загрузить статью и сопроводительные документы. Необходимо указать отрасль науки и специальность (шифр и название), по которым выполнено научное исследование.

Электронный вариант статьи выполняется в текстовом редакторе Microsoft Word и сохраняется с расширением *.doc. В имени файла указываются фамилия, инициалы автора.

Параметры страницы

Формат А4. Поля: правое, левое – 25 мм; верхнее, нижнее – 20 мм.

Форматирование основного текста

Абзацный отступ – 10 мм. Межстрочный интервал – полуторный. Порядковые номера страниц проставляются посередине верхнего поля страницы арабскими цифрами.

Шрифт

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

Объем статьи

Объем научных статей – 10–20 страниц, обзорных статей – до 25 страниц, кратких сообщений – 6–8 страниц.

Сведения об авторе

Указываются на русском и английском языках фамилия, имя, отчество автора (полностью); ученая степень, звание, должность и место работы (кафедра, институт, университет); рабочий адрес с почтовым индексом; тел./факсы (служебный, домашний, мобильный), e-mail.

ORCID

В сведениях об авторах также необходимо указать международный авторский идентификатор ORCID в формате интерактивной ссылки <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>. Если у автора нет номера ORCID, его необходимо получить, зарегистрировавшись на ресурсе orcid.org. В профиле обязательно должна быть указана минимальная информация: место работы, ученая степень, ученое звание, должность.

Индекс УДК

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

Заглавие

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

Аннотация	<p>Предоставляется на русском и английском языках. Аннотация должна быть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – информативной (не содержать общих фраз); – оригинальной; – содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований); – структурированной (содержать те же разделы, что и статья); – компактной (укладываться в объем от 200 до 250 слов). <p>Авторы статей в разделах «Научная жизнь» и «Краткие сообщения» предоставляют аннотацию объемом 50–100 слов.</p>
Ключевые слова	<p>После аннотации указывается до 6–8 ключевых слов (словосочетаний), несущих в тексте основную смысловую нагрузку.</p>
Примечания и комментарии	<p>Примечания, комментарии, ссылки на нормативные документы, сайты (если это не книга, сборник, статья и т. п. в электронном виде) даются в виде подстрочных сносок (внизу страницы). Маркер сноски – арабская цифра (нумерация сквозная).</p>
Библиографические ссылки	<p>Библиографические ссылки на использованную литературу оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008 (п. 7 «Затекстовая библиографическая ссылка»).</p> <p>– Подпункт 7.4.1 – ссылка на текст.</p> <p><i>Например</i>, в тексте: Общий список справочников по терминологии, охватывающий время не позднее середины XX века, дает работа библиографа И.М. Кауфмана [59];</p> <p>в списке литературы: 59. <i>Кауфман И.М.</i> Терминологические словари: библиография. М., 1961.</p> <p>– Подпункт 7.4.2 – ссылка на фрагмент текста.</p> <p><i>Например</i>, в тексте: [10, с. 81], [10, с. 106] и т. д.;</p> <p>в списке литературы: 10. <i>Бердяев Н.А.</i> Смысл истории. М., 1990. 175 с.</p>
Рисунки, схемы, диаграммы	<p>Принимается не более 4 рисунков. Рисунки, схемы, диаграммы приводятся в тексте статьи и предоставляются отдельным файлом. Электронную версию рисунка следует сохранять в форматах *.tiff, *.tif (300 dpi). Иллюстрации должны быть четкими. В тексте статьи следует дать ссылку на конкретный рисунок, например (<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) 21-61-00 (18-20); e-mail: vestnik@narfu.ru; vestnik_med@narfu.ru.