

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

Научный  
рецензируемый  
журнал

Издаётся с 2013 года

Выходит 4 раза в год

# ЖУРНАЛ медико-биологических исследований

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

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

Главный редактор **А.О. Марьяндышев**

Редакционная коллегия:

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

Редакционный совет:

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

Том 12, № 2  
2024

## СОДЕРЖАНИЕ

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Фаркова А.А., Морозова Л.В., Соколова Л.В.** Динамика развития управляющих функций у детей 5–6 лет в условиях Севера России..... 151
- Даутова А.З., Зверев А.А., Янышева Г.Г., Назаренко А.С., Шамратова В.Г.** Возрастные особенности аэробных возможностей организма у спортсменов с разной направленностью физических нагрузок..... 161
- Иржак Л.И., Русских Н.Г., Игнатова А.Н.** Исследование соотношений между показателями ритмической активности сердца человека..... 172
- Нужина Н.С., Продиус П.А., Мухина И.В.** Обработка зрительной вербальной информации в условиях чтения и категоризации слов в составе одного согласованного словосочетания.... 181
- Нопин С.В., Корягина Ю.В.** Функциональные резервы адаптации двигательной системы спортсменов с позиций физиолого-биомеханического подхода..... 191
- Шестаков О.И., Пухов А.М.** Электрофизиологические корреляты точности выстрела у лучников разной квалификации..... 201

### КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

- Авхименко В.А., Тривоженко А.Б.** Оценка кровоснабжения миокарда методом доплерографии коронарных артерий после пантовой бальнеотерапии..... 211

# СОДЕРЖАНИЕ

Индексируется в: Размещается в:



*Редактор*  
М.Г. Аверина

*Ведущий редактор*  
А.В. Крюкова

*Переводчик*  
С.В. Бирюкова

*Документовед*  
Е.В. Андреева

*Верстка*  
Е.Б. Красновой

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

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

*Адрес редакции:*  
163002, г. Архангельск,  
наб. Северной Двины, д. 17, ауд. 1336  
Тел.: +7(8182) 21-61-21  
E-mail: vestnik@narfu.ru;  
vestnik.med@narfu.ru

Выход в свет 17.05.2024.  
Бумага писчая. Формат 84×108 1/16.  
Усл. печ. л. 13,44. Уч.-изд. л. 10,91.  
Тираж 250 экз. Заказ № 8593.

*Адрес типографии:*  
Издательский дом  
имени В.Н. Булатова САФУ  
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 56

Свободная цена  
© САФУ имени М.В. Ломоносова, 2024

## МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Бырина А.Ю., Мальков О.А. Механизмы поражения соединительной ткани при фибромускулярной дисплазии и атеросклерозе: возможности визуализации..... 221

## НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

Хорсева Н.И., Григорьев П.Е. Эффекты воздействий радиочастотных электромагнитных полей на нервную систему. Эксперименты *in vitro* (обзор)..... 229

Лысенков С.П., Муженя Д.В. Роль ацетилхолиновой системы и ее компонентов в формировании постковидных синдромов (обзор)..... 240

Катаев Д.А., Циркин В.И., Кишкина В.В., Трухина С.И., Трухин А.Н. Общая мощность спектра и HF-волн в зависимости от этапов годичного цикла подготовки спортсменов и других факторов (обзор)..... 253

## НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ

Старцева Л.Ф., Журавлёв П.С., Панков М.Н., Кожевникова И.С. Жизненный путь и научное наследие Анатолия Владимировича Грибанова..... 268

К сведению авторов..... 272

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

Subscriptional index of the journal – 82797

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

#### Editorial Board:

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

#### Editorial Council:

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

Vol. 12, no. 2  
2024

## CONTENTS

### BIOLOGICAL SCIENCES

- Farkova A.A., Morozova L.V., Sokolova L.V.** Dynamics of Executive Functions Development in 5–6-Year-Old Children Living in the Russian North..... 151
- Dautova A.Z., Zverev A.A., Yanysheva G.G., Nazarenko A.S., Shamratova V.G.** Age-Related Features of Aerobic Ability in Athletes Doing Endurance and Speed-Strength Sports..... 161
- Irzhak L.I., Russkikh N.G., Ignatova A.N.** Correlations Between Rhythmic Activity Parameters of the Human Heart..... 172
- Nuzhina N.S., Prodius P.A., Mukhina I.V.** Visual-Verbal Information Processing During Passive Reading and Categorization of Words in a Phrase..... 181
- Nopin S.V., Koryagina Yu.V.** Functional Reserves of Motor System Adaptation in Athletes from the Standpoint of the Physiological and Biomechanical Approach..... 191
- Shestakov O.I., Pukhov A.M.** Electrophysiological Correlates of Shot Accuracy of Archers with Different Sports Ranks..... 201

### CLINICAL MEDICINE

- Avkhimenko V.A., Trivozhenko A.B.** Assessment of Myocardial Blood Supply Using Doppler Sonography in Patients After Balneotherapy with Velvet Antler Products..... 211

# CONTENTS

Indexed in:



Included in:



*Editor*

M.G. Averina

*Managing Editor*

A.V. Kryukova

*Translator*

S.V. Biryukova

*Document Manager*

E.V. Andreyeva

*Make-up by*

E.B. Krasnova

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

*Publisher's address:*

nab. Severnoy Dviny 17, Arkhangelsk, 163002

Phone: +7 (8182) 21-61-99

E-mail: public@narfu.ru

*Editorial office address:*

nab. Severnoy Dviny 17, room 1336,

Arkhangelsk, 163002

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

E-mail: vestnik@narfu.ru;

vestnik.med@narfu.ru

Publication date 17.05.2024.

Writing paper. Format 84x108 1/16.

Conv. printer's sh. 13.44.

Acad. publ. sh. 10.91.

Circulation 250 copies. Order no. 8593.

*Printer's address:*

NARFU Publishing House named after V.N. Bulatov

ul. Uritskogo 56, Arkhangelsk, 163060

Free price

© NARFU named after M.V. Lomonosov, 2024

## MEDICAL AND BIOLOGICAL SCIENCES

- Byrina A.Yu., Mal'kov A.O. Mechanisms of Connective Tissue Damage in Fibromuscular Dysplasia and Atherosclerosis: Visualization Possibilities..... 221

## REVIEW ARTICLES

- Khorseva N.I., Grigoriev P.E. Effects of Radio Frequency Electromagnetic Fields on the Nervous System. *In vitro* Experiments (Review)..... 229

- Lysenkov S.P., Muzhenya D.V. The Role of the Acetylcholine System and Its Components in the Development of Post-COVID Syndromes (Review)..... 240

- Kataev D.A., Tsirkin V.I., Kishkina V.V., Trukhina S.I., Trukhin A.N. Total Spectrum Power and Power of HF Waves in Athletes Depending on the Phase of the Training Year and Other Factors (Review)..... 253

## ACADEMIC LIFE

- Startseva L.F., Zhuravlev P.S., Pankov M.N., Kozhevnikova I.S. The Life and Scientific Legacy of Anatoly V. Gribanov..... 268

- Information for Authors..... 272



Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 2. С. 151–160.  
*Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 151–160.

Научная статья  
УДК 612.821  
DOI: 10.37482/2687-1491-Z194

## Динамика развития управляющих функций у детей 5–6 лет в условиях Севера России

Анна Андреевна Фаркова\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6609-3292>  
Людмила Владимировна Морозова\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5503-8485>  
Людмила Владимировна Соколова\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2211-049X>

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

\*\*Институт возрастной физиологии Российской академии образования  
(Москва, Россия)

**Аннотация.** Возраст 5–6 лет является важным этапом в развитии управляющих функций ребенка. Этот этап традиционно считается сенситивным периодом, который осложняется переходом от дошкольной системы образования к младшей школьной. От степени развития управляющих функций зависит будущий академический успех ребенка. Выявление конкретных компонентов управляющих функций, тесно связанных с готовностью к обучению в школе, может способствовать разработке оптимальных подходов к образовательной работе с дошкольниками. При условии ранней диагностики тех или иных признаков несформированности управляющих функций возможна их коррекция, направленная на развитие всех компонентов произвольного внимания. **Целью** данной работы является оценка развития управляющих функций у детей старшего дошкольного возраста. **Материалы и методы.** В лонгитюдном исследовании, проводившемся в период с 2020 по 2022 год, приняли участие 15 детей, в т. ч. 9 мальчиков, 6 девочек, в возрасте от 5 до 6 лет, не имеющих неврологических и психических заболеваний в анамнезе, посещающих одно и то же дошкольное учреждение (г. Архангельск), обучающихся по программе, соответствующей современным стандартам образования. Тестирование проводилось в начале и конце каждого учебного года. **Результаты.** При сравнении изучаемых показателей у детей 5–6 лет зафиксирована неравномерность развития компонентов управляющих функций. Прогрессивные изменения в данном возрасте касаются функций избирательной регуляции, контроля, следования определенным программам деятельности. Интегральный показатель общего дефицита управляющих функций имеет заметную тенденцию к уменьшению. Об этом также могут свидетельствовать прямые значимые корреляции между компонентами управляющих функций и успешностью освоения образовательной программы.

**Ключевые слова:** психофизиологическое развитие детей, управляющие функции, старший дошкольный возраст, дети Севера России, произвольное внимание, готовность к обучению в школе

---

**Ответственный за переписку:** Анна Андреевна Фаркова, адрес: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17; e-mail: a.farkova@narfu.ru

*Для цитирования:* Фаркова, А. А. Динамика развития управляющих функций у детей 5–6 лет в условиях Севера России / А. А. Фаркова, Л. В. Морозова, Л. В. Соколова // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 151-160. – DOI 10.37482/2687-1491-Z194.

Original article

## Dynamics of Executive Functions Development in 5–6-Year-Old Children Living in the Russian North

Anna A. Farkova\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6609-3292>  
Lyudmila V. Morozova\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5503-8485>  
Lyudmila V. Sokolova\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2211-049X>

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

\*\*Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of Education  
(Moscow, Russia)

**Abstract.** The age of 5–6 years is an important stage in the development of the child’s executive functions. It is traditionally considered a sensitive period, which is complicated by the transition from the pre-school to the primary school educational system. A child’s future academic success depends on the degree of development of executive functions (EF). Identifying specific EF components that are closely related to school readiness can help devise optimal educational approaches to pre-schoolers. Early diagnosis of certain signs of control function immaturity can help correct them in order to develop all the components of voluntary attention. The **purpose** of this paper is to assess the development of executive functions in children aged 5–6 years. **Materials and methods.** The longitudinal study was conducted between 2020 and 2022 and involved 15 children (9 boys and 6 girls) aged 5 to 6 years without a history of neurological and mental diseases, attending the same preschool (in the city of Arkhangelsk) that conforms to modern educational standards. The testing was carried out at the beginning and at the end of each academic year. **Results.** Having compared the parameters under study in children aged 5–6 years, we found uneven development of the EF components. Progressive changes at this age concern the functions of selective regulation, control, and following certain programmes of activities. The integral indicator of the total EF deficit follows a noticeable downward trend. This can also be evidenced by significant direct correlations between the EF components and academic success.

**Keywords:** *psychophysiological development of children, executive functions, 5–6-year-olds, children in the Russian North, voluntary attention, school readiness*

**For citation:** Farkova A.A., Morozova L.V., Sokolova L.V. Dynamics of Executive Functions Development in 5–6-Year-Old Children Living in the Russian North. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 151–160. DOI: 10.37482/2687-1491-Z194

---

**Corresponding author:** Anna Farkova, *address:* nab. Severnoy Dviny 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; *e-mail:* a.farkova@narfu.ru

Старший дошкольный возраст (5–6 лет) – важный этап взросления ребенка. Этот этап онтогенеза является сенситивным периодом и осложняется таким внешним фактором, как переход от дошкольной системы образования к младшей школьной [1].

В указанном возрасте в организме ребенка происходят важные морфологические, физиологические и психоэмоциональные трансформации. Структурно-функциональные изменения в организации головного мозга, обнаруживаемые в данном периоде, обуславливают развитие произвольной деятельности, которая способствует формированию навыков, необходимых для успешного обучения в школе. Наблюдаются существенные преобразования нейронной организации префронтальной коры, которые создают условия для прогрессивного развития внутрикорковых и корково-подкорковых интеграционных процессов, происходит созревание фронто-таламической системы, а также развитие мозговых механизмов избирательного произвольного внимания и рабочей памяти [1].

Как отмечается в работах Н.В. Дубровинской, М.М. Безруких, Т.С. Копосовой, С.И. Сороко, Е.В. Казаковой (Васильевой), в условиях Севера имеются специфические отклонения в психофизиологическом развитии детей. Экстремальность внешних факторов усугубляется социально-экономической ситуацией, негативно влияющей на население приполярного региона [2–7]. Высокие широты воздействуют на скорость морфофункционального созревания организма ребенка, снижая темпы развития психофизиологической сферы [7, 8]. Психофизиологический статус дошкольника определяет риск появления трудностей во время обучения в школе, поэтому важно выявлять его нарушения уже в старшем дошкольном возрасте с учетом динамики изменений управляющих функций (УФ) головного мозга [9–11].

УФ – зонтичный термин, служащий для описания когнитивных процессов, которые регулируют и контролируют другие психофи-

зиологические процессы, т. е. управляют ими. Большинство авторов выделяет следующие компоненты УФ: рабочую память, внимание, когнитивную гибкость, тормозный контроль, планирование, поиск и коррекцию ошибок [12–15]. Уровень сформированности этих компонентов, осуществляющих программирование, избирательную регуляцию и контроль психической деятельности, является определяющим для когнитивного, социального и психического развития ребенка, а также влияет на успешность его обучения в школе [13–17].

В дошкольном возрасте потенциал развития произвольной регуляции нарастает, что обусловлено, с одной стороны, увеличением влияния лобной коры на другие корковые зоны и глубинные структуры головного мозга [18, 19], а с другой – воздействием социальной среды, которая окружает ребенка. Так, известно, что дети, находящиеся в обедненной социальной среде, например на воспитании в детском доме, имеют более низкий уровень развития функций программирования и контроля произвольных форм деятельности, переработки слуховой информации и конструктивного мышления, чем дети, растущие в семьях [20, 21].

Большинство работ, посвященных произвольной регуляции и вниманию, направлены на изучение этих компонентов у детей младшего школьного возраста [2, 17, 22], в то время как публикации подобного рода о дошкольном возрасте встречаются намного реже. Немаловажное значение имеют исследования особенностей биоэлектрической активности и влияния уровня зрелости структур головного мозга на реализацию УФ у детей 5–6 лет.

Дошкольный возраст характеризуется значительным развитием компонентов УФ, от которых зависит готовность ребенка к обучению в школе. Это делает старший дошкольный возраст интересным периодом для тщательного изучения данных компонентов. Таким образом, цель настоящей работы – оценка развития УФ у детей старшего дошкольного возраста.

**Материалы и методы.** В исследовании, проводившемся в период с 2020 по 2022 год, приняли участие дети г. Архангельска (15 чел., в т. ч. 9 мальчиков, 6 девочек) в возрасте 5–6 лет без неврологических и психических заболеваний в анамнезе, обучающиеся в одном дошкольном образовательном учреждении (ДОУ) по программе, соответствующей современным стандартам образования. Тестирование проводилось в начале и конце каждого методического года. Дети группами по 5 чел. приглашались в светлый, хорошо проветриваемый методический кабинет ДОУ в первой половине дня, время обследования не превышало 20 мин. Предварительно от родителей (законных представителей) были получены документы, подтверждающие информированное добровольное согласие на участие детей в исследовании. Все мероприятия, связанные с тестированием, проводились с учетом требований Хельсинкской декларации (редакция 2013 года).

Исследование проходило в четыре этапа: первый – в сентябре 2020 года, второй – в апреле 2021 года, третий – в октябре 2021 года, четвертый – в мае 2022 года.

Для нейропсихологического анализа динамики развития компонентов УФ применялась методика качественного анализа ошибок и затруднений, возникающих при выполнении различных тестов на бланках, в процессе фронтального исследования (при участии нескольких детей одновременно). Все использованные методики были основаны на принципах динамической локализации высших психических функций (ВПФ) А.Р. Лурии [23]. Бланки, заполненные в ходе проведения нейропсихологических проб, обрабатывались вручную следующим образом: каждому субтесту присваивались определенные значения в соответствии со схемой, предложенной О.А. Семеновой [24]. Далее результаты, полученные после обработки бланков, подвергались количественному анализу и статистической обработке. Значение каждого из 7 компонентов УФ определялось как среднее значение всех характеризующих его параметров. Так, например, расчет импуль-

сивности проводился путем подсчета и сложения всех проявленных ребенком импульсивных реакций при проведении каждого из субтестов, деленных на количество этих проявлений. Также по результатам нейропсихологических проб оценивался интегральный показатель дефицита УФ. Количественное значение как компонентов УФ, так и интегрального показателя дефицита УФ обратно пропорционально уровню развития когнитивных навыков ребенка, следовательно, чем ниже итоговый балл, тем выше готовность ребенка к школе.

Для оценки динамики компонентов УФ и интегрального показателя дефицита УФ статистический анализ полученных результатов осуществлялся с учетом календарных периодов. Было выделено три периода: первый – 2020/21 учебный год, второй – весна–осень 2021 года, третий – 2021/22 учебный год.

Статистический анализ данных проводился с помощью программного обеспечения IBM SPSS Statistics 23. Проверка на нормальность распределения средних баллов за тесты выполнялась с помощью критерия Колмогорова–Смирнова. Ввиду ненормального распределения зависимых выборок для сравнения их медиан использовался критерий знаковых рангов Уилкоксона (уровень статистической значимости  $p = 0,05$ ).

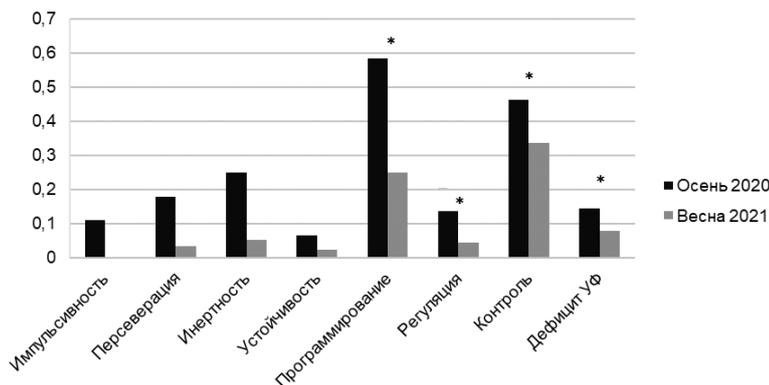
**Результаты.** Предполагалось разделить детей по результатам опроса воспитателей на следующие группы: 1) успешно осваивающие образовательную программу; 2) осваивающие программу с периодическими затруднениями; 3) испытывающие выраженные трудности при освоении программы. В нашем случае все дети, попавшие в лонгитюдное исследование, были отнесены к 1-й (11 чел.) и 2-й (4 чел.) группам.

Ввиду того, что объемы полученных выборок сильно различались, попарные сравнения этих двух групп в данном исследовании не проводились. Также статистический анализ результатов не выявил достоверных различий между мальчиками и девочками, поэтому сравнение параметров УФ производилось в общей гендерной группе.

Нами было обнаружено (рис. 1), что выраженность дефицита УФ в первый период статистически значимо уменьшается к концу учебного года (осень 2020 года – 0,15 у. е.; весна 2021 года – 0,08 у. е.;  $p < 0,05$ ), так же как и основные показатели: программирование (0,59 и 0,23 у. е. соответственно,  $p < 0,01$ ), из-

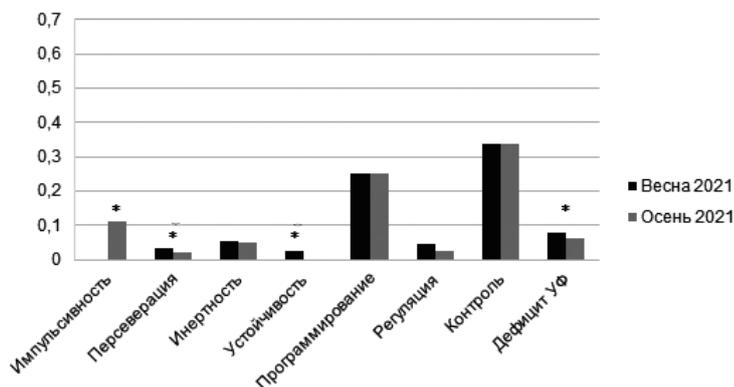
бирательная регуляция (0,11 и 0,06 у. е. соответственно,  $p < 0,05$ ) и контроль собственных действий (0,45 и 0,031 у. е. соответственно,  $p < 0,05$ ).

Во второй период (при переходе от одного учебного года к другому) УФ у детей 5–6 лет снижаются (рис. 2). Значимо увеличивается



**Рис. 1.** Динамика компонентов УФ и интегрального показателя дефицита УФ у детей 5–6 лет в течение первого периода исследования (осень 2020 – весна 2021 года), у. е. (\* – установлены различия при уровне значимости  $p < 0,05$ )

**Fig. 1.** Dynamics of executive functions components and integral indicator of executive functions deficit in 5–6-year-old children during the 1st period under study (autumn 2020 – spring 2021), conventional units (\* – differences were established at a significance level of  $p < 0.05$ )



**Рис. 2.** Динамика компонентов УФ и интегрального показателя дефицита УФ у детей 5–6 лет в течение второго периода исследования (весна–осень 2021 года), у. е. (\* – установлены различия при уровне значимости  $p < 0,05$ )

**Fig. 2.** Dynamics of executive functions components and integral indicator of executive functions deficit in 5–6-year-old children during the 2nd period under study (spring – autumn 2021), conventional units (\* – differences were established at a significance level of  $p < 0.05$ )

импульсивность (осень 2021 года – 0,11 у. е.; весна 2021 года – 0,00 у. е.,  $p < 0,05$ ) при выполнении заданий, весной (по завершении учебного года) импульсивность не выражена, в то время как в начале года она проявляется. Программирование и контроль остаются на том же уровне ( $p > 0,05$ ), тогда как остальные компоненты УФ имеют тенденцию к улучшению.

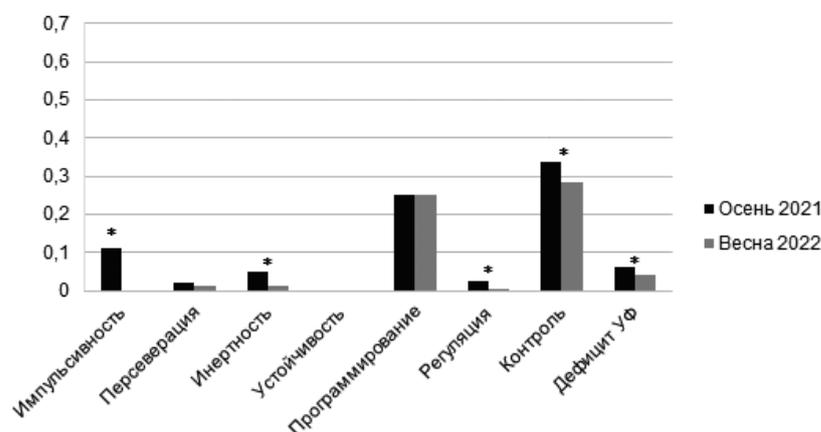
В третий период (в течение следующего учебного года) компоненты УФ у детей 5–6 лет претерпевают существенные изменения (рис. 3). Значение интегрального показателя дефицита УФ (осень 2021 года – 0,065 у. е.; весна 2022 года – 0,042 у. е.,  $p < 0,05$ ) ниже, чем в первый и во второй периоды изучения. Основные показатели: регуляция (осень 2021 года – 0,025 у. е.; весна 2022 года – 0,003 у. е.,  $p < 0,05$ ) и контроль (0,34 и 0,28 у. е. соответственно,  $p < 0,05$ ) – имеют схожую динамику, тогда как программирование не изменяется.

выполнения задания, а также контролируют результаты своей деятельности. Это может быть следствием успешного освоения образовательной программы, реализуемой в конкретном ДООУ.

Во второй период изучения не все компоненты УФ продемонстрировали изменения. Это, возможно, обусловлено тем, что часть детей, попавших в лонгитюдное исследование, не уходила на каникулы. Таким образом, в выборку попали как дети, продолжавшие обучение в ДООУ, так и те, кто отдыхал летом, что могло дать неоднозначные результаты.

Выраженное уменьшение дефицита обнаружилось при анализе результатов в третий период, при этом с начала второго учебного года к его концу у детей повышался уровень сформированности различных параметров УФ.

Отсутствие значительной положительной динамики характерно для таких составляющих УФ, как персеверация, инертность, устойчивость;



**Рис. 3.** Динамика компонентов УФ и интегрального показателя дефицита УФ у детей 5–6 лет в течение третьего периода исследования (осень 2021 – весна 2022 года), у. е. (\* – установлены различия при уровне значимости  $p < 0,05$ )

**Fig. 3.** Dynamics of executive functions components and integral indicator of executive functions deficit in 5–6-year-old children during the 3rd period under study (autumn 2021 – spring 2022), conventional units (\* – differences were established at a significance level of  $p < 0.05$ )

**Обсуждение.** Анализ данных, полученных в ходе первого периода исследования, показывает, что дети в конце учебного года лучше усваивают алгоритмы деятельности, удерживают их в ходе

можно предположить, что эти же компоненты УФ остаются относительно незрелыми в возрасте 5–6 лет [1]. Возможно, данные возрастные особенности отражают способность детей к прогрес-

сивным изменениям в младшем школьном возрасте, что, как указывают М.Н. Захарова и соавт., является «благоприятным фоном для психолого-педагогического воздействия» [25, с. 87].

По результатам анализа Спирмена были выявлены сильные корреляции между группами, к которым отнесены дети, и компонентами УФ – программированием и импульсивностью. Установлено, что, дети, условно отнесенные к успешно осваивающим образовательную программу (1-я группа), самостоятельно выполнявшие задания и т. д., не имели значительных проблем с планированием и созданием алгоритмов деятельности и выраженных проявлений импульсивности ( $\rho = 0,639$ ,  $p = 0,01$ ). В свою очередь, дети, которым требовалась помощь в организации учебной деятельности (2-я группа), испытывали небольшие трудности в программировании произвольных действий и могли проявлять импульсивность при выполнении заданий ( $\rho = 0,621$ ,  $p = 0,013$ ).

Таким образом, при сравнении изучаемых показателей у детей 5–6 лет выявлена неравномерность развития компонентов УФ. Некоторые из этих компонентов формируются в дошкольном возрасте интенсивнее, тогда как остальные не претерпевают существенных трансформаций. Обнаружено, что наиболее значимые изменения у детей в возрасте 5–6 лет касаются функций избирательной регуляции, контроля, следования определенным программам дея-

тельности. У обследуемых в течение 2 лет интегральный показатель общего дефицита УФ имел заметную тенденцию к уменьшению, что свидетельствует о прогрессивных изменениях показателей УФ. Выявленные прямые значимые корреляции между компонентами УФ и успешностью освоения образовательной программы ДООУ также свидетельствуют о положительном влиянии компонентов УФ. Однако следует отметить, что у детей, проживающих в условиях Севера, в силу экстремальных природно-климатических условий наблюдается некоторое отставание по срокам развития ВПФ и, как следствие, возможно отставание развития УФ [5]. М.Н. Захарова с соавт. предполагают, что УФ зависят от морфофункционального созревания фронто-таламической системы, в частности от развития лобных зон головного мозга и их взаимосвязей с подкорковыми структурами [1].

Результаты исследования свидетельствуют о том, что формирование УФ в старшем дошкольном возрасте является необходимой основой дошкольного обучения. Своевременное обнаружение дефицита компонентов УФ, тесно связанных с готовностью к обучению в школе, и последующая психолого-педагогическая работа позволят минимизировать вероятные учебные, эмоциональные и социально-поведенческие трудности, что будет способствовать успешной адаптации ребенка к начальной школе.

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

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

## Список литературы

1. Захарова М.Н., Сугрובה Г.А., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей 5–7 лет // Когнитивная наука в Москве: новые исследования: материалы конф. 23–24 июня 2021 г. / под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман, А.Я. Койфман. М.: Буки Веди, Ин-т практ. психологии и психоанализа, 2021. С. 154–159.
2. Morgan P.L., Farkas G., Hillemeier M.M., Maczuga S. Science Achievement Gaps Begin Very Early, Persist, and Are Largely Explained by Modifiable Factors // Educ. Res. 2016. Vol. 45, № 1. P. 18–35. <https://doi.org/10.3102/0013189X16633182>
3. Безруких М.М., Хрянин А.В. Особенности функциональной организации мозга у праворуких и леворуких детей 6–7 лет при выполнении зрительно-пространственных задач разного уровня сложности. Сообщение II. Анализ параметров ЭЭГ при зрительно-пространственной деятельности высокого уровня сложности // Физиология человека. 2004. Т. 30, № 1. С. 50–55.

4. Безруких М.М., Филиппова Т.А., Верба А.С., Иванов В.В., Сергеева В.Е. Особенности функционального развития детей 6-7 лет и прогнозирование рисков дезадаптации и трудностей обучения // Новые исследования. 2020. № 1(61). С. 19–36.
5. Казакова (Васильева) Е.В., Копосова Т.С., Соколова Л.В. Основные факторы риска в раннем развитии у дошкольников г. Архангельска // Экология человека. 2007. № 10. С. 24–28.
6. Копосова Т.С., Звягина Н.В., Морозова Л.В. Психофизиологические особенности развития детей младшего школьного возраста / под общ. ред. Т.С. Копосовой. Архангельск: ПГУ, 1997. 159 с.
7. Сороко С.И. Особенности возрастного развития мозга у детей в условиях Европейского Севера // XX съезд Физиологического общества им. И.П. Павлова, 4-8 июня 2007 г.: тез. докл. М.: Рус. врач, 2007. С. 91.
8. Макарова В.И., Меньшикова Л.И. Основные проблемы здоровья детей на Севере России // Экология человека. 2003. № 1. С. 39–41.
9. Covey T.J., Shucard J.L., Shucard D.W. Working Memory Training and Perceptual Discrimination Training Impact Overlapping and Distinct Neurocognitive Processes: Evidence from Event-Related Potentials and Transfer of Training Gains // Cognition. 2019. Vol. 182. P. 50–72. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.08.012>
10. Covey T.J., Shucard J.L., Benedict R.H., Weinstock-Guttman B., Shucard D.W. Improved Cognitive Performance and Event-Related Potential Changes Following Working Memory Training in Patients with Multiple Sclerosis // Mult. Scler. J. Exp. Transl. Clin. 2018. Vol. 4, № 1. Art. № 2055217317747626. <https://doi.org/10.1177/2055217317747626>
11. Archambeau K., Gevers W. (How) Are Executive Functions Actually Related to Arithmetic Abilities? // Heterogeneity of Function in Numerical Cognition / ed. by A. Henik, W. Fias. London: Elsevier, 2018. P. 337–357.
12. Diamond A. Executive Functions // Annu. Rev. Psychol. 2013. Vol. 64. P. 135–168. <https://doi.org/10.1146%2Fannurev-psych-113011-143750>
13. Morgan P.L., Li H., Farkas G., Cook M., Pun W.H., Hillemeier M.M. Executive Functioning Deficits Increase Kindergarten Children's Risk for Reading and Mathematics Difficulties in First Grade // Contemp. Educ. Psychol. 2017. Vol. 50. P. 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2016.01.004>
14. De Simoni C., von Bastian C.C. Working Memory Updating and Binding Training: Bayesian Evidence Supporting the Absence of Transfer // J. Exp. Psychol. Gen. 2018. Vol. 147, № 6. P. 829–858. <https://doi.org/10.1037/xge0000453>
15. Gómez C.M., Barriga-Paulino C.I., Rodríguez-Martínez E.I., Rojas-Benjumea M.Á., Arjona A., Gómez-González J. The Neurophysiology of Working Memory Development: From Childhood to Adolescence and Young Adulthood // Rev. Neurosci. 2018. Vol. 29, № 3. P. 261–282. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2017-0073>
16. Pergher V., Wittevrongel B., Tournoy J., Schoenmakers B., Van Hulle M.M. N-Back Training and Transfer Effects Revealed by Behavioral Responses and EEG // Brain Behav. 2018. Vol. 8, № 11. Art. № e01136. <https://doi.org/10.1002/brb3.1136>
17. Ахутина Т.В., Кремлев А.Е., Корнеев А.А., Матвеева Е.Ю., Гусев А.Н. Разработка компьютерных методик нейропсихологического обследования // Когнитивная наука в Москве: новые исследования: материалы конф. 15 июня 2017 г. / под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман. М.: Буки Веди; Ин-т практ. психологии и психоанализа, 2017. С. 486–490.
18. Sasser T.R., Bierman K.L., Heinrichs B., Nix R.L. Preschool Intervention Can Promote Sustained Growth in the Executive-Function Skills of Children Exhibiting Early Deficits // Psychol. Sci. 2017. Vol. 28, № 12. P. 1719–1730. <https://doi.org/10.1177/0956797617711640>
19. Васильева М.Ю., Коршина Ю.Д., Курохтина Е.В., Вершинина Е.А., Корнилов С.А., Мухамедрахимов Р.Ж., Григоренко Е.Л. Исполнительные функции у детей раннего возраста, воспитывающихся в домах ребенка и семьях // Психол. журн. 2017. Т. 38, № 4. С. 62–75. <https://doi.org/10.7868/S0205959217040067>
20. Медюшко В.А. Сравнительный нейропсихологический анализ высших психических функций младших школьников, воспитывающихся в условиях семьи и детского дома // Вестн. Кемер. гос. ун-та. 2013. № 4-2(56). С. 92–97.
21. Melby-Lervåg M., Redick T.S., Hulme C. Working Memory Training Does Not Improve Performance on Measures of Intelligence or Other Measures of “Far Transfer”: Evidence from a Meta-Analytic Review // Perspect. Psychol. Sci. 2016. Vol. 11, № 4. P. 512–534. <https://doi.org/10.1177/1745691616635612>
22. Vilà-Balló A., Salmi J., Soveri A., Rodríguez-Fornells A., Lehtonen M., Laine M. Neural Signatures for Active Maintenance and Interference During Working Memory Updating // Biol. Psychol. 2018. Vol. 132. P. 233–243. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2018.01.007>
23. Лурия А.Р. Высшие корковые функции человека и их нарушения при локальных поражениях мозга. 2-е изд., доп. М.: Изд-во МГУ, 1969. 504 с.

24. Семенова О.А., Мачинская Р.И., Ломакин Д.И. Влияние функционального состояния регуляторных систем мозга на эффективность программирования, избирательной регуляции и контроля когнитивной деятельности у детей. Сообщение I. Нейропсихологический и электроэнцефалографический анализ возрастных преобразований регуляторных функций мозга в период от 9 до 12 лет // Физиология человека. 2015. Т. 41, № 4. С. 5–17. <https://doi.org/10.7868/S0131164615040128>

25. Захарова М.Н., Мачинская Р.И., Агрис А.Р. Управляющие функции мозга и готовность к систематическому обучению у старших дошкольников // Культур.-ист. психология. 2022. Т. 18, № 3. С. 81–91. <https://doi.org/10.17759/chp.2022180311>

## References

1. Zakharova M.N., Sugrobova G.A., Machinskaya R.I. Vozrastnye izmeneniya upravlyayushchikh funktsiy u detey 5–7 let [Age-Related Changes in Executive Functions in Children Aged 5–7 Years]. Pechenkova E.V., Falikman M.V., Koyfman A.Ya. (eds.). *Kognitivnaya nauka v Moskve: novye issledovaniya* [Cognitive Science in Moscow: New Studies]. Moscow, 2021, pp. 154–159.

2. Morgan P.L., Farkas G., Hillemeier M.M., Maczuga S. Science Achievement Gaps Begin Very Early, Persist, and Are Largely Explained by Modifiable Factors. *Educ. Res.*, 2016, vol. 45, no. 1, pp. 18–35. <https://doi.org/10.3102/0013189X16633182>

3. Bezrukikh M.M., Khryanin A.V. Features of the Brain Functional Organization in Right- and Left-Handed 6- to 7-Year-Old Children During Visuospatial Performance of Different Complexity: II. Analysis of EEG Parameters During Complex Visuospatial Performance. *Hum. Physiol.*, 2004, vol. 30, no. 1, pp. 43–48.

4. Bezrukikh M.M., Filippova T.A., Verba A.S., Ivanov V.V., Sergeeva V.E. Osobennosti funktsional'nogo razvitiya detey 6-7 let i prognozirovaniye riskov dezadaptatsii i trudnostey obucheniya [Studying Functional Development and Predicting the Risks of Maladaptation and Learning Difficulties in 6–7-Year-Old Children]. *Novye issledovaniya*, 2020, no. 1, pp. 19–36.

5. Kazakova (Vasil'eva) E.V., Kuposova T.S., Sokolova L.V. Osnovnye faktory riska v rannem razvitii u doshkol'nikov g. Arkhangel'ska [Main Risk Factors in Early Ontogenesis at Children Under School Age in Arkhangelsk]. *Ekologiya cheloveka*, 2007, no. 10, pp. 24–28.

6. Kuposova T.S., Zvyagina N.V., Morozova L.V. *Psikhofiziologicheskie osobennosti razvitiya detey mladshogo shkol'nogo vozrasta* [Psycho-Physiological Characteristics of Development of Primary School Children]. Arkhangelsk, 1997. 159 p.

7. Soroko S.I. Osobennosti vozrastnogo razvitiya mozga u detey v usloviyakh Evropeyskogo Severa [Age-Related Development of the Brain in Children Living in the European North]. *XX s'ezd Fiziologicheskogo obshchestva im. I.P. Pavlova* [The 20th Congress of I.P. Pavlov Physiological Society]. Moscow, 2007, p. 91.

8. Makarova V.I., Men'shikova L.I. Osnovnye problemy zdorov'ya detey na Severe Rossii [The Main Problems of Children's Health in the North of Russia]. *Ekologiya cheloveka*, 2003, no. 1, pp. 39–41.

9. Covey T.J., Shucard J.L., Shucard D.W. Working Memory Training and Perceptual Discrimination Training Impact Overlapping and Distinct Neurocognitive Processes: Evidence from Event-Related Potentials and Transfer of Training Gains. *Cognition*, 2019, vol. 182, pp. 50–72. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.08.012>

10. Covey T.J., Shucard J.L., Benedict R.H., Weinstock-Guttman B., Shucard D.W. Improved Cognitive Performance and Event-Related Potential Changes Following Working Memory Training in Patients with Multiple Sclerosis. *Mult. Scler. J. Exp. Transl. Clin.*, 2018, vol. 4, no. 1. Art. no. 2055217317747626. <https://doi.org/10.1177/2055217317747626>

11. Archambeau K., Gevers W. (How) Are Executive Functions Actually Related to Arithmetic Abilities? Henik A., Fias W. (eds.). *Heterogeneity of Function in Numerical Cognition*. London, 2018, pp. 337–357.

12. Diamond A. Executive Functions. *Annu. Rev. Psychol.*, 2013, vol. 64, pp. 135–168. <https://doi.org/10.1146%2Fannurev-psych-113011-143750>

13. Morgan P.L., Li H., Farkas G., Cook M., Pun W.H., Hillemeier M.M. Executive Functioning Deficits Increase Kindergarten Children's Risk for Reading and Mathematics Difficulties in First Grade. *Contemp. Educ. Psychol.*, 2017, vol. 50, pp. 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2016.01.004>

14. De Simoni C., von Bastian C.C. Working Memory Updating and Binding Training: Bayesian Evidence Supporting the Absence of Transfer. *J. Exp. Psychol. Gen.*, 2018, vol. 147, no. 6, pp. 829–858. <https://doi.org/10.1037/xge0000453>

15. Gómez C.M., Barriga-Paulino C.I., Rodríguez-Martínez E.I., Rojas-Benjumea M.Á., Arjona A., Gómez-González J. The Neurophysiology of Working Memory Development: From Childhood to Adolescence and Young Adulthood. *Rev. Neurosci.*, 2018, vol. 29, no. 3, pp. 261–282. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2017-0073>
16. Pergher V., Wittevrongel B., Tournoy J., Schoenmakers B., Van Hulle M.M. N-Back Training and Transfer Effects Revealed by Behavioral Responses and EEG. *Brain Behav.*, 2018, vol. 8, no. 11. Art. no. e01136. <https://doi.org/10.1002/brb3.1136>
17. Akhutina T.V., Kremlev A.E., Korneev A.A., Matveeva E.Yu., Gusev A.N. Razrabotka komp'yuternykh metodik neyropsikhologicheskogo obsledovaniya [Development of Computerized Methods for Neuropsychological Assessment]. Pechenkova E.V., Falikman M.V. (eds.). *Kognitivnaya nauka v Moskve: novye issledovaniya* [Cognitive Science in Moscow: New Studies]. Moscow, 2017, pp. 486–490.
18. Sasser T.R., Bierman K.L., Heinrichs B., Nix R.L. Preschool Intervention Can Promote Sustained Growth in the Executive-Function Skills of Children Exhibiting Early Deficits. *Psychol. Sci.*, 2017, vol. 28, no. 12, pp. 1719–1730. <https://doi.org/10.1177/0956797617711640>
19. Vasil'eva M.Yu., Korshina Yu.D., Kurokhtina E.V., Vershinina E.A., Kornilov S.A., Mukhamedrakhimov R.Zh., Grigorenko E.L. Ispolnitel'nye funktsii u detey rannego vozrasta, vospityvayushchikhsya v domakh rebenka i sem'yakh [Executive Functioning in Young Children Living in Baby Homes and Biological Families]. *Psikhologicheskij zhurnal*, 2017, vol. 38, no. 4, pp. 62–75. <https://doi.org/10.7868/S0205959217040067>
20. Medyushko V.A. Sravnitel'nyy neyropsikhologicheskij analiz vysshikh psikhicheskikh funktsiy mladshikh shkol'nikov, vospityvayushchikhsya v usloviyakh sem'i i detskogo doma [Comparative Neuropsychological Analysis of Higher Mental Functions Observed in Primary School Pupils Brought Up in Families and in Orphanages]. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, no. 4-2, pp. 92–97.
21. Melby-Lervåg M., Redick T.S., Hulme C. Working Memory Training Does Not Improve Performance on Measures of Intelligence or Other Measures of “Far Transfer”: Evidence from a Meta-Analytic Review. *Perspect. Psychol. Sci.*, 2016, vol. 11, no. 4, pp. 512–534. <https://doi.org/10.1177/1745691616635612>
22. Vilà-Balló A., Salmi J., Soveri A., Rodríguez-Fornells A., Lehtonen M., Laine M. Neural Signatures for Active Maintenance and Interference During Working Memory Updating. *Biol. Psychol.*, 2018, vol. 132, pp. 233–243. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2018.01.007>
23. Luriya A.R. *Vysshie korkovye funktsii cheloveka i ikh narusheniya pri lokal'nykh porazheniyakh mozga* [Higher Cortical Functions in Humans and Their Impairments at Local Brain Lesions]. Moscow, 1969. 504 p.
24. Semenova O.A., Machinskaya R.I., Lomakin D.I. The Influence of the Functional State of Brain Regulatory Systems on the Programming, Selective Regulation and Control of Cognitive Activity in Children: I. Neuropsychological and EEG Analysis of Age-Related Changes in Brain Regulatory Functions in Children Aged 9–12 Years. *Hum. Physiol.*, 2015, vol. 41, no. 4, pp. 345–355. <https://doi.org/10.1134/S036211971504012X>
25. Zakharova M.N., Machinskaya R.I., Agris A.R. Brain Executive Functions and Learning Readiness in Senior Preschool Age. *Cult. Hist. Psychol.*, 2022, vol. 18, no. 3, pp. 81–91. <https://doi.org/10.17759/chp.2022180311>

Поступила в редакцию 05.05.2023 / Одобрена после рецензирования 15.12.2023 / Принята к публикации 05.02.2024.  
Submitted 5 May 2023 / Approved after reviewing 15 December 2023 / Accepted for publication 5 February 2024.

Научная статья

УДК [612.66+612.16+612.216.2]:796

DOI: 10.37482/2687-1491-Z186

## Возрастные особенности аэробных возможностей организма у спортсменов с разной направленностью физических нагрузок

Альбина Зуфаровна Даутова\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3069-2178>

Алексей Анатольевич Зверев\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2555-1728>

Гульнара Гумеровна Янышева\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4704-4011>

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

Валентина Гусмановна Шамратова\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7633-4264>

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

\*\*Башкирский государственный медицинский университет  
(Уфа, Россия)

**Аннотация.** Цель статьи – выявить возрастные особенности аэробной работоспособности у спортсменов, развивающих выносливость или скоростно-силовые качества. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 103 спортсмена мужского пола. Сформированы группы с учетом направленности физических нагрузок (выносливость ( $n = 58$ ) / скорость/сила ( $n = 45$ )) и возраста спортсменов – 12–15, 16–18 и 19–26 лет. У обследуемых определяли аэробную работоспособность с помощью кардиореспираторного нагрузочного тестирования. **Результаты.** На повышение относительного пикового потребления кислорода ( $VO_{2\text{пик}}$ ) оказывал влияние не столько возраст спортсменов, сколько направленность физической нагрузки (ANOVA:  $F = 18,1, p = 0,00004$ ). При этом на дыхательный коэффициент ( $F = 5,6, p = 0,007$ ), частоту сердечных сокращений при анаэробном пороге ( $F = 4,9, p = 0,009$ ), дыхательный объем ( $F = 7,5, p = 0,01$ ) и минутную вентиляцию легких ( $F = 6,6, p = 0,002$ ) влиял главным образом возраст. Факторный анализ позволил установить, что у спортсменов 12–15 лет в фактор спортивной направленности с отрицательным весом вошел кислородный пульс, в фактор физической работоспособности с положительными знаками – параметры дыхания. В 16–18 лет значимых корреляций переменных с фактором направленности нагрузок не обнаружено, в то же время количество связей параметров эргометрии с фактором физической работоспособности с возрастом увеличивалось. У спортсменов 19–26 лет установлены тесные связи переменных с фактором направленности нагрузок, отчетливо продемонстрирован вклад  $VO_{2\text{пик}}$  в фактор физической работоспособности. На развитие аэробной работоспособности преимущественно влияет направленность нагрузок. При этом у спортсменов 12–15 лет нагрузки с преимущественно аэробным энергообеспечением не приводят к значительному повышению  $VO_{2\text{пик}}$ . В 16–18 лет наблюдается наибольший прирост  $VO_{2\text{пик}}$ , после 18 лет рост данного показателя прекращается.

**Ответственный за переписку:** Альбина Зуфаровна Даутова, адрес: 450077, г. Казань, Деревня Универсиады, д. 35; e-mail: dautova.az@mail.ru

**Ключевые слова:** пиковое потребление кислорода, эргометрия, пубертатный период, направленность тренировочных нагрузок, скоростно-силовые виды спорта, циклические виды спорта

**Для цитирования:** Возрастные особенности аэробных возможностей организма у спортсменов с разной направленностью физических нагрузок / А. З. Даутова, А. А. Зверев, Г. Г. Янышева, А. С. Назаренко, В. Г. Шамратова // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 161-171. – DOI 10.37482/2687-1491-Z186.

Original article

## Age-Related Features of Aerobic Ability in Athletes Doing Endurance and Speed-Strength Sports

Al'bina Z. Dautova\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3069-2178>  
Aleksey A. Zverev\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2555-1728>  
Gul'nara G. Yanyшева\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4704-4011>  
Andrey S. Nazarenko\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3067-8395>  
Valentina G. Shamratova\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7633-4264>

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

\*\*Bashkir State Medical University  
(Ufa, Russia)

**Abstract.** The purpose of this study was to identify age-related features of aerobic capacity in athletes working on their endurance or speed-strength qualities. **Materials and methods.** The research involved 103 male athletes, who were divided into groups according to the type of physical activity (endurance ( $n = 58$ ) and strength-speed ( $n = 45$ )) and age (12–15, 16–18 and 19–26 years). Their aerobic capacity was determined using cardiorespiratory exercise testing. **Results.** It was shown that the increase in relative peak oxygen consumption ( $VO_{2peak}$ ) was influenced not so much by age as by the type of physical activity (ANOVA:  $F = 18.1, p = 0.00004$ ). At the same time, respiratory coefficient ( $F = 5.6, p = 0.007$ ), heart rate at anaerobic threshold ( $F = 4.9, p = 0.009$ ), tidal volume ( $F = 7.5, p = 0.01$ ) and minute ventilation ( $F = 6.6, p = 0.002$ ) were influenced mainly by age. In athletes aged 12–15 years, factor analysis established a negative correlation of type of physical activity with oxygen pulse, while physical working capacity was positively correlated with breathing parameters. Subjects aged 16–18 years showed no significant correlations between the variables and type of physical activity; at the same time, the number of correlations between ergometry parameters and physical working capacity factor increased with age. In athletes aged 19–26, the variables correlated strongly with the type of physical activity; the contribution of  $VO_{2peak}$  to the physical working capacity factor is clearly demonstrated. The development of aerobic capacity is mainly influenced by the type of physical activity. However, in athletes aged 12–15 years, aerobic loads do not lead to a significant increase in  $VO_{2peak}$ . The greatest increase in  $VO_{2peak}$  is observed in 16–18-year-olds, while after 18 years of age, its growth halts.

**Corresponding author:** Al'bina Dautova, address: Derevnya Universiady 35, Kazan, 450077, Russia; e-mail: [dautova.az@mail.ru](mailto:dautova.az@mail.ru)

**Keywords:** *peak oxygen consumption, ergometry, puberty, type of physical activity, speed-strength sports, endurance sports*

**For citation:** Dautova A.Z., Zverev A.A., Yanyшева G.G., Nazarenko A.S., Shamratova V.G. Age-Related Features of Aerobic Ability in Athletes Doing Endurance and Speed-Strength Sports. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 161–171. DOI: 10.37482/2687-1491-Z186

При адаптации к физическим нагрузкам первостепенным является формирование предпосылок к изменению параметров, напрямую взаимосвязанных с активностью обменных функций в организме человека. В первую очередь это касается аэробных биоэнергетических процессов, т. к. чем выше их активность, тем жизнеспособнее организм. В связи с этим большое практическое значение, особенно в периоды интенсивного развития организма, имеет определение индивидуального уровня максимального потребления кислорода (МПК) [1].

Наиболее важными являются сведения об аэробных биоэнергетических процессах в пубертатный период, когда в организме наблюдаются изменения темпов роста и сложнейшая перестройка всех органов и систем. Данный период, в ходе которого количественные изменения чередуются с качественными перестройками в деятельности физиологических систем организма, считается критическим этапом в онтогенезе человека. При этом существенно изменяются скорость и направленность процессов роста и развития [2, 3].

В литературе длительное время обсуждался вопрос о повышении аэробных возможностей у детей, находящихся в препубертатном и пубертатном периодах возрастного развития [4–8]. Отмечалось, что нагрузки, развивающие выносливость, в эти периоды не приводят к повышению аэробной мощности, либо приводят к незначительному улучшению пикового потребления кислорода (не более 5-6 %), что связано с гормональным статусом детей [6]. Однако опыт подготовки юных спортсменов, специализирующихся в циклических видах спорта, и современные научные исследования [4, 5, 7, 8] убедительно свидетельствуют о вы-

соких способностях детей к увеличению аэробной работоспособности.

Таким образом, выявление особенностей энергетического обеспечения мышечной деятельности человека на различных этапах онтогенеза – одна из актуальных задач возрастной и спортивной физиологии, профилактической медицины, оздоровительной физической культуры. Расширение научных представлений в данной области имеет большое значение для совершенствования методических основ физического воспитания и спортивной тренировки подрастающего поколения [9].

Цель работы – выявить возрастные особенности аэробной работоспособности у спортсменов, развивающих выносливость или скоростно-силовые качества.

**Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 103 спортсмена мужского пола в возрасте от 12 до 26 лет. Все испытуемые регулярно тренировались не менее 3 лет, были здоровы и не имели каких-либо ограничений для занятий спортом. Квалификация спортсменов – от 2-го взрослого разряда до мастера спорта Российской Федерации. Исследование проводилось в подготовительный период годичного цикла тренировки с декабря 2021 года по июнь 2022 года на базе Научно-исследовательского института физической культуры и спорта Поволжского государственного университета физической культуры, спорта и туризма. Все выполненные процедуры соответствовали этическим стандартам национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 года (редакция 2013 года). Участники исследования либо родственники/представители подписывали информированное добровольное согласие.

Сформированы две выборки спортсменов с учетом направленности физических нагрузок: развивающие скоростно-силовые качества (плавание на 50–100 м, легкая атлетика (прыжки в длину, спринт), единоборства;  $n = 45$ ); занимающиеся циклическими видами спорта и развивающие общую выносливость (лыжные гонки, академическая гребля;  $n = 58$ ). В каждой выборке спортсмены в свою очередь были разделены на группы с учетом возраста. В 1-ю группу вошли спортсмены скоростно-силовой направленности в возрасте от 12 до 15 лет (пубертатный период;  $n = 30$ ), во 2-ю – от 16 до 18 лет (постпубертатный период;  $n = 45$ ), в 3-ю – старше 18 лет (первый зрелый возраст;  $n = 28$ ); в 4–6-ю – спортсмены аналогичных возрастов, развивающие выносливость. Подробная характеристика обследованных представлена в *табл. 1*.

тредбане Saturn (HP Cosmos, Германия). Для оценки аэробной производительности у представителей остальных видов спорта использовался велоэргометр eBike (GE Healthcare, США). Нагрузка возрастала ступенчато. На тредбане Saturn: первые 2 мин было задано плавное увеличение скорости от 0 до 7 км/ч, в дальнейшем скорость плавно возрастала на 1 км/ч каждую минуту. Угол наклона беговой дорожки в ходе всего теста составлял 1°. На велоэргометре: первая ступень – 25–50 Вт в течение 1 мин, последующие ступени – с увеличением нагрузки по 2 Вт/мин. Все тесты выполнялись до отказа.

Во время нагрузки определялись относительное пиковое потребление кислорода ( $VO_{2\text{пик}}$ ), абсолютное потребление кислорода на уровне анаэробного порога ( $АнП_{VO_2}$ ); на пике

*Таблица 1*

**Анатомо-морфологическая характеристика обследованных спортсменов,  $M \pm SD$**

**Anatomical and morphological characteristics of the subjects,  $M \pm SD$**

Показатель	Спортсмены скоростно-силовой направленности			Спортсмены, развивающие выносливость		
	1-я группа (12–15 лет, $n = 14$ )	2-я группа (16–18 лет, $n = 19$ )	3-я группа (19–26 лет, $n = 12$ )	4-я группа (12–15 лет, $n = 16$ )	5-я группа (16–18 лет, $n = 26$ )	6-я группа (19–26 лет, $n = 16$ )
Рост, см	174,29±10,40	176,86±9,43	179,44±8,73	165,31±10,40	178,78±5,61	185,78±7,07
Масса, кг	62,56±10,49	67,97±11,07	70,91±10,24	53,41±10,15	64,58±5,49	81,32±15,31
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	20,50±2,21	21,62±2,30	21,96±1,73	19,35±1,98	20,16±1,41	23,38±2,92
Масса жира, %	14,16±2,68	12,80±4,07	12,69±5,04	17,62±9,90	5,62±3,54	11,90±1,66
Костная масса, кг	2,71±0,39	2,96±0,35	3,08±0,49	2,28±0,51	3,06±0,23	3,53±0,59
Мышечная масса, кг	51,11±8,16	56,03±7,40	58,70±9,63	42,15±10,36	57,83±4,98	68,01±12,13

Тестирование спортсменов проводилось в первой половине дня в предварительно хорошо проветренном помещении с поддержанием температуры воздуха 18–24 °С. В работе принимал участие врач с опытом функциональной диагностики. Для определения аэробной работоспособности у гребцов-академистов использовался тест со ступенчато-повышающейся нагрузкой на механическом гребном эргометре РМЗ (Concept II, США). Легкоатлеты выполняли ступенчатый тест на

нагрузки – дыхательный коэффициент ( $ДК_{\text{пик}}$ ), частота дыхания ( $ЧД_{\text{пик}}$ ), минутная вентиляция легких ( $VE_{\text{пик}}$ ), глубина дыхания ( $VT_{\text{пик}}$ ), кислородный пульс ( $VO_2/ЧСС$ ), вентиляционный эквивалент по  $O_2$  ( $VE/VO_2$ ) и  $CO_2$  ( $VE/VCO_2$ ) с помощью газоанализатора MetaLyzer 3B (Cortex, Германия); фиксировались значения ЧСС как при достижении анаэробного порога ( $ЧСС_{\text{ПАНО}}$ ), так и на пике нагрузки ( $ЧСС_{\text{пик}}$ ). Для анализа данных использовались усредненные значения за 30 с. Также фиксировались вре-

мя достижения  $\text{АнП}_{\text{VO}_2}(t_1)$ , время достижения  $\text{VO}_{2\text{пик}}(t_2)$  и общая продолжительность физической нагрузки ( $t_3$ ).

Статистический анализ проводился с использованием программы Statistica 10. Выборки были проверены на нормальность распределения данных при помощи критерия Шапиро–Уилка. При выполнении множественных сравнений применялся многофакторный дисперсионный анализ ANOVA. Для выявления различий между средними значениями проводился апостериорный тест Тьюки. Для обнаружения скрытых переменных, объясняющих взаимоотношения изученных параметров, использовался факторный анализ. Цифровые значения в тексте представлены в виде среднего значения ( $M$ ) и стандартного от-

клонения ( $SD$ ). Различия считались достоверными при уровне значимости  $p < 0,05$ .

**Результаты.** Для оценки влияния возраста и направленности физических нагрузок на аэробную работоспособность спортсменов был проведен многофакторный дисперсионный анализ. Влияние только направленности нагрузок ( $F = 18,1$ ,  $p = 0,00004$ ) обнаружено на  $\text{VO}_{2\text{пик}}$ . У представителей скоростно-силовых видов спорта  $\text{VO}_{2\text{пик}}$  находился примерно на одном уровне, тогда как у спортсменов, тренирующих общую выносливость, наибольшее значение  $\text{VO}_{2\text{пик}}$  пришлось на постпубертатный период, статистически значимо превысив данный показатель у спортсменов 1, 2 и 3-й групп ( $p = 0,002$ ,  $p = 0,0004$ ,  $p = 0,018$  соответственно) (табл. 2).

Таблица 2

Результаты эргоспирометрии у спортсменов разной направленности и разного возраста  
Ergospirometry results in athletes from different sports and age groups

Показатель	Спортсмены скоростно-силовой направленности			Спортсмены, развивающие выносливость		
	1-я группа ( $n = 14$ )	2-я группа ( $n = 19$ )	3-я группа ( $n = 12$ )	4-я группа ( $n = 16$ )	5-я группа ( $n = 26$ )	6-я группа ( $n = 16$ )
$\text{VO}_{2\text{пик}}$ , мл·кг/мин	46,50±3,52 <sup>5</sup>	46,00±7,43 <sup>5</sup>	47,67±5,79 <sup>5</sup>	50,69±12,58	56,58±6,08 <sup>1-3</sup>	53,19±8,67
$\text{АнП}_{\text{VO}_2}$ , л/мин	2,22±0,58 <sup>6</sup>	2,50±0,50 <sup>6</sup>	2,25±0,65 <sup>6</sup>	1,88±0,47 <sup>5,6</sup>	2,87±0,72 <sup>4</sup>	3,20±1,10 <sup>1-4</sup>
$\text{ДК}_{\text{пик}}$	1,06±0,07	1,11±0,10	1,07±0,11	1,02±0,06 <sup>6</sup>	1,11±0,12	1,10±0,07 <sup>4</sup>
$\text{ЧСС}_{\text{ПАНО}}$ , уд/мин	150,86±17,28	155,67±10,01	138,17±24,50 <sup>5</sup>	156,13±20,74	161,06±19,6 <sup>3</sup>	147,30±16,66
$\text{ЧСС}_{\text{пик}}$ , уд/мин	176,71±12,45	175,61±12,01	176,33±14,57	185,38±9,55	177,61±13,65	176,40±18,59
$\text{VO}_2/\text{ЧСС}$ , мл	16,86±2,63 <sup>6</sup>	18,25±3,05 <sup>4,6</sup>	19,35±2,79 <sup>4,6</sup>	14,13±3,44 <sup>2,3,5,6</sup>	19,50±3,27 <sup>4,6</sup>	23,30±4,42 <sup>1-5</sup>
$\text{ЧД}_{\text{пик}}$ , цикл/мин	41,14±7,85	40,22±12,34	43,11±7,11	42,44±10,69	43,50±9,33	41,80±11,12
$\text{VE}_{\text{пик}}$ , л/мин	95,34±17,34 <sup>6</sup>	101,91±26,98	105,13±24,14	83,69±29,46 <sup>6</sup>	106,90±28,79	128,06±23,94 <sup>1,4</sup>
$\text{VT}_{\text{пик}}$ , л	2,38±0,55 <sup>6</sup>	2,62±0,68 <sup>4</sup>	2,46±0,49	2,01±0,54 <sup>2,6</sup>	2,47±0,49 <sup>6</sup>	3,13±0,42 <sup>1,4,5</sup>
$\text{VE}/\text{VO}_2$	30,15±3,41	31,05±7,24	31,98±4,34	28,97±2,94	31,64±5,75	31,89±6,16
$\text{VE}/\text{VCO}_2$	28,59±2,57	27,90±4,37	30,07±2,85	28,42±2,12	28,30±3,44	29,11±4,46
$t_1$ , с	409,41±64,93	324,60±126,66 <sup>6</sup>	386,37±196,55	494,53±140,34	450,39±175,71	523,54±221,97 <sup>2</sup>
$t_2$ , с	589,15±152,02	476,99±186,45 <sup>6</sup>	679,40±158,79	652,49±152,80	592,39±224,17	638,00±296,53 <sup>2</sup>
$t_3$ , с	594,60±160,17	495,26±185,84	730,27±164,09	665,78±149,59	600,60±240,00	638,45±153,65

Примечание: <sup>1-6</sup> – установлены статистически значимые различия с соответствующими группами спортсменов по результатам апостериорного теста Тьюки,  $p < 0,05$ .

На уровень потребления  $O_2$  при анаэробном пороге оказали влияние все изучаемые факторы (направленность нагрузок:  $F = 5,3$ ,  $p = 0,02$ ; возраст:  $F = 9,2$ ,  $p = 0,0002$ ; совместный эффект:  $F = 6,2$ ,  $p = 0,03$ ).  $АнП_{VO_2}$  было статистически значимо выше у лиц старше 18 лет, специализирующихся в видах спорта на выносливость, по сравнению со спортсменами 1-й ( $p = 0,002$ ), 2-й ( $p = 0,04$ ), 3-й ( $p = 0,007$ ) и 4-й ( $p = 0,0001$ ) групп. Спортсмены скоростно-силовых видов спорта в возрасте 16–18 лет достигали анаэробного порога статистически значимо быстрее, чем лица, специализирующиеся в видах спорта на выносливость ( $F = 5,2$ ,  $p = 0,03$ ). Таким образом, можно отметить, что у спортсменов, тренирующих общую выносливость, по мере взросления повышается аэробная работоспособность организма, тогда как у представителей скоростно-силовых видов спорта возрастная динамика аэробных биоэнергетических процессов не столь выражена.

Возраст спортсменов влиял и на такие параметры, как  $ДК_{пик}$  ( $F = 5,6$ ,  $p = 0,007$ ) и  $ЧСС_{ПАНО}$  ( $F = 4,9$ ,  $p = 0,009$ ).  $ДК_{пик}$  у спортсменов в возрасте 16–18 лет, развивающих выносливость, превышал показатель у юношей аналогичной спортивной направленности младшего возраста ( $p = 0,02$ ). Наиболее высокое значение  $ЧСС_{ПАНО}$  наблюдалось у атлетов в возрасте 16–18 лет, выполняющих преимущественно аэробные нагрузки, а наименьшее – у спортсменов скоростно-силовой направленности старшей возрастной группы ( $p = 0,014$ ).

Влияние возраста ( $F = 21,1$ ,  $p = 0,0000001$ ) и совокупное влияние факторов ( $F = 6,9$ ,  $p = 0,002$ ) было продемонстрировано в отношении  $VO_2/ЧСС$ . Апостериорный анализ позволил установить, что у спортсменов 12–15 лет, развивающих выносливость (4-я группа), значимо более низкий  $VO_2/ЧСС$  по сравнению с испытуемыми этой же спортивной группы, но старшего возраста (16–18 лет:  $p = 0,0001$ ; старше 18 лет:  $p = 0,0001$ ), а также спортсменами скоростно-силовой направленности поступбертатного ( $p = 0,005$ ) и юношеского периодов

( $p = 0,001$ ). Самое высокое значение  $VO_2/ЧСС$  наблюдалось у лиц старшей возрастной группы, специализирующихся в видах спорта на выносливость (1-я группа:  $p = 0,0001$ ; 2-я группа:  $p = 0,0002$ ; 3-я группа:  $p = 0,01$ ; 4-я группа:  $p = 0,0001$ ; 5-я группа:  $p = 0,006$ ).

Функция внешнего дыхания зависела от возраста занимающихся, а также совместного воздействия факторов. Так, на  $VT_{пик}$  влияли возраст спортсменов ( $F = 7,5$ ,  $p = 0,01$ ) и направленность тренировочной деятельности ( $F = 5,5$ ,  $p = 0,005$ ). Испытуемые старше 18 лет, находящиеся в группе тренирующих выносливость, характеризовались более глубоким дыханием во время физической нагрузки по сравнению со спортсменами 1-й ( $p = 0,03$ ), 4-й ( $p = 0,0001$ ) и 5-й ( $p = 0,04$ ) групп.

$VE_{пик}$  повышалась по мере увеличения возраста обследуемых, но при этом имела большее значение у спортсменов, тренирующих общую выносливость ( $F = 6,6$ ,  $p = 0,002$ ). В частности, у спортсменов самой старшей группы  $VE_{пик}$  составила  $128 \pm 23,94$  л/мин, что статистически значимо выше, чем у юных спортсменов, развивающих скоростно-силовые качества ( $p = 0,03$ ) или общую выносливость ( $p = 0,0009$ ).

Наиболее полно оценить отношения между признаками и выделить группы взаимосвязанных показателей позволяет факторный анализ. Его достоинство состоит в возможности выявить скрытые переменные, лежащие в основе механизмов адаптации организма к физическим нагрузкам у спортсменов разных возрастных групп с учетом специфики их спортивной деятельности.

В каждой возрастной группе было выделено по два фактора с общей долей дисперсии 53,4, 58,0 и 67,1 % (табл. 3). В группе спортсменов 12–15 лет фактор 1 (32,7 %) включил показатели легочной вентиляции ( $VE_{пик}$ ,  $VT_{пик}$ ) и время достижения анаэробного порога ( $t_1$ ). У спортсменов в возрасте 16–18 лет фактор 1 (36,3 %) объединил значительно больше показателей, характеризующих физическую работоспособность организма ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $ЧСС_{пик}$ ,  $VE_{пик}$ ,  $VE/VO_2$ ,  $VE/VCO_2$ ). В группе 19–26 лет,

Таблица 3

Факторная структура показателей физической работоспособности у спортсменов разных возрастных групп  
Factor structure of physical working capacity in athletes from different age groups

Показатель	Возрастная группа					
	12–15 лет		16–18 лет		19–26 лет	
	Фактор 1 (32,7)*	Фактор 2 (20,7)	Фактор 1 (36,3)	Фактор 2 (21,7)	Фактор 1 (39,0)	Фактор 2 (28,1)
Направленность нагрузок	-0,21	-0,74**	-0,26	-0,44	-0,30	0,75**
$VO_{2\text{пик}}$	0,58	-0,19	-0,54	-0,55	-0,78**	0,04
$АнП_{VO_2}$	0,36	0,43	-0,07	-0,94**	-0,41	0,85**
$ДК_{\text{пик}}$	0,47	0,27	-0,22	0,02	-0,80**	0,10
$t_1$	0,44	-0,59	-0,73**	-0,26	-0,59	0,24
$t_2$	0,72**	-0,43	-0,87**	0,11	-0,65	-0,33
$t_3$	0,69	-0,44	-0,85**	0,15	-0,63	-0,35
$ЧСС_{\text{ПАНО}}$	-0,40	-0,58	-0,08	-0,48	-0,75**	0,31
$ЧСС_{\text{пик}}$	0,49	-0,53	-0,77**	0,04	-0,80**	-0,40
$VO_2/ЧСС$	0,67	0,71**	-0,25	-0,76**	-0,09	0,93**
$ЧД_{\text{пик}}$	0,11	-0,05	-0,65	0,39	-0,56	-0,45
$VE_{\text{пик}}$	0,92**	0,31	-0,84**	-0,17	-0,90**	0,26
$VT_{\text{пик}}$	0,77**	0,35	-0,30	-0,61	-0,32	0,80**
$VE/VO_2$	0,64	-0,19	-0,74**	0,42	-0,71**	-0,48
$VE/VCO_2$	0,51	-0,53	-0,79**	0,48	-0,49	-0,61

Примечание: \* – в скобках указана доля дисперсии, %; \*\* – установлена статистически значимая корреляция с фактором.

в отличие от уже описанных, в факторной структуре доминирующего фактора 1 (39 %) можно отметить наличие (с высокой нагрузкой) показателя  $VO_{2\text{пик}}$ , непосредственно демонстрирующего вклад аэробной мощности организма. При этом понижение  $VO_{2\text{пик}}$  спортсменов сопряжено со снижением  $ДК_{\text{пик}}$ ,  $ЧСС_{\text{ПАНО}}$ ,  $ЧСС_{\text{пик}}$ ,  $VE_{\text{пик}}$  и  $VE/VO_2$ .

Фактор 2 у спортсменов 12–15 лет (20,7 %) со значимой корреляцией включил переменную, характеризующую направленность нагрузок, и с противоположным знаком – показатель  $VO_2/ЧСС$ . У спортсменов старше 18 лет в фактор 2 (28,1 %) с высоким положительным весом наряду с показателем, описывающим направленность нагрузок, вошли  $АнП_{VO_2}$ ,  $VO_2/ЧСС$ ,  $VT_{\text{пик}}$ . Учитывая состав переменных и знаки

корреляций, можно отметить, что при преобладании у спортсменов нагрузок, развивающих общую выносливость, повышение  $VT_{\text{пик}}$  и  $VO_2/ЧСС$  взаимосвязано с ростом абсолютного потребления  $O_2$  при анаэробном пороге. Что касается спортсменов постпубертатного периода, то здесь фактор 2 также содержит показатели  $АнП_{VO_2}$  и  $VO_2/ЧСС$  и  $VT_{\text{пик}}$ , но их вариации, в отличие от картины в двух других группах, не связаны со спецификой спортивной деятельности.

**Обсуждение.** Несмотря на то, что возрастные особенности аэробных возможностей организма на сегодняшний день достаточно хорошо изучены [1–9], в литературных источниках можно увидеть противоречивые данные, касающиеся способности к развитию аэробной работоспособности у детей, находящихся

в препубертатном и пубертатном периодах. По сведениям одних авторов, на данном этапе онтогенеза развитие аэробных возможностей затруднено вследствие существенных гормональных перестроек [6]. Другие исследователи, напротив, считают, что тренировка аэробной выносливости может обеспечить повышение аэробных способностей у детей [4, 7].

Результаты нашего исследования показали, что значения  $VO_{2\text{пик}}$ , обусловленные интенсивностью окислительных процессов, у лиц, специализирующихся в видах спорта, направленных на развитие выносливости, увеличивались до 18-летнего возраста. Далее наблюдалось незначительное снижение показателя. Можно полагать, что выявленные особенности аэробных возможностей у спортсменов, тренирующих выносливость в постпубертатный период, во многом обусловлены началом очередной передифференцировки мышечных волокон, связанной с увеличением доли богатых миоглобином медленных волокон I типа с хорошо развитым аппаратом митохондрий [10]. Обнаруженное нами уменьшение  $VO_{2\text{пик}}$  у спортсменов старше 18 лет указывает на снижение адаптационных возможностей кислородтранспортной системы. Исходя из данных о динамике мышечной массы у спортсменов разных возрастных групп и спортивной направленности, приведенных в *табл. 1*, можно предположить, что основная причина снижения  $VO_{2\text{пик}}$  у спортсменов старше 18 лет заключается в существенном возрастании мышечной массы. В силу этого, несмотря на пропорциональное увеличение минутного объема дыхания и роста кислородного пульса, данного количества потребляемого  $O_2$  недостаточно для удовлетворения кислородного запроса активных мышечных волокон.

Кроме того, по сведениям, опубликованным в работе [11], у спортсменов в возрасте 25–30 лет уменьшение уровня максимального потребления кислорода происходит главным образом вследствие снижения максимальной ЧСС при напряженных тренировках аэробной направленности. Это согласуется и с нашими результатами: у спортсменов, тренирующих

выносливость, по мере взросления прослеживалось снижение ЧСС на пике нагрузки ( $p > 0,05$ ), тогда как у представителей скоростно-силовых видов спорта во всех трех возрастных группах значения показателя были примерно одинаковыми.

В то же время у спортсменов скоростно-силовой направленности было отмечено некое постоянство показателя  $VO_{2\text{пик}}$  в течение достаточно длительного возрастного периода (с 12 до 18 лет). Это, возможно, связано с подростковым периодом, когда дифференцировка мышечной ткани приводит к тому, что увеличение массы поперечнополосатых мышц не сопровождается адекватным повышением мощности ферментативной системы [1]. Но, учитывая, что у обследуемых, специализирующихся в видах спорта на выносливость, наблюдался прирост  $VO_{2\text{пик}}$ , можно предположить, что важную роль играет не столько возрастной аспект, сколько направленность тренировочного процесса.

У спортсменов с преимущественно аэробным типом энергообеспечения мышечной деятельности  $AnP_{VO_2}$  линейно увеличивалось по мере взросления. У представителей скоростно-силовых видов спорта потребление  $O_2$  при достижении анаэробного порога возрастало только до постпубертатного периода и далее снижалось.

Быстрее всего достигали уровня  $VO_{2\text{пик}}$  спортсмены в постпубертатный период развития, но при этом дольше всего могли выполнять нагрузку спортсмены юношеского и зрелого возраста. Соответствующая динамика была характерна как для представителей скоростно-силовых видов спорта, так и для лиц с преимущественно аэробными нагрузками в тренировочном процессе. Примечательным является то, что спортсмены в возрасте 12–15 лет достигали  $VO_{2\text{пик}}$  позже, чем спортсмены 16–18 лет. Дети по сравнению с взрослыми отличаются значительно большей подвижностью аэробной системы энергообеспечения. Они быстрее достигают максимальных для данной работы величин потребления кислорода [1, 2, 10, 11].

ДК<sub>пик</sub> у спортсменов, тренирующих общую выносливость, в пубертатном периоде был ниже по сравнению со спортсменами такой же направленности старшей возрастной группы. Наиболее высокие значения ДК<sub>пик</sub> наблюдались в постпубертатный период. Метаболические особенности спортсменов разных возрастных групп могут быть связаны с дефицитом ферментов, ответственных за анаэробный гликолиз, что, несомненно, ограничивает его возможности, а также с активным использованием жиров в процессе аэробного метаболизма у спортсменов младшего возраста. К тому же у детей, по сравнению со взрослыми, ниже концентрация гликогена в мышцах и способность к его утилизации в процессе анаэробного обмена [12–14].

Согласно результатам факторного анализа, у спортсменов 12–15 лет с фактором направленности нагрузок отрицательно коррелировал кислородный пульс, у спортсменов, тренирующих выносливость, наблюдалось снижение кислородного пульса. С фактором физической работоспособности в пубертатном периоде положительно коррелировали параметры дыхания.

В 16–18 лет значимых корреляций переменных с фактором направленности нагрузок не обнаружено. В то же время количество связей параметров эргометрии с фактором физической работоспособности было выше, чем у лиц 12–15 лет, свидетельствуя о том, что у спортсменов постпубертатного периода физическая работоспособность определяется усилением

функции не только дыхания, но и сердечно-сосудистой системы.

У спортсменов старше 18 лет установлены тесные связи потребления O<sub>2</sub> при анаэробном пороге, кислородного пульса и дыхательного объема с фактором направленности нагрузок, также в данной группе отчетливо продемонстрирован вклад VO<sub>2пик</sub> в фактор физической работоспособности.

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что динамика VO<sub>2пик</sub> определяется главным образом направленностью физической нагрузки. У лиц, специализирующихся в видах спорта на выносливость, в отличие от спортсменов скоростно-силовой направленности отчетливо продемонстрировано варьирование аэробной работоспособности по мере взросления. Так, у спортсменов 12–15 лет нагрузки аэробного характера не приводят к значительному повышению VO<sub>2пик</sub>, а физическая работоспособность определяется преимущественно усилением функции внешнего дыхания. В 16–18 лет наблюдается наибольший прирост VO<sub>2пик</sub>, в силу чего данный возрастной период может рассматриваться как оптимальный для выполнения интенсивных аэробных нагрузок и развития аэробных возможностей. В дальнейшем рост VO<sub>2пик</sub> уменьшается, при этом физическая работоспособность у спортсменов старше 18 лет лимитируется как функцией внешнего дыхания, так и сердечно-сосудистой системой.

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

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

## Список литературы

1. Погодина С.В., Александянц Г.Д. Потенциальные возможности организма детей, подростков и юношей при адаптации к физическим нагрузкам в спортивном плавании // Человек. Спорт. Медицина. 2019. Т. 19, № 2. С. 45–54. <https://doi.org/10.14529/hsm190206>
2. Armstrong N. Pediatric Aerobic Fitness and Trainability // *Pediatr. Exerc. Sci.* 2017. Vol. 29, № 1. P. 8–13. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0012>
3. Сухецкий В.К. Физическая работоспособность и подготовленность подростков 13-14 лет с различными стадиями полового созревания // *Соврем. наука: актуал. проблемы теории и практики. Сер.: Гуманит. науки.* 2022. № 1-2. С. 54–58.

4. *Enríquez-del-Castillo L.A., Ornelas-López A., De León L.G., Cervantes-Hernández N., Quintana-Mendias E., Flores L.A.* Strength and VO<sub>2</sub>max Changes by Exercise Training According to Maturation State in Children // *Children (Basel)*. 2022. Vol. 9, № 7. Art. № 938. <https://doi.org/10.3390/children9070938>
5. *Saal C., Chaabene H., Helm N., Warnke T., Prieske O.* Network Analysis of Associations Between Anthropometry, Physical Fitness, and Sport-Specific Performance in Young Canoe Sprint Athletes: The Role of Age and Sex // *Front. Sports Act. Living*. 2022. № 4. Art. № 1038350. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.1038350>
6. *Baquet G., Van Praagh E., Berthoin S.* Endurance Training and Aerobic Fitness in Young People // *Sports Med.* 2003. Vol. 33, № 15. P. 1127–1143. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333150-00004>
7. *Mahon A.D., Vaccaro P.* Ventilatory Threshold and VO<sub>2</sub>max Changes in Children Following Endurance Training // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1989. Vol. 21, № 4. P. 425–431.
8. *Abarzúa V.J., Viloff C.W., Bahamondes V.J., Olivera P.Y., Poblete-Aro C., Herrera-Valenzuela T., Oliva C., García-Díaz D.F.* High Intensity Interval Training in Teenagers // *Rev. Med. Chil.* 2019. Vol. 147, № 2. P. 221–230. <https://doi.org/10.4067/s0034-98872019000200221>
9. *Криволапчук И.А.* Энергообеспечение мышечной деятельности у мальчиков 13-14 лет в зависимости от темпов полового созревания // *Физиология человека*. 2011. Т. 37, № 1. С. 85–96.
10. *Корниенко И.А., Сонькин В.Д., Тамбовцева Р.В.* Возрастное развитие энергетики мышечной деятельности: итоги 30-летнего исследования. Сообщение I. Структурно-функциональные перестройки // *Физиология человека*. 2005. Т. 31, № 4. С. 42–47.
11. *Montero D., Díaz-Cañestro C.* Maximal Cardiac Output in Athletes: Influence of Age // *Eur. J. Prev. Cardiol.* 2015. Vol. 22, № 12. P. 1588–1600. <https://doi.org/10.1177/2047487314566759>
12. *McNarry M.A.* Oxygen Uptake Kinetics in Youth: Characteristics, Interpretation, and Application // *Pediatr. Exerc. Sci.* 2019. Vol. 31, № 2. P. 175–183. <https://doi.org/10.1123/pes.2018-0177>
13. *Gamble P.* Metabolic Conditioning Development in Youths // *Strength and Conditioning for Young Athletes: Science and Application* / ed. by R.S. Lloyd, J.L. Oliver. London: Routledge, 2014. P. 120–131.
14. *Armstrong N., Barker A.R., McManus A.M.* Muscle Metabolism Changes with Age and Maturation: How Do They Relate to Youth Sport Performance? // *Br. J. Sports Med.* 2015. Vol. 49, № 13. P. 860–864. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094491>

## References

1. Pogodina S.V., Aleksanyants G.D. Potential Abilities in Children, Adolescents, and Young Males During Adaptation to Physical Load in Sports Swimming. *Hum. Sport Med.*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 45–54 (in Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm190206>
2. Armstrong N. Pediatric Aerobic Fitness and Trainability. *Pediatr. Exerc. Sci.*, 2017, vol. 29, no. 1, pp. 8–13. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0012>
3. Sukhetskij V.K. Fizicheskaya rabotosposobnost' i podgotovlennost' podrostkov 13-14 let s razlichnymi stadiyami polovogo sozrevaniya [Physical Performance and Preparedness of Adolescents 13–14 Years Old with Various Stages of Puberty Maturity]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Ser.: Gumanitarnye nauki*, 2022, no. 1-2, pp. 54–58.
4. *Enríquez-Del-Castillo L.A., Ornelas-López A., De León L.G., Cervantes-Hernández N., Quintana-Mendias E., Flores L.A.* Strength and VO<sub>2</sub>max Changes by Exercise Training According to Maturation State in Children. *Children (Basel)*, 2022, vol. 9, no. 7. Art. no. 938. <https://doi.org/10.3390/children9070938>
5. *Saal C., Chaabene H., Helm N., Warnke T., Prieske O.* Network Analysis of Associations Between Anthropometry, Physical Fitness, and Sport-Specific Performance in Young Canoe Sprint Athletes: The Role of Age and Sex. *Front. Sports Act. Living*, 2022, no. 4. Art. no. 1038350. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.1038350>
6. *Baquet G., Van Praagh E., Berthoin S.* Endurance Training and Aerobic Fitness in Young People. *Sports Med.*, 2003, vol. 33, no. 15, pp. 1127–1143. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333150-00004>
7. *Mahon A.D., Vaccaro P.* Ventilatory Threshold and VO<sub>2</sub>max Changes in Children Following Endurance Training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1989, vol. 21, no. 4, pp. 425–431.

8. Abarzúa V.J., Viloff C.W., Bahamondes V.J., Olivera P.Y., Poblete-Aro C., Herrera-Valenzuela T., Oliva C., García-Díaz D.F. High Intensity Interval Training in Teenagers. *Rev. Med. Chil.*, 2019, vol. 147, no. 2, pp. 221–230. <https://doi.org/10.4067/s0034-98872019000200221>

9. Krivolapchuk I.A. Energy Supply for Muscle Activity in 13- to 14-Year-Old Boys Depending on the Rate of Puberty. *Hum. Physiol.*, 2011, vol. 37, no. 1, pp. 75–84.

10. Kornienko I.A., Son'kin V.D., Tambovtseva R.V. Development of the Energetics of Muscular Exercise with Age: Summary of a 30-Year Study: I. Structural and Functional Rearrangements. *Hum. Physiol.*, 2005, vol. 31, no. 4, pp. 402–406.

11. Montero D., Díaz-Cañestro C. Maximal Cardiac Output in Athletes: Influence of Age. *Eur. J. Prev. Cardiol.*, 2015, vol. 22, no. 12, pp. 1588–1600. <https://doi.org/10.1177/2047487314566759>

12. McNarry M.A. Oxygen Uptake Kinetics in Youth: Characteristics, Interpretation, and Application. *Pediatr. Exerc. Sci.*, 2019, vol. 31, no. 2, pp. 175–183. <https://doi.org/10.1123/pes.2018-0177>

13. Gamble P. Metabolic Conditioning Development in Youths. Lloyd R.S., Oliver J.L. (eds.). *Strength and Conditioning for Young Athletes: Science and Application*. London, 2014, pp. 120–131.

14. Armstrong N., Barker A.R., McManus A.M. Muscle Metabolism Changes with Age and Maturation: How Do They Relate to Youth Sport Performance? *Br. J. Sports Med.*, 2015, vol. 49, no. 13, pp. 860–864. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094491>

Поступила в редакцию 21.04.2023 / Одобрена после рецензирования 17.10.2023 / Принята к публикации 29.12.2023.

Submitted 21 April 2023 / Approved after reviewing 17 October 2023 / Accepted for publication 29 December 2023.

Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 2. С. 172–180.  
*Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 172–180.

Научная статья  
УДК 612.171  
DOI: 10.37482/2687-1491-Z192

## Исследование соотношений между показателями ритмической активности сердца человека

Лев Исакович Иржак\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3459-7848>  
Надежда Геннадьевна Русских\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4413-8258>  
Александра Николаевна Игнатова\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7297-3395>

\*Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина  
(Сыктывкар, Россия)

**Аннотация.** Цель работы – определить соотношения между электрическими и механическими показателями ритмической активности сердца (РАС) человека с учетом возраста и действия функциональных нагрузок. **Материалы и методы.** Обследовано 146 чел. обоего пола в возрасте от 2 ч после рождения до 92 лет с применением функциональных проб, различающихся в зависимости от возраста испытуемых. Показатели электрокардиограммы (ЭКГ) и частота сердечных сокращений (ЧСС) регистрировались во II стандартном отведении на аппарате «Поли-Спектр» («Нейрософт», г. Иваново). **Результаты.** Соотношения между показателями РАС прослеживаются с первых часов постэмбриогенеза человека и на протяжении дальнейшей жизни. Полученные данные свидетельствуют о зависимости РАС от возраста и действия функциональных проб, а также подтверждают положение о том, что между динамикой ЧСС и динамикой электрических показателей миокарда существует обратно пропорциональная зависимость. Запись ЭКГ человека при рождении доказывает, что соотношения между показателями ЭКГ и ЧСС сформированы еще в пренатальном периоде. Их соотношения у человека в возрасте от 70 до 92 лет говорят о наличии напряжения, связанного с изнашиванием функциональных систем организма. Основу ЧСС и показателей ЭКГ составляют электрические свойства миокарда, на которые существенное воздействие оказывает вегетативная нервная система (ВНС). Составлен линейный ряд соотношений между ЧСС и интервалами ЭКГ. Максимальные значения длительности интервала РР и сегмента ТР соответствуют минимальным значениям ЧСС. При увеличении ЧСС от 40 до 80 уд/мин длительность сегмента ТР уменьшается в 2-3 раза. В повышении ЧСС до  $120 \pm 5$  уд/мин длительность сегмента ТР снижается до нулевых отметок. Поскольку прирост ЧСС продолжается и далее в ответ на функциональные пробы, очевидно, что на этой стадии процесс обеспечивается только нейрогуморальными компонентами ВНС. В силу максимальной изменчивости длительности сегмента ТР подчеркнута его важнейшая роль в организации РАС.

**Ключевые слова:** частота сердечных сокращений, электрокардиография, клиностатическая проба, проба Мартине, интервал РР, сегмент ТР

---

**Ответственный за переписку:** Лев Исакович Иржак, адрес: 167000, г. Сыктывкар, просп. Октябрьский, д. 55; e-mail: irzhak31@mail.ru

*Для цитирования:* Иржак, Л. И. Исследование соотношений между показателями ритмической активности сердца человека / Л. И. Иржак, Н. Г. Русских, А. Н. Игнатова // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 172-180. – DOI 10.37482/2687-1491-Z192.

Original article

## Correlations Between Rhythmic Activity Parameters of the Human Heart

Lev I. Irzhak\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3459-7848>

Nadezhda G. Russkikh\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4413-8258>

Aleksandra N. Ignatova\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7297-3395>

\*Pitirim Sorokin Syktyvkar State University  
(Syktyvkar, Russia)

**Abstract.** The purpose of this article was to determine the correlations between the electrical and mechanical parameters of the rhythmic activity of the heart (HRA) in humans taking into account age and the effect of functional loads. **Materials and methods.** The research involved 146 people of both sexes aged between two hours after birth and 92 years, who were examined using functional tests that differed depending on the age of the subjects. Electrocardiogram (ECG) and heart rate (HR) parameters were recorded in the standard lead II using the Poly-Spectrum ECG system (Neurosoft, Ivanovo). **Results.** Correlations between HRA parameters can be traced from the first hours of post-embryogenesis throughout the rest of a person's life. The data obtained indicate a dependence of HRA on the age and on the effect of functional tests, as well as confirm the proposition that there is an inverse relationship between HR dynamics and the dynamics of myocardial electrical parameters. ECG recordings at birth indicate that the correlations between ECG and HR are formed as early as in the prenatal period. Their correlations in people aged between 70 and 92 years indicate a strain associated with the wear and tear of the body's functional systems. HR and ECG parameters are based on the electrical properties of the myocardium, which are significantly affected by the autonomic nervous system (ANS). A linear range of correlations between HR and ECG intervals was compiled. The maximum values of the duration of the PP interval and TP segment correspond to the minimum HR values. With an increase in HR from 40 to 80 beats/min, the duration of the TP segment decreases two- to three-fold. With HR reaching  $120 \pm 5$  beats/min, the duration of the TP segment drops to zero. Since the increase in HR continues further in response to functional tests, it is obvious that at this stage the process is provided only by the neurohumoral components of the ANS. Due to the maximum variability of the duration of the TP segment, its most important role in the organization of HRA is emphasized.

**Keywords:** heart rate, electrocardiography, clinostatic test, Martinet test, PP interval, TP segment

**For citation:** Irzhak L.I., Russkikh N.G., Ignatova A.N. Correlations Between Rhythmic Activity Parameters of the Human Heart. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 172–180. DOI: 10.37482/2687-1491-Z192

---

**Corresponding author:** Lev Irzhak, address: prosp. Oktyabr'skiy 55, Syktyvkar, 167000, Russia; e-mail: irzhak31@mail.ru

Ритмическая активность сердца (РАС) служит предметом многочисленных исследований в области нормальной и патологической физиологии человека, а также ветеринарии и животноводства. С их помощью решаются задачи фундаментальной науки и практики [1–5]. Особенность всех этих работ заключается прежде всего в том, что абсолютное их большинство учитывает механизм работы сердца (частоту сердечных сокращений (ЧСС) и ее вариабельность). Однако во многих случаях решение поставленных задач требует, чтобы учитывалась также РАС, связанная с электрическими свойствами миокарда [6–10]. Значительную роль в организации РАС играет такой показатель, получаемый методом электрокардиографии (ЭКГ), как длительность сегмента ТР. Физиологическая функция этого показателя заключается в том, что он служит аналогом диастолы, фазы относительной рефрактерности, и, следовательно, способствует расшифровке процессов возбудимости [11, 12]. В частности, именно с помощью учета длительности сегмента ТР были получены первые сведения о механизме эффекта Астранда [13], заключающегося в том, что при повышении нагрузки на организм человека, вследствие которого происходит увеличение ЧСС, возникает ситуация значительного снижения ударного объема сердца [14].

Цель работы – определить соотношения между электрическими и механическими показателями РАС человека с учетом его возраста и воздействия функциональных нагрузок.

**Материалы и методы.** Обследовано 146 чел. в возрасте от 2 ч после рождения до 92 лет. Вся выборка была разделена на следующие группы: а) дети двух возрастных категорий: от 2 до 59 ч после рождения ( $n = 24$ ) и от 3 до 7 лет ( $n = 25$ ); б) молодежь в возрасте от 18 до 33 лет ( $n = 63$ ); в) пожилые люди в возрасте от 70 до 92 лет ( $n = 34$ ). С добровольного информированного согласия родителей дети в возрасте от 2 до 59 ч после рождения обследовались в кабинете функциональной диагностики Коми республиканского перинатального центра, а дети

в возрасте от 3 до 7 лет – в Республиканской детской клинической больнице (г. Сыктывкар). Все они были клинически здоровы. Практически здоровые взрослые и пожилые люди, ведущие активный образ жизни, после ознакомления с целью и содержанием работы, а также подписания информированного согласия проходили обследование в научно-исследовательской лаборатории «Проблемы гипоксии» Сыктывкарского государственного университета.

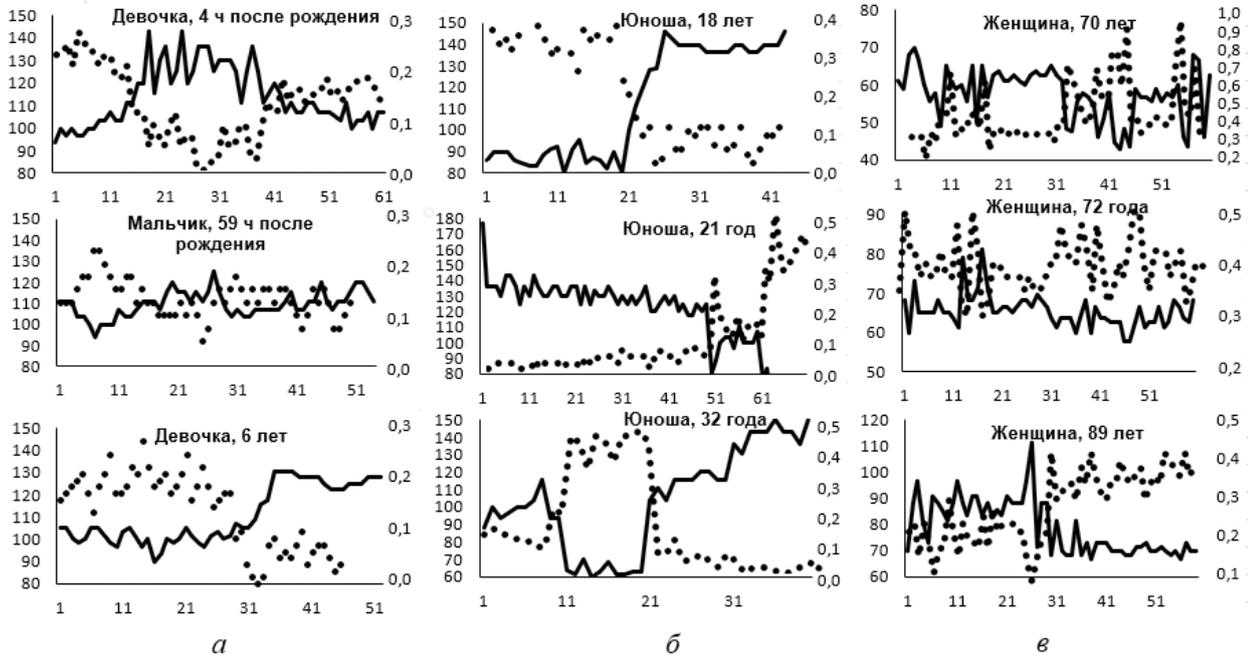
Все измерения проводились с применением аппарата «Поли-Спектр» («Нейрософт», г. Иваново) во II стандартном отведении.

На основе полученных записей определялись ЧСС, длительности интервала РР и сегмента ТР. В качестве функциональных нагрузок применялись клиностагическая проба и проба Мартине [15]. Рассчитывались корреляции между ЧСС и длительностью ТР, между длительностями РР и ТР. Для этого использовался корреляционный анализ Пирсона. Уровень надежности  $p \leq 0,05$ .

Цель работы, ее задачи и методы проведения исследований одобрены этическим комитетом Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук.

**Результаты.** Соотношения между показателями РАС прослеживаются с первых часов постэмбриогенеза человека и на протяжении дальнейшей жизни. На *рисунке* из каждой возрастной группы представлено по 3 чел., данные этих обследуемых будут приведены при анализе результатов совпадений по ЧСС (*табл. 1*, см. с. 176).

Согласно *рис. а*, у девочки Т. к 4-му часу после рождения ЧСС составляла 90 уд/мин при длительности сегмента ТР 0,30 с. Функциональные раздражения, связанные с подготовкой и записью ЭКГ, вызвали беспокойство ребенка и значительное (в течение 15 с) увеличение ЧСС до 140 уд/мин с соответствующим снижением длительности сегмента ТР до нулевых отметок, т. е. в 1,5 раза. При ЧСС 150 уд/мин длительность сегмента ТР снижалась до 0,06 с. Обращает на себя внимание воз-



Примеры ритмической активности сердца человека по механическим и электрическим показателям согласно возрастным группам: *а* – дети ( $n = 3$ ) от 4 ч после рождения до 6 лет,  $r = -0,89$  ( $r$  – коэффициент корреляции между ЧСС и длительностью сегмента ТР); *б* – молодые люди ( $n = 3$ ) от 18 до 32 лет,  $r = -0,92$ ; *в* – пожилые люди ( $n = 3$ ) от 70 до 89 лет,  $r = -0,85$ . Сплошная линия – ЧСС, уд/мин (левая вертикальная шкала); прерывистая линия – длительность сегмента ТР, с (правая вертикальная шкала); по горизонтали – кардиоциклы

Examples of the rhythmic activity of the human heart according to mechanical and electrical parameters by age groups: *a* – children ( $n = 3$ ) aged from 4 hours after birth to 6 years,  $r = -0.89$  ( $r$  – correlation coefficient between HR and TR segment duration); *б* – young people ( $n = 3$ ) from 18 to 32 years,  $r = -0.92$ ; *в* – older adults ( $n = 3$ ) from 70 to 89 years,  $r = -0.85$ . Solid line – heart rate, beats/min (vertical scale on the left); broken line – duration of the TR segment, s (vertical scale on the right); horizontal line – cardiac cycles

росшая вариабельность ЧСС на максимуме ответной реакции. У новорожденных детей более старшего возраста (мальчик Б., 59 ч после рождения) изменения РАС менее значительны, хотя и начинаются практически с тех же значений обоих показателей, что и у девочки Т. Исходя из данных, полученных в результате обследования, можно сделать вывод, что у детей длительность сегмента ТР колеблется в пределах от 0 до 0,31 с. ЧСС при этом меняется от 90 до 151 уд/мин.

Как известно [16, 17], данный этап онтогенеза характеризуется очищением легочных путей от амниотической жидкости, освоени-

ем новых путей циркуляции крови. Возникает ситуация родового стресса, на этом фоне маленькое сердце новорожденного совершает большую работу, в которой, очевидно, принимают участие компоненты вегетативной нервной системы (ВНС), особенно после достижения ЧСС 120 уд/мин. Коэффициент корреляции между ЧСС и длительностью сегмента ТР равен  $-0,89$ .

Что касается результатов детей более старшего возраста, то, как видно из *рис. а*, в контроле у девочки М. (6 лет) ЧСС в среднем 104 уд/мин при длительности сегмента ТР 0,15 с. Под действием пробы Мартине ЧСС повыша-

Таблица 1

Длительность сегмента TP у человека  
в зависимости от возраста при одинаковых уровнях  
ЧСС

Duration of the TP segment in humans  
depending on age at the same heart rate levels

ЧСС, уд/мин	TP, с		
	рис. а	рис. б	рис. в
60	–	0,42	0,36
70	–	0,40	0,34
80	–	0,40	0,32
90	0,22	0,26	0,24
100	0,15	0,18	0,18
110	0,12	0,15	0,12
120	0,08	0,10	–
130	0,06	0,06	–
140	0,04	0,03	–

ется до максимальной цифры в 130 уд/мин с соответствующим снижением длительности сегмента TP до нулевых отметок. По достижении ЧСС 120 уд/мин длительность сегмента TP снижается до 0,03 с. Коэффициент корреляции между ЧСС и длительностью сегмента TP равен  $-0,97$ .

У взрослых в возрасте от 18 до 32 лет отмечены более значительные по сравнению с детьми изменения показателей PAC под влиянием пробы Мартине (рис. б). В контроле у юноши X. (18 лет) ЧСС в среднем 80–83 уд/мин при длительности сегмента TP 0,30 с. Проба Мартине привела к увеличению ЧСС до 145 уд/мин и обнулению длительности сегмента TP. Начало последнего на уровне 0,10 с совпадает с ЧСС 120 уд/мин. У юноши К. (21 год) действие пробы Мартине вызвало еще более заметные изменения показателей PAC: ЧСС в среднем от 75 уд/мин в контроле увеличилась до 176 уд/мин, длительность TP при этом снизилась от примерно 0,35 до 0,04 с. При ЧСС 120 уд/мин длительность сегмента TP 0,08 с. У мужчины Ф. (32 года) применение клиностатической пробы привело к повышению длительности TP и снижению ЧСС в 2 раза. Проба Мартине увеличила ЧСС с понижением длительности TP

в среднем вдвое. При ЧСС 120 уд/мин длительность сегмента TP составляет примерно 0,02 с. Коэффициент корреляции между ЧСС и длительностью сегмента TP равен  $-0,92$ .

У людей в возрасте от 70 лет и старше в положении стоя вариабельность сегмента TP достигает  $\pm 10$ – $20$  % от среднего уровня (рис. в). В качестве функциональной нагрузки использовалась клиностатическая проба. Запись ЭКГ свидетельствует о наличии большой вариабельности показателей PAC, например колебания ЧСС – от 70 до 90 уд/мин. Значительную вариабельность показателей несколько сглаживают результаты действия клиностатической пробы, хотя в среднем очевидно снижение ЧСС примерно на 10–15 % от 60–80 уд/мин до применения пробы, с соответствующим увеличением длительности сегмента TP от 0,20 до 0,42 с.

При сравнении результатов записи ЭКГ людей разного возраста в ответ на функциональные пробы наблюдаются одинаковые значения ЧСС и соответствующие длительности TP. Например, у новорожденной девочки Т. к 4-му часу после рождения (рис. а) и у взрослого человека X. (18 лет) (рис. б) значению ЧСС 140 уд/мин соответствует длительность сегмента TP 0,03 с. У женщины З. (70 лет) (рис. в) значению ЧСС 60 уд/мин соответствует длительность сегмента TP 0,36 с, а у взрослого мужчины Ф. (32 года) (рис. б) такому же значению ЧСС соответствует длительность сегмента TP 0,42 с.

Из общего количества сравнений такого рода значениям ЧСС от 60 до 140 уд/мин соответствуют длительности сегментов TP, различающиеся на 0,04–0,08 с, т. е. результаты практически одинаковы с учетом ошибки метода (см. табл. 1). О тесной связи между ЧСС и длительностью сегмента TP свидетельствуют высокие коэффициенты корреляции.

Из табл. 1 видно, что особенно близки значения длительности сегмента TP в исследуемых группах при ЧСС в пределах от 90 до 110 уд/мин.

На основании представлений о том, что основу всех функциональных отправлений сердца составляют электрические свойства миокарда, следует подчеркнуть связь сегмента TP,

отражающего, по существу, фазу относительной рефрактерности, с явлениями возбудимости [4, 14]. Если под действием функциональных проб фаза относительной рефрактерности и длительность сегмента TP уменьшаются вплоть до нулевых значений, то ЧСС при этом увеличивается. И наоборот, если оба показателя по времени увеличиваются, то значение ЧСС уменьшается. Таким образом, речь идет не об уровне возбудимости, а о времени ее восстановления после снижения в фазе абсолютной рефрактерности.

В более общем виде результаты обследования 146 чел. по всем возрастным группам, разным видам функциональных проб и результатам ЭКГ приведены в *табл. 2*.

Таблица 2

Линейный ряд соотношений  
между ЧСС и длительностью элементов ЭКГ  
у человека ( $n = 146$ )  
Linear range of correlations  
between heart rate and duration of ECG elements  
in humans ( $n = 146$ )

ЧСС, уд/мин	PP, с	TP, с
40–49	1,50–1,22	0,92–0,62
50–59	1,20–1,02	0,64–0,38
60–69	1,00–0,87	0,50–0,30
70–79	0,86–0,76	0,40–0,14
80–89	0,75–0,68	0,32–0,14
90–99	0,67–0,61	0,26–0,10
100–109	0,60–0,56	0,24–0,00
110–119	0,55–0,51	0,22–0,04
120–129	0,50–0,47	0,20–0,02
130–139	0,46–0,44	0,16–0,00
140–149	0,43–0,41	0,14–0,00
150–159	0,40–0,39	0,12–0,00
160–169	0,38–0,36	0,06–0,00
170–179	0,35–0,34	0,00

Примечание. Коэффициент корреляции между PP и TP  $r = 0,84$ .

Предложенная таблица позволяет расширить наши представления о кардиотипах. Если рассматривать брадикардию (от 40 до 59 уд/мин), ей соответствует длительность TP от 0,92 до 0,38 с. После 60 уд/мин, когда начинается нормокардия, длительность TP снижается от 0,50 до 0,14 с. При тахикардии (более 80 уд/мин), обусловленной функциональными нагрузками (в частности, при беспокойстве во время записи ЭКГ у новорожденных и пробах Мартине у детей более старшего возраста и взрослых), длительность TP уменьшается от 0,32 с до нулевых отметок. Этот спад связан с увеличением ЧСС от 100 до 120 уд/мин, что было показано на *рисунке*. Если прирост ЧСС продолжается и далее в ответ на функциональные пробы, очевидно, что на этой стадии процесс обеспечивается только нейрогуморальными компонентами ВНС.

Таким образом, наши результаты свидетельствуют о конкретных величинах соотношений между показателями механической и электрической функций сердца человека независимо от возраста и вида нагрузок. Полученные данные подтверждают положение о том, что между динамикой ЧСС и динамикой электрических показателей миокарда существует обратно пропорциональная зависимость.

**Обсуждение.** Понятие о PAC включает систему сложных процессов, которые начинаются с обмена ионов на мембране миоцитов, обеспечивают переход от потенциала покоя до потенциала действия, вызывают деполяризацию и заканчиваются процессами реполяризации [12]. В ходе этих сложных молекулярно-клеточных переходов подключается действие нейрогуморальных эффекторов, под влиянием которых события замедляются или приобретают ускорение, что прослеживается с помощью ЭКГ как удлинение или укорочение элементов типа PP и TP.

Функциональные свойства сегмента TP определяют роль этого элемента ЭКГ в работе миокарда, которая заключается в восстановлении возбудимости, утраченной во время систолы (в фазе абсолютной рефрак-

терности). Эти свойства сердечной мышцы влияют на сократительную активность сердца независимо от возраста человека, хотя сердце новорожденного, имеющее массу 20–30 г, существенно отличается от взрослого сердца массой 300–400 г.

В постнатальном онтогенезе человека, независимо от возраста и физического статуса, без признаков патологии наследственного или приобретенного характера, нулевая длительность сегмента TP на ЭКГ соответствует нулевому значению диастолы, фазы относительной рефрактерности.

Основой функциональных связей, рассмотренных выше, служат особенности электрических свойств миокарда, которые носят базовый, первичный характер по отношению к способности миоцитов к сокращению. Приведенные в работе материалы позволяют представить, что соотношения между электрическими и механическими свойствами миокарда, сопровождаемые нейрогуморальными компонентами ВНС, формируются в раннем эмбриогенезе, а после рождения человека продолжают действовать на протяжении всей жизни.

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

## Список литературы

1. *Ипполитова Т.В., Степура Е.Е., Кузнецов С.В.* Анализ электрофизиологических показателей variability сердечного ритма крупного рогатого скота // *Соврем. вопр. биомедицины*. 2023. Т. 7, № 2(23). [https://doi.org/10.24412/2588-0500-2023\\_07\\_02\\_9](https://doi.org/10.24412/2588-0500-2023_07_02_9)
2. *Иржак Л.И., Русских Н.Г., Парицкова А.Н.* Variability временных и амплитудных показателей ЭКГ у людей пожилого и старческого возраста // *Журн. мед.-биол. исследований*. 2021. Т. 9, № 4. С. 355–365. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z073>
3. *Шлык Н.И., Гаврилова Е.А.* Брадикардия и variability сердечного ритма у спортсменов // *Человек. Спорт. Медицина*. 2023. Т. 23, № S1. С. 59–69.
4. *Попов И.В., Иржак Л.И.* Интервалы ЭКГ новорожденных детей раннего неонатального периода // *Педиатрия. Журн. им. Г.Н. Сперанского*. 2017. Т. 96, № 3. С. 75–78. <https://doi.org/10.24110/0031-403X-2017-96-3-75-78>
5. *Смирнов В.М.* Новое представление о механизме проведения возбуждения по рабочему миокарду // *Рос. кардиол. журн.* 2007. Т. 12, № 1. С. 74–76.
6. *Aagaard P., Sahlén A., Bergfeldt L., Braunschweig F.* Heart Rate and Its Variability in Response to Running – Associations with Troponin // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2014. Vol. 46, № 8. P. 1624–1630. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000270>
7. *Stolarz K., Staessen J.A., Kuznetsova T., Tikhonoff V., State D., Babeanu S., Casiglia E., Fagard R.H., Kawecka-Jaszcz K., Nikitin Y.* Host and Environmental Determinants of Heart Rate and Heart Rate Variability in Four European Populations // *J. Hypertens.* 2003. Vol. 21, № 3. P. 525–535. <https://doi.org/10.1097/00004872-200303000-00018>
8. *Зуйкова Е.Г., Бушма Т.В.* Влияние физической нагрузки на вегетативную регуляцию частоты сердечных сокращений (ЧСС) у студенток, занимающихся аэробикой // *Научные аспекты физической культуры в высшей школе: сб. ст. науч.-практ. и учеб.-метод. междунар. конф., посвящ. 70-летию победы в Великой Отечественной войне*. М.: Нац. исслед. Моск. гос. строит. ун-т, 2015. С. 101–104.
9. *Иржак Л.И., Попов И.В.* Длительность интервалов ЭКГ и уровень variability сердечного ритма у новорожденных детей // *Междунар. журн. приклад. и фундам. исследований*. 2016. № 12-2. С. 286–290.
10. *Наркевич А.Н., Виноградов К.А., Гржибовский А.М.* Множественные сравнения в биомедицинских исследованиях: проблема и способы решения // *Экология человека*. 2020. № 10. С. 55–64. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-10-55-64>

11. Иржак Л.И., Русских Н.Г. Интервально-амплитудные показатели электрических свойств миокарда у человека при физической нагрузке // Физиология человека. 2021. Т. 47, № 2. С. 56–62. <https://doi.org/10.31857/S0131164621020028>
12. Noble A., Johnson R., Thomas A., Bass P. *The Cardiovascular System: Basic Science and Clinical Conditions*. Edinburgh: Elsevier, 2010. 183 p.
13. Åstrand P.-O., Rodahl K., Dahl H.A., Strømme S.B. *Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise*. Champaign: Human Kinetics, 2003. 650 p.
14. Иржак Л.И., Русских Н.Г., Паршукова А.Н. Соотношение ультразвуковых и электрокардиографических параметров внутрисердечной гемодинамики при физической нагрузке у человека // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 1. С. 34–40. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z131>
15. Дембо А.Г., Земцовский Э.В. *Спортивная кардиология: рук. для врачей*. Л.: Медицина, 1989. 463 с.
16. Аршавский И.А. *Физиологические механизмы и закономерности индивидуального развития: Основы негэнтропийной теории онтогенеза*. М.: Наука, 1982. 270 с.
17. Осколкова М.К., Курприянова О.О. *Электрокардиография у детей*. М.: МЕДпресс, 2001. 350 с.

## References

1. Ippolitova T.V., Stepura E.E., Kuznetsov S.V. Analysis of Electrophysiological Indicators of Heart Rate Variability in Cattle. *Mod. Iss. Biomed.*, 2023, vol. 7, no. 2 (in Russ.). [https://doi.org/10.24412/2588-0500-2023\\_07\\_02\\_9](https://doi.org/10.24412/2588-0500-2023_07_02_9)
2. Irzhak L.I., Russkikh N.G., Parshukova A.N. Variability of Time and Amplitude ECG Indicators in Older Adults. *J. Med. Biol. Res.*, 2021, vol. 9, no. 4, pp. 355–365. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z073>
3. Shlyk N.I., Gavrilova E.A. Bradycardia and Heart Rate Variability in Athletes. *Hum. Sport Med.*, 2023, vol. 23, no. S1, pp. 59–69 (in Russ.).
4. Popov I.V., Irzhak L.I. ECG Intervals of Newborns in the Early Neonatal Period. *Pediatrics*, 2017, vol. 96, no. 3, pp. 75–78 (in Russ.). <https://doi.org/10.24110/0031-403X-2017-96-3-75-78>
5. Smirnov V.M. Novoe predstavlenie o mekhanizme provedeniya vzbuzhdeniya po rabochemu miokardu [New Views on Working Myocardium Conductivity Mechanisms]. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal*, 2007, vol. 12, no. 1, pp. 74–76.
6. Aagaard P., Sahlén A., Bergfeldt L., Braunschweig F. Heart Rate and Its Variability in Response to Running – Associations with Troponin. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2014, vol. 46, no. 8, pp. 1624–1630. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000270>
7. Stolarz K., Staessen J.A., Kuznetsova T., Tikhonoff V., State D., Babeanu S., Casiglia E., Fagard R.H., Kawecka-Jaszcz K., Nikitin Y. Host and Environmental Determinants of Heart Rate and Heart Rate Variability in Four European Populations. *J. Hypertens.*, 2003, vol. 21, no. 3, pp. 525–535. <https://doi.org/10.1097/00004872-200303000-00018>
8. Zuykova E.G., Bushma T.V. Vliyanie fizicheskoy nagruzki na vegetativnyuyu regulyatsiyu chastoty serdechnykh sokrashcheniy (ChSS) u studentok, zanimayushchikhsya aerobikoy [The Influence of Physical Activity on the Autonomic Regulation of Heart Rate (HR) in Female Students Doing Aerobics]. *Nauchnye aspekty fizicheskoy kul'tury v vysshey shkole* [Scientific Aspects of Physical Education in Universities]. Moscow, 2015, pp. 101–104.
9. Irzhak L.I., Popov I.V. Dlitel'nost' intervalov EKG i uroven' variabel'nosti serdechnogo ritma u novorozhdennykh detey [ECG Intervals Duration and Heart Rate Variability Level in Newborn Children]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2016, no. 12-2, pp. 286–290.
10. Narkevich A.N., Vinogradov K.A., Grjibovski A.M. Multiple Comparisons in Biomedical Research: The Problem and Its Solutions. *Hum. Ecol.*, 2020, no. 10, pp. 55–64 (in Russ.). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-10-55-64>
11. Irzhak L.I., Russkikh N.G. Interval–Amplitude Indicators of Electrical Properties of Human Myocardium Under Physical Load. *Hum. Physiol.*, 2021, vol. 47, no. 2, pp. 168–174. <https://doi.org/10.1134/S036211972102002X>
12. Noble A., Johnson R., Thomas A., Bass P. *The Cardiovascular System: Basic Science and Clinical Conditions*. Edinburgh, 2010. 183 p.

13. Åstrand P.-O., Rodahl K., Dahl H.A., Strømme S.B. *Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise*. Champaign, 2003. 650 p.

14. Irzhak L.I., Russkikh N.G., Parshukova A.N. Correlation Between Ultrasound and Electrocardiographic Parameters of Intracardiac Haemodynamics Under Physical Load in Humans. *J. Med. Biol. Res.*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 34–40. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z131>

15. Dembo A.G., Zemtsovskiy E.V. *Sportivnaya kardiologiya* [Sports Cardiology]. Leningrad, 1989. 463 p.

16. Arshavskiy I.A. *Fiziologicheskie mekhanizmy i zakonomernosti individual'nogo razvitiya: Osnovy negentropiynoy teorii ontogeneza* [Physiological Mechanisms and Patterns of Individual Development. Fundamentals of the Negentropic Theory of Ontogenesis]. Moscow, 1982. 270 p.

17. Oskolkova M.K., Kupriyanova O.O. *Elektrokardiografiya u detey* [Paediatric Electrocardiography]. Moscow, 2001. 350 p.

*Поступила в редакцию 13.09.2023 / Одобрена после рецензирования 29.01.2024 / Принята к публикации 05.02.2024.*

*Submitted 13 September 2023 / Approved after reviewing 29 January 2024 / Accepted for publication 5 February 2024.*

Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 2. С. 181–190.  
*Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 181–190.

Научная статья  
УДК 612.821+612.84  
DOI: 10.37482/2687-1491-Z193

## Обработка зрительной вербальной информации в условиях пассивного чтения и категоризации слов в составе одного согласованного словосочетания

Наталья Сергеевна Нужина\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9126-130X>  
Петр Анатольевич Продиус\*\*/\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1106-120X>  
Ирина Васильевна Мухина\*\*/\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8811-0049>

\*Приволжский исследовательский медицинский университет  
(Нижний Новгород, Россия)

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

\*\*\*Нижегородский государственный агротехнологический университет  
(Нижний Новгород, Россия)

**Аннотация.** Цель настоящего исследования – выявить нейрофизиологические различия в процессе обработки информации мозгом в условиях пассивного чтения и выполнения семантической категоризации отдельных слов в рамках одного согласованного словосочетания. **Материалы и методы.** В работе приняли участие 25 студентов естественно-научного профиля, обучающихся в вузах Нижнего Новгорода. В ходе эксперимента участникам на мониторе компьютера предъявляли словосочетания, состоящие из определения и существительного. В первой серии предъявлений необходимо было классифицировать определение (целевое условие) и прочитать существительное (нецелевое условие), во второй – классифицировать существительное и прочитать определение. Это давало возможность оценить перестройку процесса обработки информации при изменении задания внутри согласованного словосочетания, а также сравнить обработку слова на первой и второй позиции в целевом и нецелевом условии. С помощью 21-канального электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-4/ВПМ» («Нейрософт», Россия) регистрировались связанные с событием потенциалы, получаемые в ходе отклика на предъявляемые стимулы. **Результаты.** При изменении задания различий между обработкой определений в целевом и нецелевом условии выявлено не было. Для существительных фиксировались различия в компонентах связанных с событием потенциалов между целевым и нецелевым условием. Наблюдались более выраженный пик компонента P200, менее выраженный пик N400 и появление поздней отрицательной волны компонента N700 в условиях категоризации существительных по сравнению с их пассивным прочтением. Таким образом, при выполнении разных задач внутри согласованного словосочетания мозг изменяет характер обработки вербальной информации, что выража-

---

**Ответственный за переписку:** Наталья Сергеевна Нужина, адрес: 603950, г. Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, д. 10/1; e-mail: persistent\_nataly@mail.ru

ется в усилении раннего лексического доступа с последующим облегчением лексико-семантической обработки и активацией механизмов когнитивного контроля на самых поздних этапах во время категоризации второго слова в паре (существительного) по сравнению с его пассивным прочтением.

**Ключевые слова:** связанные с событием потенциалы, волна P200, волна N400, волна N700, согласованное словосочетание, пассивное чтение, семантическая категоризация, обработка мозгом вербальной информации

**Финансирование.** Исследование было профинансировано в рамках государственного задания Министерства здравоохранения Российской Федерации № 121030100282-6.

**Для цитирования:** Нужина, Н. С. Обработка зрительной вербальной информации в условиях пассивного чтения и категоризации слов в составе одного согласованного словосочетания / Н. С. Нужина, П. А. Продиус, И. В. Мухина // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 181-190. – DOI 10.37482/2687-1491-Z193.

Original article

## Visual-Verbal Information Processing During Passive Reading and Categorization of Words in a Phrase

Natal'ya S. Nuzhina\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9126-130X>  
Petr A. Prodius\*\*/\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1106-120X>  
Irina V. Mukhina\*\*/\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8811-0049>

\*Privolzhsky Research Medical University  
(Nizhny Novgorod, Russia)

\*\*National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod  
(Nizhny Novgorod, Russia)

\*\*\*Nizhny Novgorod State Agrotechnological University  
(Nizhny Novgorod, Russia)

**Abstract.** The **purpose** of this study was to identify neurophysiological differences in information processing by the brain during passive reading and semantic categorization of individual words within a phrase. **Materials and methods.** The research involved 25 natural science students of Nizhny Novgorod universities. In the course of the experiment, the subjects were presented with word combinations consisting of an attribute and a noun on a computer monitor. In the first series of presentations, the task was to classify the attribute (target condition) and read the noun (non-target condition), in the second, to classify the noun and read the attribute. This allowed us to assess the restructuring of information processing when changing the task within a phrase, as well as to compare the processing of the word in the first and second positions in the target and non-target conditions. Using the 21-channel Neuron-Spectrum-4/VPM electroencephalograph (Neurosoft, Russia), event-related potentials (ERPs) obtained during the response to presented stimuli were recorded. **Results.** No differences were observed in attribute processing between the target and non-target conditions when tasks changed. For nouns, differences

---

**Corresponding author:** Natal'ya Nuzhina, *address:* pl. Minina i Pozharskogo 10/1, Nizhny Novgorod, 603950, Russia; *e-mail:* persistent\_nataly@mail.ru

were revealed in ERP components between the target and non-target conditions. There was a more pronounced peak of the P200 component, a less pronounced peak of the N400 and a late negative wave of the N700 component during the categorization of nouns compared to their passive reading. Thus, when performing different tasks within a phrase, the brain changes the nature of verbal information processing, which is manifested in strengthening early lexical access, followed by the facilitation of lexico-semantic processing and activation of cognitive control mechanisms at the latest stages during the categorization of the second word in a phrase (noun) compared to its passive reading.

**Keywords:** *event-related potentials, P200 wave, N400 wave, N700 wave, word combinations, passive reading, semantic categorization, verbal information processing by the brain*

**Funding.** The study was funded within the framework of the state assignment of the Ministry of Health of the Russian Federation no. 121030100282-6.

**For citation:** Nuzhina N.S., Prodius P.A., Mukhina I.V. Visual-Verbal Information Processing During Passive Reading and Categorization of Words in a Phrase. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 181–190. DOI: 10.37482/2687-1491-Z193

Зрительная вербальная коммуникация является одним из важнейших каналов получения информации для современного человека и приобретает особое значение в условиях увеличения объема информационных потоков в последние десятилетия, в связи с чем изучение нейрофизиологических механизмов обработки вербальных стимулов в мозге остается актуальной проблемой. Фундаментальные знания о данных механизмах позволяют детектировать перестройку в обработке вербальной информации при различных изменениях в состоянии ментального здоровья индивида [1]. Для изучения нейрофизиологических закономерностей обработки текстовой информации широко используется метод регистрации связанных с событием потенциалов (ССП). При этом обычно анализируются компоненты ССП, появляющиеся с латентностью около 200 мс (P200), 400 мс (N400), 600 мс (P600). Точная функциональная роль компонента P200 в исследованиях языковой обработки все еще обсуждается, но некоторые данные свидетельствуют о том, что он отражает когнитивные механизмы, связанные с ранним лексическим доступом [2]. Компонент N400 соотносят с контекстно-зависимыми процессами лексического поиска [3, 4] или трудностями семантической интеграции слова в

контекст [5]. Однако существует точка зрения, что поздний позитивный компонент P600 может индексировать процессы, обусловленные семантической интеграцией [3, 4, 6].

В большинстве работ по изучению компонентов ССП использовалась только одна задача, в основном требующая либо правильных ответов, либо чтения предложений, в то время как данные компоненты чувствительны не только к лексико-семантическим особенностям стимульного материала, но и к поставленной экспериментальной задаче. Например, компонент N400 может проявлять так называемый эффект нерелевантности заданию, демонстрируя увеличение амплитуды в ответ на несоответствующие поставленной задаче стимулы по сравнению со стимулами, требующими ответной реакции [7, 8]. Помимо этого, конкретная экспериментальная задача позволяет обнаружить определенный аспект нарушений при той или иной патологии. Например, D.A. Kreher et al. [9] в эксплицитном задании обнаружили у пациентов с шизофренией снижение прямого и косвенного семантического эффекта прайминга для компонента N400 по сравнению со контрольными группами (психически здоровые люди), но при этом в имплицитном задании в виде чтения слов пациенты продемонстрирова-

ли нормальный и даже усиленный прайминг-эффект. Однако есть работы, не выявившие чувствительность компонентов к изменению экспериментальной задачи. Например, исследователи M. Valconi и U. Pozzoli [10] не обнаружили различий для компонентов N400 и P600 между имплицитным (пассивное чтение предложений) и эксплицитным (распознавание семантических и синтаксических аномалий в предложении) заданиями.

Помимо изучения лексико-семантических коррелятов обработки вербальной информации интерес также представляет анализ наиболее поздних изменений электрической активности, возникающих через 700 мс после предъявления стимула (компонент N700) и рассматриваемых как отражение активации внимания и памяти после сознательного распознавания стимулов [11–13]. В предыдущем исследовании [14] мы обнаружили, что компонент чувствителен к изменению поведенческой задачи и формируется во время обработки мозгом целевых для категоризации слов. Однако надо отметить, что в том эксперименте целевым стимулом всегда являлось второе слово в согласованном словосочетании, а первое было нецелевым. В настоящей работе по отношению к каждому из двух слов в одном согласованном словосочетании применялись разные когнитивные задачи, при этом участник получал эксплицитное (проводить семантическую категоризацию одного из слов) и имплицитное (читать про себя другое слово в данной паре) задания. Это давало возможность оценить перестройку обработки информации при изменении задания внутри согласованного словосочетания, а также сравнить обработку слова на первой и второй позиции в целевом и нецелевом условии.

Дизайн настоящего эксперимента основан на том, что задача может влиять на степень, в которой участники обращают внимание на различные аспекты представленного вербального материала, включая семантические категории. Пассивное чтение вербальной информации, не подразумевающее выполнения дополнительных заданий, представляется процессом более автоматизированным и использующим преимуще-

ственно механизмы восходящего контроля [15]. В свою очередь, семантическая категоризация предъявляемых стимулов активирует произвольный контроль и обработку информации под влиянием нисходящих процессов [16].

Цель исследования – выявить с помощью метода регистрации ССП нейрофизиологические различия в процессе обработки информации мозгом в условиях пассивного чтения и выполнения семантической категоризации отдельных слов в рамках одного согласованного словосочетания.

**Материалы и методы.** В эксперименте приняли участие 25 студентов естественно-научного профиля из вузов Нижнего Новгорода в возрасте от 19 до 25 лет ( $M \pm SD = 21,24 \pm 1,94$  года) с нормальным или скорректированным зрением. Исследование проводилось в соответствии с Хельсинкской декларацией (редакция от 2013 года) и одобрено комитетом по этике Приволжского исследовательского медицинского университета (протокол № 8, 2019). Все испытуемые были предварительно ознакомлены с процедурой и дали письменное информированное согласие на участие.

Регистрация ССП проводилась с помощью 21-канального электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-4/ВПМ» («Нейрософт», Россия) с использованием хлорсеребряных электродов, встроенных в эластичную электродную шапочку (MCScap 10-20, Россия) в соответствии с международной системой 10-20. Применялись 2 ипсилатеральных референта, один из которых располагался на правом, а другой – на левом мастоидном отростке височной кости. Заземляющий электрод размещался на вертексе. Импеданс электродов поддерживался ниже 10 кОм. Записи электроэнцефалограммы (ЭЭГ) непрерывно оцифровывались с частотой 1000 Гц и впоследствии обрабатывались с помощью полосового фильтра с частотой 0,5–13 Гц.

Участникам предъявлялись пары слов, представляющие собой согласованные словосочетания (определение + существительное). Средняя частотность используемых определений в первой серии составила  $19,01 \pm 18,72$  употреблений

на миллион слов Национального корпуса русского языка, а во второй серии –  $18,51 \pm 24,75$  употреблений на миллион слов корпуса. Средняя частотность существительных в первой серии составила  $19,64 \pm 18,16$  употреблений на миллион слов корпуса, а во второй серии –  $16,78 \pm 23,16$  употреблений на миллион слов корпуса<sup>1</sup>. Примеры стимулов приведены в табл. 1.

предъявления отдельно для определений и существительных.

Проверка на нормальность распределения данных осуществлялась с помощью критерия Шапиро–Уилка. Время реакции подчинялось нормальному распределению и представлялось как среднее значение и стандартное отклонение ( $M \pm SD$ ), различия устанавливались

Таблица 1

Примеры стимульного материала  
 Examples of the stimulus material

Условие	Категория	Пример
Целевое определение	Качественная	Глиняный кувшин
	Порядковая	Девятая студия
Целевое существительное	Инструмент	Ржавая гайка
	Интерьер	Дубовый комод

В первой серии предъявлений необходимо было отнести определение к одной из категорий (дающее качественную или порядковую характеристику), а существительное – прочесть про себя. Во второй серии нужно было отнести существительное к одной из семантических категорий (инструмент или интерьер), а определение – прочесть про себя. Каждое слово предъявлялось на экране в течение 1200 мс. Отвечать нужно было нажатием на соответствующую клавишу клавиатуры при появлении вопросительного знака.

Из исходных записей ЭЭГ вручную удалялись окулографические, миографические, двигательные и иные артефакты. Для усреднения использовались эпохи до 1200 мс после предъявления стимула. Число усреднений на каждый тип стимула для каждого испытуемого составляло от 30 до 40. Проводилось сравнение амплитуд ССП во фронтальных (F3, F4, Fz), центральных (C3, C4, Cz), теменных (P3, P4, Pz) и задневисочных (T5, T6) отведениях между целевым (категоризация стимулов) и нецелевым (пассивное чтение) условиями

по критерию Стьюдента. Несимметрично распределенные данные описывались при помощи медианы и нижнего и верхнего квартилей –  $Me [Q_1; Q_3]$ . Для выявления пространственно-временных закономерностей различий ССП был применен непараметрический кластерный анализ, выполненный в пакете MNE 23.0 для языка программирования Python 3.9 с использованием критерия перестановки [17]. Для формирования кластеров использовалось пороговое значение  $p = 0,05$ . Уровень статистической значимости кластера был определен на основе 10 000 перестановок. Различия считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

**Результаты.** Среднее время ответа на целевые определения составило  $0,47 \pm 0,17$  с, а на целевые существительные –  $0,50 \pm 0,18$  с, при этом статистически значимых различий не выявлено ( $p > 0,05$ ). ССП при предъявлении целевых и нецелевых определений также не продемонстрировали статистически значимых различий.

Кластерный анализ (табл. 2) показал влияние условий на компонент P200 в левой лобной области (F3), центральных отведе-

<sup>1</sup>Ляшевская О.Н., Шаров С.А. Частотный словарь современного русского языка. М.: Азбуковник, 2009. 1087 с.

ниях (С3, С4 и Сz), левой и правой теменных областях (Р3, Р4) и задневисочном отведении (Т5), при этом большая амплитуда компонента наблюдалась в ответ на целевые существительные.

отведениях. Это соответствовало кластеру, начинающемуся примерно с 700 мс. Тестирование перестановок показало, что различия в этом кластере являются статистически значимыми ( $p < 0,01$ ).

Таблица 2

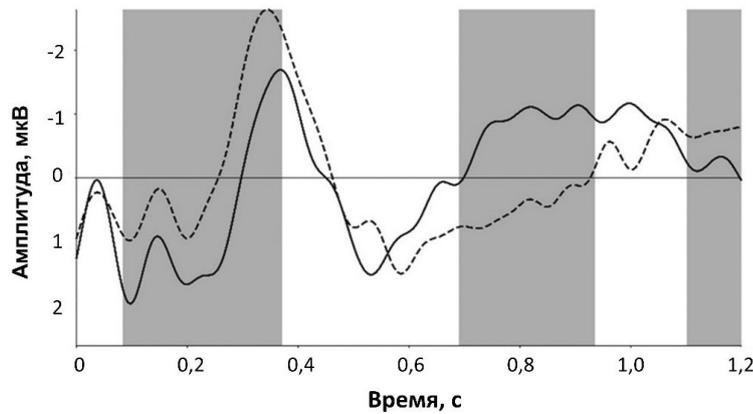
**Сравнение амплитуд ССП при предъявлении целевых и нецелевых существительных (кластерный анализ)**  
**Comparison of ERP amplitudes when presented with target and non-target nouns (cluster analysis)**

Отведение	Интервал ССП, мс	Амплитуда ССП, $Me [Q_1; Q_3]$ , мкВ		$p$
		в целевом условии	в нецелевом условии	
F3	116–222	2,87 [1,89; 3,78]	2,11 [1,22; 3,61]	0,0240
С3	96–221	2,87 [1,98; 4,04]	2,03 [1,41; 3,36]	0,0078
	243–373	–3,79 [–4,29; –1,92]	–3,70 [–4,83; –2,76]	0,0018
	691–940	–2,03 [–2,84; –1,17]	–1,09 [–1,60; –0,23]	0,0002
С4	142–215	2,87 [1,81; 4,68]	2,63 [1,33; 3,34]	0,0332
	711–850	–1,32 [–1,93; –0,55]	–0,59 [–1,11; 0,39]	0,0006
Сz	102–200	3,48 [2,32; 4,24]	2,13 [0,83; 4,10]	0,0002
	201–364	–3,59 [–4,80; –2,57]	–4,79 [–5,69; –2,59]	0,0002
	697–835	–1,21 [–1,80; 0,69]	–0,10 [–0,92; 0,53]	0,0006
Р3	84–171	2,97 [1,32; 4,32]	1,78 [0,59; 3,38]	0,0376
	194–372	–2,54 [–3,05; –1,72]	–3,72 [–3,94; –2,71]	0,0004
	690–936	–2,56 [–3,28; –1,48]	–0,94 [–1,65; –0,27]	0,0002
Р4	142–212	3,42 [1,75; 4,43]	2,75 [1,41; 3,36]	0,0490
	247–381	–2,3 [–3,16; –1,92]	–3,30 [–3,98; –2,67]	0,0028
	701–939	–1,75 [–2,46; –1,04]	–0,96 [–1,80; –0,34]	0,0002
Рz	240–377	–2,46 [–3,50; –1,75]	–3,71 [–4,60; –2,88]	0,0010
	696–945	–2,62 [–3,44; –1,65]	–1,16 [–1,99; –0,74]	0,0002
Т5	271–347	1,83 [1,01; 3,70]	1,47 [0,72; 2,49]	0,0086
	732–943	–1,58 [–2,56; –0,83]	–1,08 [–1,32; –0,42]	0,0002
Т6	280–390	–1,30 [–1,75; –0,85]	–2,08 [–2,57; –1,23]	0,0062
	719–946	–1,30 [–2,12; –0,74]	–0,85 [–1,15; –0,54]	0,0002

Статистически значимые различия между условиями ( $p < 0,01$ ) были выявлены для кластера, которому соответствует компонент N400, в центральных (С3, Сz), теменных (Р3, Р4 и Рz) и задневисочных (Т6) отведениях. При этом большая амплитуда компонента регистрировалась в ответ на предъявление нецелевых существительных по сравнению с целевыми.

Поздняя негативная волна N700 демонстрировала более выраженный ответ на целевые существительные в центральных (С3, С4, Сz), задневисочных (Т5, Т6) и теменных (Р3, Р4, Рz)

Таким образом, не выявлено статистически значимых различий между целевыми и нецелевыми определениями, в то время как были обнаружены различия между целевыми и нецелевыми существительными: на ранних этапах после предъявления целевых существительных наблюдалось увеличение амплитуды Р200, а на последующих этапах – уменьшение амплитуды N400, а также увеличение амплитуды поздней негативной волны N700. Наиболее наглядно изменения данных компонентов могут быть продемонстрированы в левом теменном отведении (см. рисунок).



Пример кривых ССП, усредненных по группе ( $n = 25$ ), в левом теменном отведении (P3) для двух экспериментальных условий предъявления существительных: сплошная линия – в ответ на целевые существительные, пунктирная – в ответ на нецелевые. Кластеры со статистически значимыми различиями ( $p < 0,05$ ) выделены серым цветом

An example of group-averaged ( $n = 25$ ) ERP curves in the left parietal lead (P3) for two experimental conditions of noun presentation: solid line – in response to target nouns, dashed line – in response to non-target nouns. Clusters with statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) are highlighted in grey

**Обсуждение.** В данном исследовании рассматривались нейрофизиологические корреляты обработки мозгом слов, находящихся в составе согласованного словосочетания. Сравнивались обработка существительных во время их семантической категоризации (целевое условие) и пассивного чтения (нецелевое условие), а также обработка предшествующих им определений. Оказалось, что первое слово в паре (определение) не влияет на чувствительность к смене поведенческой задачи и процесс его анализа не демонстрирует нейрофизиологических различий между эксплицитным и имплицитным заданием. В то же время при сравнении заданий пассивного чтения и категоризации существительных было получено увеличение амплитуды компонента P200 наряду с уменьшением амплитуды компонента N400 в целевом условии по сравнению с нецелевым. Можно предположить, что за более выраженной активацией раннего лексического доступа (компонент P200) последовало облегчение

дальнейшей лексико-семантической обработки существительных (компонент N400) во время их категоризации. Результаты других лингвистических исследований также демонстрируют увеличение амплитуды компонента P200 наряду с уменьшением амплитуды компонента N400 в ответ на одну и ту же группу стимулов [2, 18], что может свидетельствовать о взаимосвязи данных компонентов между собой. Кроме того, в публикации И.Р. Ильюченко с соавт. [19], которые в своем исследовании также применяли имплицитное и эксплицитное задания, на графиках можно пронаблюдать увеличение амплитуды компонента P200 с последующим уменьшением амплитуды компонента N400 для слов, подвергавшихся категоризации, хотя сравнение ССП на слова в эксплицитном и имплицитном условии не входило в задачи эксперимента. Однако в нашей работе изменение задания оказало влияние только на второе слово в согласованном словосочетании, при этом для первого слова не наблюдалось никаких различий в зависимости

от типа задания. Возможно, сама необходимость переключения от эксплицитного задания к имплицитному изменяла лексико-семантическую обработку второго слова. Перед нецелевым существительным обследуемый каждый раз проводил категоризацию определения. Можно предположить, что семантические ассоциации, извлеченные во время категоризации первого слова, затормаживали автоматизацию обработки последующего слова.

Помимо компонентов Р200 и N400, различия между эксплицитной и имплицитной задачами в отношении слова были зафиксированы для компонента N700. Как и в нашем предыдущем исследовании [14], был выявлен выраженный поздний отрицательный компонент, начинающий формироваться в центральных и теменных отведениях во время категоризации существительных (спустя примерно 700 мс). Эти данные согласуются с имеющимися сведениями о компоненте N700, который связан с дополнительным функционированием внимания и памяти после сознательного распознавания стимула и демонстрирует рост амплитуды, когда стимул привлекает внимание или когда он запоминается, и, наоборот, ее уменьшение при пассивном восприятии стимулов [11–13]. Представленное исследование рассматривало также обработку первого слова в согласованном словосочетании в целевом и нецелевом условии, но не выявило формирования поздней негативной волны во время категоризации определений по сравнению с их пассивным прочтением. Возможно, процессы когнитивного контроля усиливаются при восприятии целевого слова, связанного с контекстом, как происходит при категоризации второго слова. Однако неясно, обусловлено ли это только позицией слова в согласованном словосочетании или связано с лексическими особенностями стимульного материала.

Более выраженная реакция на целевые существительные может наблюдаться в связи с тем, что существительные являются обязатель-

ными компонентами фраз и предложений и обозначают конкретные реальные объекты, а потому имеют большее биологическое значение в качестве целевых стимулов, и, следовательно, их обработка требует мобилизации внимания и извлечения большего количества информации из памяти. Таким образом, было показано, что компонент N700 чувствителен к изменению когнитивной задачи и проявляется при выполнении эксплицитного задания, однако это оказалось верным не для всех типов стимулов.

Все вышеизложенное позволяет сделать следующие выводы:

1. Обработка первого слова (определения) в рамках согласованного словосочетания не модулируется разными когнитивными задачами. Однако переключение от эксплицитного задания к имплицитному внутри согласованного словосочетания изменяет лексико-семантическую обработку второго слова (существительного).

2. Во время категоризации существительных происходит усиление раннего лексического доступа с последующим облегчением лексико-семантической обработки и формированием поздней негативной волны по сравнению с пассивным чтением.

3. На самых поздних этапах обработки вербальной информации происходит активация механизмов когнитивного контроля во время категоризации второго слова в согласованном словосочетании по сравнению с его пассивным прочтением.

В качестве предпосылок к дальнейшему развитию данной темы следует отметить, что сравнительное исследование имплицитной и эксплицитной обработки вербальной информации может быть перспективно в отношении психических заболеваний, в частности шизофрении и связанных с ней состояний, поскольку у лиц, имеющих данную патологию, в условиях с неявной задачей можно предположить появление избыточных ассоциаций, что может лежать в основе позитивной симптоматики.

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

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

## Список литературы

1. Raucher-Chéné D., Terrien S., Gobin P., Gierski F., Caillies S., Kaladjian A., Besche-Richard C. Differential Semantic Processing in Patients with Schizophrenia versus Bipolar Disorder: An N400 Study // *Acta Neuropsychiatr.* 2019. Vol. 31, № 6. P. 337–342. <https://doi.org/10.1017/neu.2019.9>
2. Stuellein N., Radach R.R., Jacobs A.M., Hofmann M.J. No One Way Ticket from Orthography to Semantics in Recognition Memory: N400 AND P200 Effects of Associations // *Brain Res.* 2016. Vol. 1639. P. 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.02.029>
3. Brouwer H., Crocker M.W., Venhuizen N.J., Hoeks J.C.J. A Neurocomputational Model of the N400 and the P600 in Language Processing // *Cogn. Sci.* 2017. Vol. 41, № S6. P. 1318–1352. <https://doi.org/10.1111/cogs.12461>
4. Delogu F., Brouwer H., Crocker M.W. Event-Related Potentials Index Lexical Retrieval (N400) and Integration (P600) During Language Comprehension // *Brain Cogn.* 2019. Vol. 135. Art. № 103569. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2019.05.007>
5. Neves E.P., Cravo A.M., Carthery-Goulart M.T. Functionality of the N400 Component and Its Application in Studies of Figurative Language Processing: A Systematic Review // *Rev. Ling. Foco.* 2022. Vol. 13, № 4. P. 204–229. <http://dx.doi.org/10.46230/2674-8266-13-7263>
6. Aurnhammer C., Delogu F., Brouwer H., Crocker M.W. The P600 as a Continuous Index of Integration Effort // *Psychophysiology.* 2023. Vol. 60, № 9. Art. № e14302. <https://doi.org/10.1111/psyp.14302>
7. Марьина И.В., Стрелец В.Б. Влияние смыслового содержания вербальных стимулов и их значимости на вызванные потенциалы мозга // *Журн. высш. нерв. деятельности им. И.П. Павлова.* 2010. Т. 60, № 1. P. 22–31.
8. Shang M., Debrulle J.B. N400 Processes Inhibit Inappropriately Activated Representations: Adding a Piece of Evidence from a High-Repetition Design // *Neuropsychologia.* 2013. Vol. 51, № 10. P. 1989–1997. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.006>
9. Kreher D.A., Goff D., Kuperberg G.R. Why All the Confusion? Experimental Task Explains Discrepant Semantic Priming Effects in Schizophrenia Under “Automatic” Conditions: Evidence from Event-Related Potentials // *Schizophr. Res.* 2009. Vol. 111, № 1–3. P. 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2009.03.013>
10. Balconi M., Pozzoli U. N400 and P600 or the Role of the ERP Correlates in Sentence Comprehension: Some Applications to the Italian Language // *J. Gen. Psychol.* 2004. Vol. 131, № 3. P. 268–303. <https://doi.org/10.3200/genp.131.3.268-303>
11. Althen H., Banaschewski T., Brandeis D., Bender S. Stimulus Probability Affects the Visual N700 Component of the Event-Related Potential // *Clin. Neurophysiol.* 2020. Vol. 131, № 3. P. 655–664. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.11.059>
12. Hecht M., Thiemann U., Freitag C.M., Bender S. Time-Resolved Neuroimaging of Visual Short Term Memory Consolidation by Post-Perceptual Attention Shifts // *NeuroImage.* 2016. Vol. 125. P. 964–977. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.11.013>
13. Bender S. P 17 Neural Signatures of Post-Perceptual Attention and Selective Working Memory Encoding // *Clin. Neurophysiol.* 2017. Vol. 128, № 10. P. e334–e335. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2017.06.096>
14. Продуус П.А., Нужина Н.С., Мухина И.В. Лексические и регулятивные особенности переработки зрительной вербальной информации в простом контексте // *Вестн. новых мед. технологий.* 2017. Т. 24, № 4. С. 157–162. [https://doi.org/10.12737/article\\_5a38fc3a38f3f0.18058568](https://doi.org/10.12737/article_5a38fc3a38f3f0.18058568)
15. Treiman R. Linguistics and Reading // *Handbook of Linguistics* / ed. by M. Aronoff, J. Rees-Miller. Oxford: Wiley-Blackwell, 2017. P. 617–626.
16. Noesselt T., Shah N.J., Jäncke L. Top-Down and Bottom-Up Modulation of Language Related Areas – an fMRI Study // *BMC Neurosci.* 2003. Vol. 4. Art. № 13. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-4-13>
17. Maris E., Oostenveld R. Nonparametric Statistical Testing of EEG- and MEG-Data // *J. Neurosci. Methods.* 2007. Vol. 164, № 1. P. 177–190. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2007.03.024>
18. Jankowiak K., Rataj K., Naskrecki R. To Electrify Bilingualism: Electrophysiological Insights into Bilingual Metaphor Comprehension // *PLoS One.* 2017. Vol. 12, № 4. Art. № e0175578. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175578>
19. Ильюченко И.П., Сысоева О.В., Иванецкий А.М. Две семантические системы мозга для быстрого и медленного различения абстрактных и конкретных слов // *Журн. высш. нерв. деятельности им. И.П. Павлова.* 2007. Т. 57, № 5. P. 566–575.

## References

1. Raucher-Chéné D., Terrien S., Gobin P., Gierski F., Caillies S., Kaladjian A., Besche-Richard C. Differential Semantic Processing in Patients with Schizophrenia versus Bipolar Disorder: An N400 Study. *Acta Neuropsychiatr.* 2019, vol. 31, no. 6, pp. 337–342. <https://doi.org/10.1017/neu.2019.9>

2. Stuellein N., Radach R.R., Jacobs A.M., Hofmann M.J. No One Way Ticket from Orthography to Semantics in Recognition Memory: N400 and P200 Effects of Associations. *Brain Res.*, 2016, vol. 1639, pp. 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.02.029>
3. Brouwer H., Crocker M.W., Venhuizen N.J., Hoeks J.C.J. A Neurocomputational Model of the N400 and the P600 in Language Processing. *Cogn. Sci.*, 2017, vol. 41, no. S6, pp. 1318–1352. <https://doi.org/10.1111/cogs.12461>
4. Delogu F., Brouwer H., Crocker M.W. Event-Related Potentials Index Lexical Retrieval (N400) and Integration (P600) During Language Comprehension. *Brain Cogn.*, 2019, vol. 135. Art. no. 103569. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2019.05.007>
5. Neves E.P., Cravo A.M., Carthery-Goulart M.T. Functionality of the N400 Component and Its Application in Studies of Figurative Language Processing: A Systematic Review. *Rev. Ling. Foco*, 2022, vol. 13, no. 4, pp. 204–229. <http://dx.doi.org/10.46230/2674-8266-13-7263>
6. Aurnhammer C., Delogu F., Brouwer H., Crocker M.W. The P600 as a Continuous Index of Integration Effort. *Psychophysiology*, 2023, vol. 60, no. 9. Art. no. e14302. <https://doi.org/10.1111/psyp.14302>
7. Mar'ina I.V., Strelets V.B. Vliyanie smyslovogo soderzhaniya verbal'nykh stimulov i ikh znachimosti na vyzvannye potentsialy mozga [Verbal Stimuli Semantics and Relevance of ERPs]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*, 2010, vol. 60, no. 1, pp. 22–31.
8. Shang M., Debrulle J.B. N400 Processes Inhibit Inappropriately Activated Representations: Adding a Piece of Evidence from a High-Repetition Design. *Neuropsychologia*, 2013, vol. 51, no. 10, pp. 1989–1997. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.006>
9. Kreher D.A., Goff D., Kuperberg G.R. Why All the Confusion? Experimental Task Explains Discrepant Semantic Priming Effects in Schizophrenia Under “Automatic” Conditions: Evidence from Event-Related Potentials. *Schizophr. Res.*, 2009, vol. 111, no. 1–3, pp. 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2009.03.013>
10. Balconi M., Pozzoli U. N400 and P600 or the Role of the ERP Correlates in Sentence Comprehension: Some Applications to the Italian Language. *J. Gen. Psychol.*, 2004, vol. 131, no. 3, pp. 268–303. <https://doi.org/10.3200/genp.131.3.268-303>
11. Althen H., Banaschewski T., Brandeis D., Bender S. Stimulus Probability Affects the Visual N700 Component of the Event-Related Potential. *Clin. Neurophysiol.*, 2020, vol. 131, no. 3, pp. 655–664. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.11.059>
12. Hecht M., Thiemann U., Freitag C.M., Bender S. Time-Resolved Neuroimaging of Visual Short Term Memory Consolidation by Post-Perceptual Attention Shifts. *NeuroImage*, 2016, vol. 125, pp. 964–977. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.11.013>
13. Bender S. P 17 Neural Signatures of Post-Perceptual Attention and Selective Working Memory Encoding. *Clin. Neurophysiol.*, 2017, vol. 128, no. 10, pp. e334–e335. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2017.06.096>
14. Prodius P.A., Nuzhina N.S., Mukhina I.V. Leksicheskie i regulativnyye osobennosti pererabotki zritel'noy verbal'noy informatsii v prostom kontekste [Lexical and Regulative Features of Processing Visual Verbal Information in Simple Context]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*, 2017, vol. 24, no. 4, pp. 157–162. [https://doi.org/10.12737/article\\_5a38fc3a38f3f0.18058568](https://doi.org/10.12737/article_5a38fc3a38f3f0.18058568)
15. Treiman R. Linguistics and Reading. Aronoff M., Rees-Miller J. (eds.). *Handbook of Linguistics*. Oxford, 2017, pp. 617–626.
16. Noesselt T., Shah N.J., Jäncke L. Top-Down and Bottom-Up Modulation of Language Related Areas – an fMRI Study. *BMC Neurosci.*, 2003, vol. 4. Art. no. 13. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-4-13>
17. Maris E., Oostenveld R. Nonparametric Statistical Testing of EEG- and MEG-Data. *J. Neurosci. Methods*, 2007, vol. 164, no. 1, pp. 177–190. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2007.03.024>
18. Jankowiak K., Rataj K., Naskręcki R. To Electrify Bilingualism: Electrophysiological Insights into Bilingual Metaphor Comprehension. *PLoS One*, 2017, vol. 12, no. 4. Art. no. e0175578. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175578>
19. Il'yuchenok I.R., Sysoeva O.V., Ivanitskiy A.M. Dve semanticheskie sistemy mozga dlya bystrogo i medlennogo razlicheniya abstraktnykh i konkretnykh slov [Two Semantic Brain Systems for Rapid and Slow Differentiation of the Abstract and Concrete Words]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*, 2007, vol. 57, no. 5, pp. 566–575.

Поступила в редакцию 25.09.2023 / Одобрена после рецензирования 29.01.2024 / Принята к публикации 05.02.2024.  
Submitted 25 September 2023 / Approved after reviewing 29 January 2024 / Accepted for publication 5 February 2024.

## Функциональные резервы адаптации двигательной системы спортсменов с позиций физиолого-биомеханического подхода

Сергей Викторович Нопин\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9406-4504>  
Юлия Владиславовна Корягина\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5468-0636>

\*Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр  
Федерального медико-биологического агентства  
(Ессентуки, Ставропольский край, Россия)

**Аннотация.** Адаптация человека к физическим нагрузкам тесно взаимосвязана с проблемой функциональных резервов, т. к. проявляется через их мобилизацию. **Цель** работы – научно-экспериментальное обоснование адаптации функциональных резервов двигательной системы спортсменов к специфической деятельности с позиций физиолого-биомеханического подхода. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 704 высококвалифицированных спортсмена различных специализаций. Время реакции определялось с помощью аппаратно-программного комплекса «Спортивный психофизиолог». Анализ стабилметрических показателей выполнялся с использованием стабилметрических платформ на системе Smart BTS Motion System (BTS Bioengineering, Италия), применялся протокол теста Static Analysis. Электромиографический и биомеханический (кинематический и динамический) контроль движений также проводился на системе Smart BTS Motion System. Функциональные резервы двигательной системы исследовались в соответствии с существующими представлениями о составляющих физиологических резервов организма человека, реализуемых при спортивной деятельности, по выделяемым блокам: «Сенсорные системы» (сенсомоторные реакции, вестибулярная устойчивость), «Управление движением» (стабилография, кинематика, динамика), «Регуляция гомеостаза» и «Реализация деятельности» (нервно-мышечный аппарат). **Результаты.** Было доказано, что как однократные (в аспекте срочной адаптации – увеличение электронапряжения, оптимизация кинематики и динамики при тяжелоатлетическом рывке), так и систематические (в аспекте долговременной адаптации – улучшение времени реакции и вестибулярной устойчивости у спортсменов различных специализаций) тренировки, в которых проявляется максимум силы, мощности, скорости, влияют на активизацию соответствующих сенсорных систем, центральной нервной системы и мышечного аппарата, составляющих основу двигательной системы, способствуя повышению ее функциональных возможностей в целом.

**Ключевые слова:** адаптация двигательной системы, функциональные резервы, физиологические резервы, спортсмены, сенсомоторные реакции, вестибулярная устойчивость, биомеханика, электронейромиография

---

**Ответственный за переписку:** Сергей Викторович Нопин, адрес: 357600, Ставропольский край, г. Ессентуки, ул. Советская, д. 24; e-mail: work800@yandex.ru

*Для цитирования:* Нопин, С. В. Функциональные резервы адаптации двигательной системы спортсменов с позиций физиолого-биомеханического подхода / С. В. Нопин, Ю. В. Корягина // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 191-200. – DOI 10.37482/2687-1491-Z190.

Original article

## Functional Reserves of Motor System Adaptation in Athletes from the Standpoint of the Physiological and Biomechanical Approach

Sergey V. Nopin\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9406-4504>  
Yuliya V. Koryagina\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5468-0636>

\*North Caucasian Federal Research and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency  
(Essentuki, Stavropol Territory, Russia)

**Abstract.** Human adaptation to physical activity is manifested through mobilization of functional reserves. The purpose of this study was to provide a scientific and experimental substantiation of the adaptation of functional reserves of the motor system in athletes to specific sports activities from the standpoint of the physiological and biomechanical approach. **Materials and methods.** The study involved 704 elite athletes doing various sports. Reaction time was determined using the hardware and software package “Sports Psychophysicologist”. Stabilometric parameters were analysed using stabilometric platforms with the Smart BTS Motion System (BTS Bioengineering, Italy); the static analysis test protocol was applied. Electromyographic and biomechanical (kinematic and dynamic) movement control was performed using the Smart BTS Motion System as well. Functional reserves of the motor system were studied in line with the existing ideas about the components of the human body’s physiological reserves activated when doing sports. The following were evaluated: sensory systems (sensorimotor reactions, vestibular stability), movement control (stabilography, kinematics, dynamics), regulation of homeostasis, and implementation of activity (neuromuscular system). **Results.** We found that both single (in respect of urgent adaptation: an increase in voltage, optimization of kinematics and dynamics during a weightlifting snatch) and systematic (as regards long-term adaptation: improvement in reaction time and vestibular stability in athletes of various sports) training sessions involving maximum strength, power and speed contribute to the activation of the relevant sensory systems, central nervous system and muscular system, which form the basis of the motor system and increase its functionality as a whole.

**Keywords:** motor system adaptation, functional reserves, physiological reserves, athletes, sensorimotor reactions, vestibular stability, biomechanics, electroneuromyography

**For citation:** Nopin S.V., Koryagina Yu.V. Functional Reserves of Motor System Adaptation in Athletes from the Standpoint of the Physiological and Biomechanical Approach. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 191–200. DOI: 10.37482/2687-1491-Z190

Адаптация человека к физическим нагрузкам тесно взаимосвязана с проблемой функциональных резервов (ФР) и проявляется через их

мобилизацию. Специалисты выделяют два основных подхода к изучению ФР организма человека: использование прямых методов оценки

---

**Corresponding author:** Sergey Nopin, address: ul. Sovetskaya 24, Essentuki, 357600, Stavropol’skiy kray, Russia; e-mail: work800@yandex.ru

при воздействии различных экстремальных факторов; применение косвенных методов оценки на основании анализа состояния различных систем организма в обычных условиях и при проведении различных функциональных нагрузочных проб [1, 2]. В большинстве работ резервные возможности связываются в основном с функциями кардиореспираторной системы [3, с. 44; 4; 5] и характеристиками вегетативной регуляции [6–9].

Физиологические резервы (ФизР) наряду с биохимическими и психологическими являются частью ФР [1, 10, 11]. В рамках системы ФизР спортивной деятельности целесообразным считается выделение следующих блоков: «Сенсорные системы» (восприятие и первичная обработка пусковых и корригирующих сигналов), «Управление движением», «Регуляция гомеостаза», «Реализация деятельности» (мышечная система) [12].

Цель работы – научно-экспериментальное обоснование адаптации ФР двигательной системы человека к специфической спортивной деятельности с позиций физиолого-биомеханического подхода.

**Материалы и методы.** В исследовании приняли участие спортсмены (как классические, так и с ограниченными возможностями здоровья) различных специализаций в возрасте от 16 до 40 лет ( $n = 704$ ), имеющие квалификацию от 1-го разряда до мастера спорта международного класса (МСМК). В контрольную группу входили мужчины и женщины, занимающиеся физической культурой. Время простой сенсомоторной реакции на свет (ВР) было проанализировано у 341 мужчины и 276 женщин; поструральная устойчивость – у 35 мужчин (легкоатлеты, единоборцы, футболисты); электрофизиологический и биомеханический анализ выполнения тяжелоатлетического рывка – у 35 мужчин и 17 женщин, специализирующихся в тяжелой атлетике.

ВР определялось с помощью аппаратно-программного комплекса «Спортивный психофизиолог» [13]. Для исследования стабильностных показателей использовались платформы на системе Smart BTS Motion

System (BTS Bioengineering, Италия), применялся протокол теста Static Analysis. Электромиографический (ЭМГ) и биомеханический (кинематический и динамический) контроль движений также проводился на системе Smart BTS Motion System. В целях биомеханического и ЭМГ-анализа движений и тестовых упражнений спортсменов в дополнение к специализированному программному обеспечению BTS SMART-Clinic была разработана программа «Биомеханическая и электромиографическая экспресс-оценка тяжелоатлетического рывка» [14]. Для расчета результативности тяжелоатлетов использовался результат в рывке, умноженный на коэффициент Синклера. Таблица коэффициентов Синклера применялась с учетом весовых коэффициентов спортсменов, с шагом в 100 г.

Статистическая обработка данных производилась с помощью программы Statistica 13.0. Для характеристики показателей вычислялись медиана и квартили –  $Me (Q_1; Q_3)$ . Для сравнения и анализа данных применялись непараметрические методы: ранговый дисперсионный анализ Краскела–Уоллиса, критерий Ньюмена–Кейлса для межгрупповых сравнений,  $U$ -критерий Манна–Уитни, критерий Уилкоксона. Для оценки взаимосвязей использовался корреляционный анализ Спирмена. Критический уровень значимости ( $p$ ) при проверке статистических гипотез принимался равным 0,05. Количество различий определялось по критерию Данна ( $p < 0,05$ ).

**Результаты.** Функциональная двигательная система (ДС) человека рассматривалась с опорой на представления П.К. Анохина [15] и понималась как объединение различных органов и систем организма для обеспечения его двигательной функции. ДС реализует свои функции в виде сенсомоторных реакций, отдельных поз и двигательных актов, сложных спортивных движений. Адаптация ДС анализировалась через мобилизацию ФизР в блоках «Сенсорные системы», «Управление движением» и «Реализация деятельности» (мышечная система).

В ходе исследования блока «Сенсорные системы» было изучено ВР у спортсменов разных специализаций (табл. 1). Выявлено, что ВР ( $p < 0,05$ ) различалось в зависимости от вида спорта.

Таблица 1

Сравнение простой сенсомоторной реакции мужчин и женщин, специализирующихся в различных видах спорта  
Comparison of the simple sensorimotor reaction in men and women specializing in different sports

Вид спорта	Время реакции, $Me (Q_1; Q_3)$ , с	
	Мужчины	Женщины
Контрольная группа (м = 17, ж = 34)	0,266 (0,248; 0,272)	0,264 (0,256; 0,266)
Плавание (м = 6, ж = 6)	0,220 (0,198; 0,230)	0,287 (0,260; 0,292)
Карате (м = 17, ж = 18)	0,221 (0,212; 0,241)	0,218 (0,210; 0,246)
Лыжные гонки (м = 13, ж = 6)	0,233 (0,228; 0,241)	0,247 (0,223; 0,328)
Шорт-трек (м = 7)	0,233 (0,198; 0,237)	–
Легкая атлетика (бег на короткие и средние дистанции) (м = 6, ж = 12)	0,233 (0,220; 0,260)	0,253 (0,229; 0,278)
Художественная гимнастика (ж = 36)	–	0,272 (0,258; 0,290)
Хоккей (м = 18)	0,240 (0,223; 0,272)	–
Футбол (м = 10)	0,238 (0,218; 0,288)	–
Триатлон (м = 5, ж = 6)	0,256 (0,251; 0,265)	0,260 (0,232; 0,274)
Бокс (м = 25, ж = 41)	0,251 (0,235; 0,276)	0,266 (0,249; 0,289)
Гиревой спорт (м = 9)	0,244 (0,220; 0,276)	–
Стендовая стрельба (м = 25, ж = 24)	0,268 (0,245; 0,280)	0,258 (0,250; 0,290)
Стрельба из арбалета (м = 6, ж = 7)	0,261 (0,245; 0,285)	0,252 (0,239; 0,291)
Греко-римская борьба (м = 33)	0,262 (0,242; 0,284)	–
Бадминтон (м = 6, ж = 8)	0,268 (0,264; 0,276)	0,279 (0,249; 0,319)
Кикбоксинг (м = 22, ж = 14)	0,266 (0,258; 0,277)	0,273 (0,262; 0,285)
Пауэрлифтинг (м = 17)	0,263 (0,240; 0,285)	–
Пулевая стрельба (м = 34, ж = 22)	0,267 (0,256; 0,281)	0,276 (0,260; 0,284)
Керлинг на колясках (м = 9)	0,268 (0,256; 0,284)	–
Настольный теннис (м = 13)	0,269 (0,265; 0,287)	–
Гребля на байдарках и каноэ (м = 8)	0,284 (0,259; 0,308)	–
Паратхэквондо (м = 9)	0,292 (0,255; 0,303)	–
Керлинг (м = 5, ж = 10)	0,274 (0,272; 0,279)	0,283 (0,257; 0,314)
Сумо (м = 10, ж = 7)	0,283 (0,272; 0,311)	0,278 (0,271; 0,299)
Спортивное ориентирование (спорт глухих) (м = 5)	0,301 (0,287; 0,327)	–
Тяжелая атлетика (м = 6, ж = 11)	0,310 (0,280; 0,330)	0,258 (0,234; 0,274)
Футбол (спорт глухих) (ж = 14)	–	0,339 (0,287; 0,379)

Примечание. Обозначения (здесь и далее): м – мужчины, ж – женщины. Значимость различий рассчитана по критерию Краскела–Уоллиса: различия между всеми группами по видам спорта достоверны как у мужчин, так и у женщин ( $p < 0,01$ ). Количество различий определено по критерию Данна ( $p < 0,05$ ): мужчины – 16, женщины – 13.

Среди мужчин лучшие значения (наименьшие) показали пловцы, каратисты, лыжники-гонщики, конькобежцы (шорт-трек), легкоатлеты (бег на короткие и средние дистанции), т. е. в основном представители стандартных циклических видов спорта. Среди женщин лучшие значения ВР продемонстрировали каратистки, легкоатлетки (бег на короткие и средние дистанции), гимнастки, лыжницы-гонщицы и тяжелоатлетки. Следовательно, по ВР у женщин выявлено такое же распределение, как и у мужчин, исключение составили женщины-тяжелоатлетки.

Стабилометрическая устойчивость (способность поддерживать позу) исследовалась в качестве показателя ФизР как блока «Сенсорные системы», так и блока «Управление движением». Анализ установил, что статокINETические характеристики обследуемых определяются спецификой и динамикой двигательных действий в избранном виде спорта. Лучшие показатели статокINETической устойчивости

отмечаются у легкоатлетов, большие смещения центра тяжести – у единоборцев, а показатели углового отклонения – у футболистов (см. рисунок).

Исследование кинематических и динамических показателей (блок «Управление движением») при выполнении максимального силового упражнения (тяжелоатлетический рывок) выявило взаимосвязи данных показателей с результативностью спортсменов по коэффициенту Синклера. У женщин-тяжелоатлетов установлены значимые корреляции результативности с силовыми показателями: вертикальной составляющей усилия на опору правой ногой в граничный момент между фазами движения ( $r = 0,55-0,81, p < 0,05$ ), максимальным ( $r = 0,51-0,71, p < 0,05$ ) и средним ( $r = 0,51-0,75, p < 0,05$ ) значениями вертикальной составляющей усилия на опору, коэффициентом функциональной асимметрии средних значений вертикальной составляющей усилий



Показатели статокINETической устойчивости у легкоатлетов, единоборцев и футболистов мужского пола

Statokinetic stability parameters in male track-and-field athletes, combat athletes and football players

правой/левой ногой на опору ( $r = 0,64, p < 0,05$ ), минимальным значением вертикальной составляющей усилия на опору в фазах тяги и подрыва ( $r = 0,51-0,84, p < 0,05$ ). Выявлены значимые корреляции результативности с максимальной скоростью увеличения вертикальной составляющей усилия на опору в конце тяги и в начале подрыва ( $r = 0,51-0,84, p < 0,05$ ), а также с показателями кинематики: амплитудой сгибания правого тазобедренного сустава в начале подрыва, углом в коленном суставе в граничный момент между фазами тяги и начала подрыва ( $r = 0,51-0,72, p < 0,05$ ) и др. Показатели мужчин-тяжелоатлетов имели подобные взаимосвязи.

Адаптация и повышение возможностей ФизР блока «Реализация деятельности» (мышечная система) проявляются в увеличении функциональных возможностей нервно-мышечного аппарата спортсменов по данным электромиограммы (ЭМГ). Анализ поверхностной ЭМГ в состоянии относительного покоя (перед упражнением, принятие позы) и в каждую фазу тяже-

лоатлетического рывка, а также расчет коэффициентов увеличения исследуемых параметров показали (табл. 2), что наибольшее увеличение амплитуд ЭМГ (медианных значений) для трапециевидной мышцы у женщин-тяжелоатлетов наблюдается в фазе подседа 3.2 (до 36 раз), для латеральной широкой мышцы бедра в фазе подрыва 2.1 зафиксировано увеличение амплитуд ЭМГ в 8,34 раза, для двуглавой мышцы бедра в фазе подрыва 2.1 – в 8,56 раза, для икроножной мышцы в фазе подрыва 2.1 – до 10,97 раза.

В различных фазах выполнения тяжелоатлетического рывка у высококвалифицированных женщин-тяжелоатлетов наблюдалось меньшее увеличение коэффициентов частотных характеристик ЭМГ в сравнении с амплитудными. В основном росла пиковая и медианная частота ЭМГ трапециевидной мышцы в фазах подрыва 2.2, подседа 3.1 и 3.2 (максимально – в 2,06 раза). Для других мышц выраженного роста частотных характеристик практически не наблюдалось.

Таблица 2

Динамика относительных коэффициентов роста амплитуд ЭМГ (медианных значений) при выполнении тяжелоатлетического рывка у высококвалифицированных женщин-тяжелоатлетов ( $n = 13$ )  
Dynamics of relative growth rates of electromyographic amplitudes (median values) in elite female weightlifters ( $n = 13$ ) during a weightlifting snatch

Мышца	Коэффициент роста амплитуды ЭМГ (средней/максимальной) в фазе						
	Тяга 1.1	Тяга 1.2	Подрыв 2.1	Подрыв 2.2	Подсед 3.1	Подсед 3.2	Вставание 4
Левая трапециевидная	3,99/4,90	<b>12,07/7,25</b>	13,44/7,18	13,51/6,59	18,83/14,03	33,19/16,89	21,12/18,14
Правая трапециевидная	4,31/ <b>5,50</b>	11,60/8,55	<b>17,02/10,13</b>	<b>16,96/9,63</b>	<b>23,55/15,71</b>	<b>35,68/21,61</b>	24,43/ <b>27,55</b>
Левая латеральная широкая бедра	2,64/3,55	5,53/4,52	8,34/5,96	3,51/4,50	4,36/7,86	3,79/4,97	5,16/5,33
Правая латеральная широкая бедра	2,38/3,22	4,97/4,23	6,74/5,02	4,15/4,34	4,13/6,19	4,26/4,32	5,06/6,23
Левая двуглавая бедра	2,41/3,00	5,41/5,25	8,56/5,76	4,26/5,15	3,39/5,84	3,74/4,65	4,09/4,21
Правая двуглавая бедра	1,94/2,46	5,84/4,13	7,96/5,64	5,59/5,25	5,04/4,93	3,69/3,61	3,87/4,27
Левая икроножная	1,34/1,49	3,63/3,44	10,76/5,42	6,50/5,22	2,09/2,84	2,09/3,58	1,69/2,30
Правая икроножная	1,59/2,23	4,19/3,45	10,97/6,92	8,02/7,10	3,13/4,31	2,16/2,81	2,51/3,33

Примечание: Место измерения амплитуд ЭМГ: двуглавая мышца бедра – средняя часть длинной головки, икроножная мышца – средняя часть латеральной головки. В каждой фазе (столбце) полужирным начертанием выделены максимальные значения коэффициентов роста амплитуд.

Анализ коэффициентов увеличения амплитуд ЭМГ мышц (медианных значений) в разных фазах выполнения рывка у мужчин-тяжелотлетов показал, что для трапецевидной мышцы максимальное увеличение наблюдается в фазе подседа 3.2 (в 53 раза); для латеральной широкой мышцы бедра – в фазе подседа 3.1 (в 10,5 раза); для двуглавой мышцы бедра – в фазах тяги 1.2 (в 11 раз), подрыва 2.1 (в 16 раз) и 2.2 (в 10 раз); для икроножной мышцы – в фазах подрыва 2.1 (в 22 раза) и 2.2 (в 11 раз). Как у мужчин, так и у женщин средние амплитуды ЭМГ росли в большей степени, чем максимальные. В различных фазах выполнения тяжелоатлетического рывка у мужчин также наблюдалась меньшая степень увеличения коэффициентов частотных характеристик ЭМГ по сравнению с амплитудными. В основном повышались пиковая и медианная частота ЭМГ трапецевидной мышцы в фазах подрыва 2.1, 2.2, подседа 3.1, 3.2 и вставания 4 (максимально – в 2,42 раза). У латеральной широкой мышцы бедра росла пиковая частота в фазе подрыва 2.1 в 1,37 раза. У двуглавой мышцы бедра увеличивались амплитуды

ЭМГ: средняя и пиковая в фазах тяги 1.2, подрыва 2.1 и 2.2 (до 1,44 раза), а у икроножной мышцы – пиковая и медианная частоты в фазах подрыва 2.1 и 2.2 (до 2,36 раза).

**Обсуждение.** Исследование адаптации ДС человека к специфической спортивной деятельности с позиций физиолого-биомеханического подхода показало особенности реализации таких блоков ФизР, как «Сенсорные системы», «Управление движением» и «Реализация деятельности» (мышечная система), в процессе мышечной деятельности. Проявления адаптации и повышение показателей блока «Сенсорные системы» отражаются во ВР и в стабилметрических показателях, свидетельствуя об увеличении функциональных возможностей зрительной и вестибулярной сенсорных систем.

Рассматривая полученные данные ВР в аспекте физиологической классификации спортивных упражнений, учитывающей структуру движений спортсменов и проявляемое физическое качество, можно выделить уровни ВР, представленные в *табл. 3*. Данная таблица разработана на основе схемы классификации, которая была запатентована как промышленный образец [16].

Таблица 3

**Классификация видов спорта по уровням простой сенсомоторной реакции**  
**Classification of sports according to the levels of simple sensorimotor reaction**

Структура движений	Проявляемое качество	Виды спорта	Уровень
Стандартные циклические	Выносливость, быстрота	Плавание (м), лыжные гонки (м, ж), шорт-трек (м), легкая атлетика (м, ж), триатлон (м, ж)	1
	Сила	Гиревой спорт (м), гребля на байдарках и каноэ (м)	2
Стандартные ациклические	Точность	Стеновая стрельба (м, ж), пулевая стрельба (м, ж), стрельба из арбалета (м, ж)	2
	Скоростно-силовые качества	Художественная гимнастика (ж), тяжелая атлетика (ж)	2
	Сила	Пауэрлифтинг (м), тяжелая атлетика (м)	3
Ситуационные (нестандартные)	Скоростные качества	Карате (м, ж)	1
	Точность	Керлинг (м, ж)	2
	Скоростно-силовые качества	Хоккей, футбол, бокс (м, ж), бадминтон (м, ж), кикбоксинг (м, ж), борьба (м), настольный теннис (м), сумо (ж)	2
	Сила	Сумо (м)	3

*Примечание.* Уровню 1 соответствуют минимальные значения времени простой сенсомоторной реакции, уровню 2 – средние, уровню 3 – максимальные.

Результаты тестов на стабилметрическую устойчивость характеризуют особенности адаптации вестибулярной сенсорной системы к специфической спортивной деятельности и частично функции ФизР блока «Управление движением». Из них можно сделать вывод, что легкоатлеты лучше адаптированы к сохранению устойчивости тела в стандартной внешней среде; футболисты – в более изменяющейся; внешняя среда единоборцев на борцовском ковре не ограничивается позой «Стояние на двух ногах», с опорой могут контактировать и другие части тела, поэтому смещения центра тяжести наиболее существенны.

Адаптация и повышение ФизР блока «Управление движением» проявляются также в улучшении кинематических и динамических параметров двигательных действий при выполнении тяжелоатлетических упражнений спортсменами высокой квалификации. Исследование показало, что результативность тяжелоатлетов определяется более эффективной техникой двигательных действий. В тяжелоатлетическом рывке результативность в большей степени связана с вертикальной составляющей усилия в тяге и подрыве, скоростью увеличения вертикальной составляющей усилия на опору в заключительной части тяги и во время вставания после подседа, динамикой сгибания тазобедренного и коленного суставов в фазах тяги и подрыва, а также динамикой сгибания голеностопного суставов между подседом и вставанием.

ФизР в блоке «Реализация деятельности» (мышечная система) наглядно проявляются как увеличение электрофизиологической активности мышц при выполнении максимального силового упражнения. При осуществлении тяжелоатлетического рывка у спортсменов наблюдается многократное усиление электронапряжения работающих мышц, в отдельных случаях до 53 раз. В большей степени увеличивается электроактивность трапециевидной мышцы. Электроактивность всех мышц у мужчин повышается сильнее, чем у женщин. При выполнении упражнений в основном растет средняя амплитуда ЭМГ, частотные характеристики (доминирующая (пиковая) частота) изменяются не более чем в 2,4 раза.

Таким образом, были исследованы физиологические, кинематические и динамические параметры высококвалифицированных спортсменов, в т. ч. при выполнении спортивного движения (тяжелоатлетический рывок), способствующие проявлению максимальных функциональных возможностей, а следовательно, и увеличению ФизР организма. Как однократное (в аспекте срочной адаптации), так и систематическое (в аспекте долговременной адаптации) выполнение упражнений, в которых проявляется максимум функциональных возможностей, силы, мощности, скорости, способствует активизации соответствующих сенсорных систем, центральной нервной системы и мышечного аппарата, составляющих основу ДС, приводя к повышению ее функциональных возможностей в целом.

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

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

## Список литературы

1. Курзанов А.Н., Заболотских Н.В., Ковалев Д.В. Функциональные резервы организма: моногр. М.: Изд. дом Акад. естествознания, 2016. 95 с.
2. Бобровницкий И.П. Методологические аспекты разработки и внедрения новых технологий оценки и коррекции функциональных резервов в сфере восстановительной медицины // Курорт. ведомости 2007. № 3(42). С. 8–10.

3. Патент № 2240035 С2 Российская Федерация, МПК А61В 5/0452 (2006.01), А61В 5/0205 (2006.01). Способ определения функциональных резервов регуляции кардиореспираторной системы человека: № 2002133682/14: заявл. 16.12.2002: опубл. 20.11.2004 / Баевский Р.М., Баранов В.М., Берсенев Е.Ю., Фунтова И.И., Семенов Ю.Н., Григорьев А.И., Прилуцкий Д.А. URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2240035C2\\_20041120](https://yandex.ru/patents/doc/RU2240035C2_20041120) (дата обращения: 26.03.2024).

4. Абуталимова С.М., Кушнарёва Ю.В., Абрамцова А.В., Попов А.Н. Особенности функционального состояния систем вегетативного обеспечения мышечной деятельности у высококвалифицированных спортсменов различных по направленности видов спорта в среднегорье // Рос. журн. спортив. науки: медицина, физиология, тренировка. 2022. Т. 1. № 2(2). [https://doi.org/10.51871/2782-6570\\_2022\\_01\\_02\\_3](https://doi.org/10.51871/2782-6570_2022_01_02_3)

5. Yoshioka M., Tagawa K., Tochigi Y., Sato T., Park J., Momma R., Choi Y., Sugawara J., Maeda S. Central Blood Pressure in Young Kendo Athletes: Implications of Combined Anaerobic and Strength Training // Artery Res. 2021. Vol. 27, № 2. P. 87–92. <https://doi.org/10.2991/artres.k.201225.001>

6. Zhang Y., Fan X., Qi L., Xu L., Du C. Comparison of Central Hemodynamic Parameters for Young Basketball Athletes and Control Group // Acta Cardiol. 2018. Vol. 73, № 6. P. 558–564. <https://doi.org/10.1080/00015385.2017.1421123>

7. Корягина Ю.В., Нопин С.В., Абуталимова С.М., Тер-Акопов Г.Н. Вегетативная регуляция сердечного ритма высококвалифицированных лыжников-гонщиков в условиях тренировки в среднегорье // Вопр. курортологии, физиотерапии и лечеб. физ. культуры. 2021. Т. 98, № 3-2. С. 98. <https://doi.org/10.17116/kurort20219803221>

8. Biswas S. A Study on Resting Heart Rate and Heart Rate Variability of Athletes, Non-Athletes and Cricketers // Am. J. Sports Sci. 2020. Vol. 8, № 4. P. 95–98. <http://dx.doi.org/10.11648/j.ajss.20200804.13>

9. Granero-Gallegos A., González-Quílez A., Plews D., Carrasco-Poyatos M. HRV-Based Training for Improving  $VO_{2max}$  in Endurance Athletes. A Systematic Review with Meta-Analysis // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2020. Vol. 17, № 21. Art. № 7999. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217999>

10. Мозжухин А.С., Давиденко Д.Н. Роль системы физиологических резервов спортсмена в его адаптации к физическим нагрузкам // Физиологические проблемы адаптации: тез. IV Всесоюз. симпоз. по физиол. проблемам адаптации (Таллин, 22–24 мая 1984 г.) / [Редкол.: А. А. Виру (отв. ред.) и др.]. Тарту: ТГУ, 1984. С. 84–87.

11. Ванюшин Ю.С., Федоров Н.А., Борисевич С.А. Значение физиологических показателей для выявления функциональных резервов организма // Пед.-психол. и мед.-биол. проблемы физ. культуры и спорта. 2021. Т. 16, № 4. С. 131–136.

12. Давиденко Д.Н. Проблема резервов адаптации организма спортсмена // Уч. зап. ун-та им. П.Ф. Лесгафта. 2005. № 18. С. 15–24.

13. Свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ № 2010617789 Российской Федерации. Аппаратно-программный комплекс «Спортивный психофизиолог»: № 2010615935: заявл. 24.09.2010 / Корягина Ю.В., Нопин С.В. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=uxgkpf> (дата обращения: 26.03.2024).

14. Свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ № 2020660142 Российской Федерации. Биомеханическая и электромиографическая экспресс-оценка тяжелоатлетического рывка: № 2020619210: заявл. 20.08.2020 / Нопин С.В., Корягина Ю.В., Тер-Акопов Г.Н. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43965959> (дата обращения: 26.03.2024).

15. Анохин П.К. Кибернетика функциональных систем: избр. тр. / под общ. ред. К.В. Судачова. М.: Медицина, 1998. 397 с.

16. Патент № 136767 Российская Федерация, МКПО 19-07. Схема «Классификация видов спорта по нейродинамическим параметрам времени простой сенсомоторной реакции спортсменов»: № 2022505780: заявл. 27.12.2022: опубл. 23.05.2023 / Нопин С.В., Корягина Ю.В., Тер-Акопов Г.Н. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54052356> (дата обращения: 26.03.2024).

## References

1. Kurzanov A.N., Zabolotskikh N.V., Kovalev D.V. *Funktsional'nye rezervy organizma* [Body's Functional Reserves]. Moscow, 2016. 95 p.

2. Bobrovnikitskiy I.P. Metodologicheskie aspekty razrabotki i vnedreniya novykh tekhnologiy otsenki i korrektsii funktsional'nykh rezervov v sfere vosstanovitel'noy meditsiny [Methodological Aspects of the Development and Implementation of New Technologies for Assessing and Correcting Functional Reserves in the Field of Rehabilitation Medicine]. *Kurortnye vedomosti*, 2007, no. 3, pp. 8–10.

3. Baevskij R.M., Baranov V.M., Bersenev E.Ju., Funtova I.I., Semenov Ju.N., Grigor'ev A.I., Prilutskij D.A. *Method for Predicting Functional Reserves in Regulating Human Cardiorespiratory System*. Patent RU2240035C2, 2004. Available at: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2240035C2\\_20041120](https://yandex.ru/patents/doc/RU2240035C2_20041120) (accessed: 26 March 2024) (in Russ.).
4. Abutalimova S.M., Kushnareva Yu.V., Abramtsova A.V., Popov A.N. Features of the Functional State of the Vegetative Muscular Activity Support Systems in Elite Athletes of Various Sports in the Middle Altitude. *Russ. J. Sports Sci. Med. Physiol. Train.*, 2022, vol. 1, no. 2 (in Russ.). [https://doi.org/10.51871/2782-6570\\_2022\\_01\\_02\\_3](https://doi.org/10.51871/2782-6570_2022_01_02_3)
5. Yoshioka M., Tagawa K., Tochigi Y., Sato T., Park J., Momma R., Choi Y., Sugawara J., Maeda S. Central Blood Pressure in Young Kendo Athletes: Implications of Combined Anaerobic and Strength Training. *Artery Res.*, 2021, vol. 27, no. 2, pp. 87–92. <https://doi.org/10.2991/artres.k.201225.001>
6. Zhang Y., Fan X., Qi L., Xu L., Du C. Comparison of Central Hemodynamic Parameters for Young Basketball Athletes and Control Group. *Acta Cardiol.*, 2018, vol. 73, no. 6, pp. 558–564. <https://doi.org/10.1080/00015385.2017.1421123>
7. Koryagina Yu.V., Nopin S.V., Abutalimova S.M., Ter-Akopov G.N. Vegetativnaya regulyatsiya serdechnogo ritma vysokokvalifitsirovannykh lyzhnikov-gonshchikov v usloviyakh trenirovki v srednegor'ye [Autonomic Regulation of Heart Rate in Elite Cross-Country Skiers During Training in Middle Altitudes]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoy fizicheskoy kul'tury*, 2021, vol. 98, no. 3-2, p. 98. <https://doi.org/10.17116/kurort20219803221>
8. Biswas S. A Study on Resting Heart Rate and Heart Rate Variability of Athletes, Non-Athletes and Cricketers. *Am. J. Sports Sci.*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 95–98. <http://dx.doi.org/10.11648/j.ajss.20200804.13>
9. Granero-Gallegos A., González-Quílez A., Plews D., Carrasco-Poyatos M. HRV-Based Training for Improving  $VO_{2max}$  in Endurance Athletes. A Systematic Review with Meta-Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17, no. 21. Art. no. 7999. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217999>
10. Mozzhukhin A.S., Davidenko D.N. Rol' sistemy fiziologicheskikh rezervov sportsmena v ego adaptatsii k fizicheskim nagruzkam [The Role of the Physiological Reserve System in the Athlete's Adaptation to Physical Activity]. Viru A.A. (ed.). *Fiziologicheskie problemy adaptatsii* [Physiological Aspects of Adaptation]. Tartu, 1984, pp. 84–87.
11. Vanyushin Yu.S., Fedorov N.A., Borisevich S.A. Znachenie fiziologicheskikh pokazateley dlya vyyavleniya funktsional'nykh rezervov organizma [The Importance of Physiological Indices for the Functional Reserves of the Organism Revelation]. *Pedagogiko-psikhologicheskie i mediko-biologicheskie problemy fizicheskoy kul'tury i sporta*, 2021, vol. 16, no. 4, pp. 131–136.
12. Davidenko D.N. Problema rezervov adaptatsii organizma sportsmena [Adaptation Reserves of the Athlete's Body]. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*, 2005, no. 18, pp. 15–24.
13. *Hardware and Software Package "Sports Psychophysiologicalist"*. Registration Certificate RF no. 2010617789, 2010. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=uxgkpf> (accessed: 26 March 2024) (in Russ.).
14. Nopin S.V., Koryagina Yu.V., Ter-Akopov G.N. *Biomechanical and Electromyographic Rapid Assessment of the Weightlifting Snatch*. Registration Certificate RF no. 2020660142, 2020. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43965959> (accessed: 26 March 2024) (in Russ.).
15. Anokhin P.K. *Kibernetika funktsional'nykh sistem* [Cybernetics of Functional Systems]. Moscow, 1998. 397 p.
16. Nopin S.V., Koryagina Yu.V., Ter-Akopov G.N. *Diagram "Classification of Sports According to the Neurodynamic Parameters of the Simple Sensorimotor Reaction Time in Athletes"*. Patent no. RU136767S, 2023. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54052356> (accessed: 26 March 2024) (in Russ.).

Поступила в редакцию 13.06.2023 / Одобрена после рецензирования 10.01.2024 / Принята к публикации 25.01.2024.  
Submitted 13 June 2023 / Approved after reviewing 10 January 2024 / Accepted for publication 25 January 2024.

Научная статья

УДК [612.821+591.181]:796

DOI: 10.37482/2687-1491-Z191

## Электофизиологические корреляты точности выстрела у лучников разной квалификации

**Олег Игоревич Шестаков\*** ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6795-349X>

**Александр Михайлович Пухов\*\*** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8642-970X>

\*Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма  
(Краснодар, Россия)

\*\*Великолукская государственная академия физической культуры и спорта  
(Великие Луки, Псковская область, Россия)

**Аннотация.** Цель исследования – установить электрофизиологические маркеры точности выстрела лучников по корреляциям между результативностью и мощностными параметрами электроэнцефалограммы методом сопоставления показателей спортсменов разных квалификаций. **Материалы и методы.** Обследовано 20 чел., занимающихся стрельбой в дивизионе «Классический лук», которые были разделены на две группы в соответствии с квалификацией: кандидаты в мастера спорта и спортсмены I разряда, по 10 чел. в каждой. Электроэнцефалограмма регистрировалась в ходе выполнения упражнения «Выстрел из лука» на приборе «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» (ООО НПКФ «Медиком МТД», г. Таганрог) в 19 отведениях по системе 10–20. Референтные электроды размещались на мочках ушей. **Результаты.** Установлено, что точность выстрела высококвалифицированных лучников (кандидатов в мастера спорта) маркируется усилением мощности альфа- и тета-диапазонов электроэнцефалограммы в затылочно-височно-лобной области левого полушария в подготовительных фазах упражнения, а затем – диссоциацией мощностей данных частотных диапазонов в момент прицеливания. Точность выстрела лучников более низкой квалификации характеризуется уменьшением мощности основного ритма в височном отведении слева в первой фазе выстрела. В общей выборке испытуемых спортсменов (без учета квалификации) сколько-нибудь существенных корреляций не установлено ни в одном из 3365 случаев оценки данного аналитического параметра. Таким образом, электрофизиологические маркеры точности выстрела из лука для кандидатов в мастера спорта – одни, а для спортсменов I разряда – другие. Семикратное увеличение числа значимых корреляций ( $p < 0,05$ ) между параметрами электроэнцефалограммы и точностью попадания у высококвалифицированных лучников по сравнению с менее квалифицированными указывает на повышение уровня развития функциональной системы целенаправленных движений «Выстрел из лука» по мере роста мастерства, свидетельствует о синергизме физиологических процессов при выполнении упражнения кандидатами в мастера спорта. Установленные факты позволят тренеру-специалисту расширить физиологическое понимание механизма целенаправленных движений, что позволит объективно прогнозировать спортивный результат.

---

**Ответственный за переписку:** Олег Игоревич Шестаков, адрес: 354002, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Конституции СССР, д. 4; e-mail: shestakovoi@mail.ru

**Ключевые слова:** целенаправленное движение, стрельба из лука, точность выстрела, электроэнцефалография, маркер результативности

**Для цитирования:** Шестаков, О. И. Электрофизиологические корреляты точности выстрела у лучников разной квалификации / О. И. Шестаков, А. М. Пухов // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 201-209. – DOI 10.37482/2687-1491-Z191.

Original article

## Electrophysiological Correlates of Shot Accuracy of Archers with Different Sports Ranks

Oleg I. Shestakov\* ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6795-349X>  
Aleksandr M. Pukhov\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8642-970X>

\*Kuban State University of Physical Culture, Sports and Tourism  
(Krasnodar, Russia)

\*\*Velikiye Luki State Academy of Physical Education and Sports  
(Velikiye Luki, Pskov Region, Russia)

**Abstract.** The **purpose** of this study was to establish electrophysiological markers of archers' shot accuracy by correlations between performance and electroencephalogram (EEG) power parameters in athletes of different ranks compared. **Materials and methods.** The research involved 20 archers shooting the classic bow, who were divided into two groups of 10 subjects each by sports rank: Candidate for Master of Sport and First-Class Sportsman. EEG was recorded using the Encephalan-EEGR-19/26 device (Medikom MTD, Taganrog) in 19 leads according to the 10–20 system. Reference electrodes were placed on the earlobes. **Results.** It was found that shot accuracy of high-level archers (Candidate for Master of Sport) is marked by an increase in alpha and theta EEG power in the occipito-temporal-frontal regions of the left hemisphere during the preparatory phases of the exercise, and then, by the dissociation of the powers of these frequency ranges while aiming. In contrast, shot accuracy of lower level archers is characterized by a decrease in the power of the main rhythm in the left temporal lead during the first phase of the shot. In the total sample of athletes (regardless of rank) no significant correlations were found in any of the 3365 cases of evaluation of this analytical parameter. Thus, the electrophysiological markers of bow shot accuracy differ between Candidates for Master of Sport and First-Class Sportsmen. The sevenfold greater number of significant correlations ( $p < 0.05$ ) between EEG parameters and shot accuracy of Candidates for Master of Sport compared to First-Class Sportsmen indicates a high level of development of the Bow Shot functional system of purposeful movements as the skill improves, as well as testifies to the synergism of physiological processes when performing the exercise by Candidates for Master of Sport. The established facts will expand coaches' physiological understanding of the mechanism of purposeful movements in order to objectively predict sports results.

**Keywords:** purposeful movement, archery, shot accuracy, electroencephalography, performance marker

**For citation:** Shestakov O.I., Pukhov A.M. Electrophysiological Correlates of Shot Accuracy of Archers with Different Sports Ranks. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 201–209. DOI: 10.37482/2687-1491-Z191

**Corresponding author:** Oleg Shestakov, address: ul. Konstitutsii SSSR 4, Sochi, 354002, Krasnodarskiy kray, Russia; e-mail: shestakovoi@mail.ru

Государственная программа Российской Федерации «Развитие физической культуры и спорта» нацелена, среди прочего, на повышение конкурентоспособности отечественного спорта на международной арене, в частности на рост индекса физического объема инвестиций в основной капитал по виду экономической деятельности «Деятельность в области спорта»<sup>1</sup>. В этом отношении исследование физиологических механизмов результативности целенаправленных движений (ЦД) в таком медалеемком и в то же время редком виде спорта в России, как стрельба из лука [1], является перспективным.

Современными физиологами ЦД, как и многие другие функции, анализируются в масштабах целостного организма, однако именно ЦД лучников изучены слабо [2]. Организменная интеграция функций в значительной степени зависит от развитости церебрального коннектома [3], расшифровка которого может осуществляться электроэнцефалографически с применением корреляционного анализа [4]. Тем не менее в большей части доступной литературы встречаются не столько конкретные физиологические факты, маркирующие ЦД лучника, сколько методические рекомендации либо предпосылки к получению таких сведений [5–7]. Это может расцениваться как заданный вектор на пути поиска электрофизиологических маркеров для более детальной расшифровки специфического механизма ЦД на примере стрельбы из лука.

Цель настоящего исследования – установить электрофизиологические маркеры точности выстрела лучников по корреляциям между результативностью и мощностными параметрами электроэнцефалограммы (ЭЭГ) методом сопоставления показателей спортсменов разных квалификаций.

**Материалы и методы.** Было обследовано 20 спортсменов-правшей, которые занимаются

стрельбой в дивизионе «Классический лук». Испытуемые были разделены на две группы в соответствии с квалификацией: кандидаты в мастера спорта (КМС) и спортсмены I разряда, по 10 чел. в каждой. Средний возраст находился в диапазоне  $19,50 \pm 3,49$  года, именно на этот период, по современным данным [8], приходится психофизиологический подъем параболы спортивной результативности. Стаж спортивной деятельности испытуемых составлял от 2 до 12 лет. Все они получили подробную информацию о планируемых манипуляциях и дали письменное согласие на участие в исследовании, которое осуществлялось в соответствии с Хельсинкской декларацией (редакция 2013 года).

Измерения проводились в условиях, моделирующих соревновательную деятельность. Регистрация ЭЭГ выполнялась с помощью электроэнцефалографа «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» (ООО НПКФ «Медиком МТД», г. Таганрог) в 19 отведениях по системе 10–20 (Fp1, Fpz, Fp2, F3, Fz, F4, FC3, FCz, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1, Oz, O2). ЭЭГ оценивалась в полосе частот от 4 до 35 Гц. Референтные электроды размещались на мочках ушей. Запись осуществлялась в следующей последовательности: 1) регистрация ЭЭГ в исходном положении (стоя с открытыми и закрытыми глазами, по 1 мин на каждую пробу); 2) регистрация ЭЭГ в позиции предварительной подготовки (с открытыми глазами, в течение 30 с); 3) регистрация ЭЭГ в ходе выполнения зачетных выстрелов по мишени (учитывались 3–15-секундные фрагменты записи ЭЭГ во время прицеливания в период неподвижности головы); 4) фиксация результатов попаданий, 2-минутный отдых и возвращение ко 2-му этапу регистрации ЭЭГ. Кликер механически включал световой маркер и отображался на ЭЭГ как небольшой пик амплитуды. Зрительный контроль регистрировался с помощью датчиков электроокулограммы (ЭОГ) справа и

<sup>1</sup>О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Развитие физической культуры и спорта»: постановление Правительства РФ от 14 апр. 2021 г. № 592. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202104190014> (дата обращения: 24.05.2023).

слева, что позволяло установить начало фазы прицеливания, которое определяется не только укладкой опорной руки под челюсть, но и переводом взгляда с кликера на прицел. Данное движение глазных яблок четко прослеживалось на записи ЭЭГ датчиком ЭОГ. Телеметрическая регистрация показателей ЭЭГ позволяла испытуемому выполнять спортивное упражнение в естественных условиях. Моторная задача заключалась в максимальной точности попадания стрелы в мишень с расстояния 18 м в специально оборудованном помещении. Каждый испытуемый выполнял 2 подхода по 10 серий из 3 выстрелов, с интервалом между подходами 15 мин. Выстрелы разной результативности были разделены на высокоточные (10 очков) и низкоточные (8, 7, 6 очков). Попадания достоинством в 9 очков анализу не подвергались.

Статистическая обработка результатов проводилась стандартными методами с использованием программы Microsoft Excel. Осуществлялся корреляционный анализ полученных данных по коэффициенту Пирсона. Оценивались связи между индивидуальными параметрами точности выстрела лучников разной квалификации и в общей выборке (без учета квалификации) с абсолютными значениями мощности спектров ЭЭГ ( $\text{мкВ}^2/\text{с}$ ) в динамике выполнения упражнения. При этом каждый лучник предоставлял две варианты для вариационного ряда: от точного, и от неточного попадания в цель. Различия считались статистически достоверными в случае достижения уровня значимости  $p < 0,05$ .

**Результаты.** Из 7 фаз упражнения «Выстрел из лука», идентифицированных нами ранее [9], наиболее электрофизиологически результативными в рамках поставленной цели и наиболее функционально значимыми оказались: 1-я фаза – «Подготовка»; 2-я фаза – «Изготовка»; 6-я фаза – «Прицеливание», поэтому в *таблице* (фрагмент) представлены преимущественно левые отведения ЭЭГ, мощностные параметры которых отчетливо (для межквалификационного сравнения) коррелировали с точностью выстрела. Из *таблицы* видно, что

именно альфа- и тета-диапазоны ЭЭГ были связаны с показателем точности у КМС (7 статистически значимых корреляций,  $p < 0,05$ ) и только частотный диапазон альфа-2 (10–13 Гц) в левом передне-височном отведении – у спортсменов I разряда (единожды). В общей выборке испытуемых сколько-нибудь существенных корреляций не установлено ни в одном из 3365 случаев оценки данного аналитического параметра.

Примечательно, что у КМС точность выстрела характеризовалась значимыми изменениями мощности тета- и альфа-ритма в фазах подготовки, изготовления и прицеливания в отличие от спортсменов I разряда. Так, например, в левых лобных отделах мощность тета-волн сначала усиливалась (1-я фаза:  $r = 0,45$ ;  $p < 0,05$ ), а затем, к моменту прицеливания – ослабевала (6-я фаза:  $r = -0,69$ ;  $p < 0,05$ ), хотя и оставалась повышенной при сопоставлении с фоновой записью.

**Обсуждение.** Сравнение результатов корреляционного анализа было нацелено на выявление общности и различий спортсменов исследуемых групп. Прежде всего общим фактором стала вовлеченность участников обеих групп во время 1-й (подготовительной) фазы в физиологический механизм формирования точного выстрела. Это подчеркивает важность и универсальность психологического настроя [10], упреждающего выполнение последующих фаз упражнения. Отсутствие искомым связей в общей выборке свидетельствует о том, что единых маркеров ЭЭГ для всех лучников, вероятно, не существует. Во всяком случае, таковые нами не были обнаружены. В то же время отчетливо определяются маркеры точности выстрела лучников разных квалификаций, что иллюстрирует их специфические электрофизиологические различия:

1. Из *таблицы* видно, что основной параметр с зеркально-противоположной направленностью корреляций у двух групп испытуемых в фазе подготовки – выраженная связь между точностью попадания и мощностью высокочастотного альфа-ритма в отведении ТЗ. У КМС (в отличие от спортсменов I разряда) на

**Корреляция ( $r$ ) точности выстрела лучников разной квалификации с абсолютными значениями мощности спектров ЭЭГ в динамике выполнения упражнения (фрагмент)**

**Correlation ( $r$ ) of shot accuracy of archers of different ranks with the absolute power of the EEG spectra in exercise dynamics (fragment)**

Группа	Отведение (диапазон волны)			
	O1 (альфа-1)	Fp1 (тета)	T3 (альфа-2)	кросс-спектр T5-O1 (альфа-1)
<i>1-я фаза – «Подготовка»</i>				
КМС ( $n = 20$ )	<b>0,65</b>	<b>0,45</b>	<b>0,54</b>	<b>0,52</b>
1-й разряд ( $n = 20$ )	-0,09	-0,23	<b>-0,54</b>	-0,07
Все ( $n = 40$ )	-0,06	0,16	-0,21	-0,09
<i>2-я фаза – «Изготовка»</i>				
КМС ( $n = 20$ )	-0,21	-0,15	<b>0,47</b>	-0,35
1-й разряд ( $n = 20$ )	0,07	0,07	0,04	0,31
Все ( $n = 40$ )	-0,05	-0,04	-0,07	0,16
<i>6-я фаза – «Прицеливание»</i>				
КМС ( $n = 20$ )	0,02	<b>-0,69</b>	<b>0,44</b>	-0,10
1-й разряд ( $n = 20$ )	-0,26	-0,32	-0,23	-0,19
Все ( $n = 40$ )	-0,21	-0,24	-0,18	-0,17

*Примечание.* Полужирным начертанием выделены статистически значимые корреляции ( $p < 0,05$ ).

этом этапе упражнения в механизм точности выстрела вовлечен еще и тета-диапазон ЭЭГ. В соответствии с классическими [11] и современными [12] представлениями тета-ритм, регистрируемый в состоянии бодрствования, имеет гиппокампальное происхождение. По результатам нашего корреляционного анализа и по визуальным наблюдениям синхронной регистрации ЭЭГ на мониторе данный паттерн ритмики допустимо трактовать следующим образом [13, с. 59]: в начале упражнения у КМС альфа-ритм из T3 трансформировался в тета-волну, иррадиировал в передне-лобную зону и стал регистрироваться в Fp1, т. е. по церебральной вертикали из неокортикального – в субкортикальные слои. При этом рост его мощ-

ности в 1-й фазе выстрела продолжал детерминировать точность попадания КМС. Такое предположение отчасти подтверждает показатель кросс-спектра T5 альфа-1 в O1, также регистрируемый слева и связанный с точностью выстрела по выраженности корреляции и по ее направленности. В пользу этого свидетельствует связь абсолютной мощности альфа-ритма в O1 с точностью выстрела, которая была однонаправленной с корреляцией показателя кросс-спектра и точности выстрела. Судя по обширному синергичному мощностному росту во всем частотном диапазоне «альфа-тета», у КМС в подготовительной фазе задействованы глубокие левополушарные слои неокортекса (альфа-ритм) и поверхностные слои подкорки

(тета-активность). Таким образом, мы можем судить о мобилизаторной вовлеченности корково-подкорковых взаимодействий [12, с. 59] в механизм формирования точности выстрела из лука. В психофизиологическом смысле подобная картина может быть интерпретирована как активизированное взаимоотношение сознания с подсознанием, т. е. состояние, благоприятное для раскрытия творческих способностей, достижения высоких когнитивных результатов [14]. Именно данная взаимосвязь маркирует точный выстрел в 1-й фазе. Далее, для обеспечения точности выстрела КМС основной ритм в Т3 удерживает высокую мощность вплоть до фазы прицеливания, а тета-активность (когнитивно-креативный компонент) в Fr2 в момент прицеливания адаптивно ослабевает по типу «затаивания». В процессе формирования данного регуляторно-адаптивного паттерна не исключено участие серотонинергической медиаторной системы [15]. В вегетативном аккомпанементе возможны мобилизаторные флуктуации церебрального кровотока в системе внутренней сонной артерии – усиление пульсового кровенаполнения [16, 17]. Синхронизация биоэлектрической активности в данный момент доминирует над десинхронизацией. Впрочем, наблюдаемая диссоциация мощности ЭЭГ может зависеть как от эндогенных факторов, например врожденных свойств психоэмоционального статуса спортсмена [11], так и от экзогенных условий, вплоть до фоновой геофизической обстановки [18, 19]. У спортсменов I разряда такая закономерность не прослеживается. Наоборот, знак единственного достоверного коэффициента корреляции противоположный, отрицательный: чем меньше мощность основного ритма ЭЭГ у лучника I разряда в височном отведении слева, тем точнее его выстрел.

2. Семикратное увеличение числа значимых связей между параметрами ЭЭГ и точностью попадания у КМС по сравнению со спортсменами I разряда указывает на повышение уровня развития функциональной системы ЦД «Выстрел из лука» по мере роста мастерства,

говорит о синергичности физиологических процессов при выполнении упражнения высококвалифицированными лучниками. Выраженность силы связей обеспечивает сочетание надежности, экономичности нейродинамики с кинематической точностью попадания на фоне повышения запаса прочности целостного организма. Правомочность такой интерпретации косвенно подтверждает аналогичная оценка когерентности ЭЭГ каноистов [20], выявившая экономизацию центральных перестроек постуральной регуляции при произвольном контроле поддержания удобной стойки.

В сформированной у КМС функциональной системе ЦД «Выстрел из лука», естественно, проявляются и общие системные свойства: единство, взаимосвязь отдельных подсистем, функциональная и структурная иерархия. Такой уровень предполагает синхронное развитие ЦД и когнитивных способностей, включая оптимизацию рабочей памяти, пространственной ориентации [21], концентрации внимания, что способствует формированию «антиклипового» когнитивного стиля [22], значимого для результативности. У спортсменов I разряда церебральный уровень регуляции будущей (еще не до конца сформированной) системы в нашем исследовании отличался единственной статистически значимой обратной связью точности попадания в цель с мощностью высокочастотного альфа-ритма ЭЭГ. Значит, их динамические стереотипы пока находятся лишь на начальных стадиях формирования, не до конца выработанные навыки еще не переросли в профессионализм, в истинное мастерство. Вероятно, поэтому большая мощность альфа- и тета-волн ЭЭГ в 1-й фазе выстрела нужна для точности попадания мастерам, а меньшая – спортсменам I разряда.

Таким образом, электрофизиологические маркеры точности ЦД «Выстрел из лука» для КМС и спортсменов I разряда разнятся. Точность выстрела КМС маркирует левополушарная затылочно-височно-лобная активация мощности альфа-тета-диапазонов ЭЭГ в подготовительных фазах упражнения, а затем – диссоциация мощно-

стей этих частотных диапазонов в момент прицеливания: продолжающееся усиление абсолютной мощности альфа-ритма и умеренное ослабление мощности тета-волн ЭЭГ. Точность выстрела спортсменов I разряда маркирует уменьшение мощности основного ритма в височном отведении слева в 1-й фазе выстрела.

Установленные маркеры позволят тренеру-специалисту расширить физиологическое понимание механизма ЦД, что поможет объективно оценивать уровень здоровья и результативности воспитанника на основе физиологических данных, а также прогнозировать спортивный результат.

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

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

### Список литературы

1. Гумерова А.А., Костина Е.А. Стрельба из лука как редкий вид спорта в России // Актуальные проблемы физического воспитания студентов: материалы Междунар. конф., Чебоксары, 30-31 янв. 2019 г. Чебоксары: Чуваш. гос. с.-х. акад., 2019. С. 71–72.
2. Островский М.А. Настало время думать «физиологически» // Вестн. РАН. 2017. Т. 87, № 2. С. 158–165. <https://doi.org/10.7868/S0869587317020116>
3. Лебедева Н.Н., Майорова Л.А., Каримова Е.Д., Казимирова Е.А. Коннектомика: нейрофизиология, достижения и перспективы // Успехи физиол. наук. 2015. Т. 46, № 3. С. 17–45.
4. Horwitz B. The Elusive Concept of Brain Connectivity // Neuroimage. 2019. Vol. 19, № 2, pt. 1. P. 466–470. [https://doi.org/10.1016/s1053-8119\(03\)00112-5](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(03)00112-5)
5. Hatfield B.D., Haufler A.J., Hung T.M., Spalding T.W. Electroencephalographic Studies of Skilled Psychomotor Performance // J. Clin. Neurophysiol. 2004. Vol. 21, № 3. P. 144–156. <https://doi.org/10.1097/00004691-200405000-00003>
6. Napalkov D.A., Shishkin S.L., Kolikoff M.B., Salykhova R.N., Ratmanova P.O., Shulgovsky V.V. Paradoxical Increase of the Alpha Rhythm During the Aiming in Marksmen: Component Analysis // Int. J. Psychophysiol. 2008. Vol. 69, № 3. P. 256. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.05.172>
7. Taha Z., Mat-Jizat J.A., Omar S.F.S., Suwarganda E. Correlation Between Archer's Hands Movement While Shooting and Its Score // Procedia Eng. 2016. Vol. 147. P. 145–150. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.204>
8. Водолажский Г.И., Ахметов С.М., Алексанянц Г.Д., Водолажская М.Г. Фрагмент онтогенетической динамики результативности игрока в ходе киберспортивной тренировки // Физ. культура, спорт – наука и практика. 2022. № 2. С. 70–75.
9. Трембач А.Б., Шестаков О.И., Пономарева Т.В., Миниханова Е.Р. Периоды и фазы становления целенаправленного движения спортсмена на основе биологических маркеров // Теория и практика физ. культуры. 2018. № 10. С. 79–81.
10. Федотова О.И., Ивашко С.Г. Учет психофизиологических особенностей стрелков из лука в процессе технической подготовки // Рудиковские чтения: материалы XV Всерос. конф. с междунар. участием / под общ. ред. Ю.В. Байковского, В.А. Москвина. М.: Рос. гос. ун-т физ. культуры, спорта, молодежи и туризма, 2019. С. 272–275.
11. Виноградова О.С. Гиппокамп и память. М.: Наука, 1975. 333 с.
12. Водолажская М.Г., Водолажский Г.И. Возрастная динамика электроэнцефалографических параметров здоровых людей с разным уровнем агрессивности // Вестн. Адыг. гос. ун-та. Сер. 4: Естеств.-мат. и техн. науки. 2020. № 1(256). С. 34–42.
13. Водолажская М.Г., Водолажский Г.И., Филиппов Ю.А., Соколова Н.И., Котло С.А. Психофизиологические предпосылки к выявлению коррекционных свойств киберспорта // Человек. Спорт. Медицина. 2023. Т. 23, № 1. С. 59–65.
14. Водолажская М.Г., Водолажский Г.И. Возрастные особенности электроэнцефалографических коррелятов творческого интереса // Психология творчества и одаренности: материалы Всерос. конф., Москва, 20–21 апр. 2018 г. М.: Мос. пед. гос. ун-т, 2018. С. 257–261.

15. Кашина Ю.В., Покровский В.М., Чередник И.Л. Роль генов серотонинергической медиаторной системы в формировании регуляторно-адаптивных возможностей человека // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 1. С. 23–33. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z126>
16. Рекомендации по оценке и прогнозированию успешности когнитивной деятельности в условиях ограниченного времени: метод. рекомендации / авт.-сост.: А. И. Талева [и др.]. Архангельск: КИРА, 2022. 24 с.
17. Zohdi H., Scholkmann F., Wolf U. Individual Differences in Hemodynamic Responses Measured on the Head Due to a Long-Term Stimulation Involving Colored Light Exposure and a Cognitive Task: A SPA-fNIRS Study // Brain Sci. 2021. Vol. 11, № 1. Art. № 54. <https://doi.org/10.3390/brainsci11010054>
18. Vodolazhskaya M.G., Vodolazhsky G.I. Gender Differences in Weather Sensitivity of Normal Adult People Detected in Rheoencephalograms and Electroencephalograms // Hum. Physiol. 2016. Vol. 42, № 7. P. 793–798. <https://doi.org/10.1134/S0362119716070203>
19. Водолажский Г.И., Боташева Т.Л., Заводнов О.П., Резенькова О.В., Водолажская М.Г. Метеочувствительность спортсменов с разным уровнем агрессивности // Человек. Спорт. Медицина. 2021. Т. 21, № 3. С. 46–55.
20. Черенкова Л.В., Бердичевская Е.М. Центральная регуляция позной устойчивости у квалифицированных каноистов, использующих левостороннюю стойку // Физ. культура, спорт – наука и практика. 2018. № 1. С. 69–75.
21. Haier R.J., Karama S., Leyba L., Jung R.E. MRI Assessment of Cortical Thickness and Functional Activity Changes in Adolescent Girls Following Three Months of Practice on a Visual-Spatial Task // BMC Res. Notes. 2009. Vol. 2. Art. № 174. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-2-174>
22. Григорьев П.Е., Гальченко А.С., Поскотинова Л.В. Связь показателей когнитивного стиля «импульсивность/рефлексивность» со степенью склонности к интернет-зависимому поведению у старшеклассников // Бюл. сиб. медицины. 2022. Т. 21, № 2. С. 27–32. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2022-2-27-32>

## References

1. Gumerova A.A., Kostina E.A. Strel'ba iz luka kak redkiy vid sporta v Rossii [Archery as a Rare Sport in Russia]. *Aktual'nye problemy fizicheskogo vospitaniya studentov* [Current Problems of Physical Education for University Students]. Cheboksary, 2019, pp. 71–72.
2. Ostrovsky M.A. It Is Time to Think “Physiologically”. *Her. Russ. Acad. Sci.*, 2017, vol. 87, pp. 93–99. <https://doi.org/10.1134/S1019331617010105>
3. Lebedeva N.N., Mayorova L.A., Karimova E.D., Kazimirova E.A. Konnektomika: neyrofiziologiya, dostizheniya i perspektivy [The Connectomics: Neurophysiology, Achievements and Perspectives]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk*, 2015, vol. 46, no. 3, pp. 17–45.
4. Horwitz B. The Elusive Concept of Brain Connectivity. *Neuroimage*, 2019, vol. 19, no. 2, pt. 1, pp. 466–470. [https://doi.org/10.1016/s1053-8119\(03\)00112-5](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(03)00112-5)
5. Hatfield B.D., Haufler A.J., Hung T.M., Spalding T.W. Electroencephalographic Studies of Skilled Psychomotor Performance. *J. Clin. Neurophysiol.*, 2004, vol. 21, no. 3, pp. 144–156. <https://doi.org/10.1097/00004691-200405000-00003>
6. Napalkov D.A., Shishkin S.L., Kolikoff M.B., Salykhova R.N., Ratmanova P.O., Shulgovsky V.V. Paradoxical Increase of the Alpha Rhythm During the Aiming in Marksmen: Component Analysis. *Int. J. Psychophysiol.*, 2008, vol. 69, no. 3, p. 256. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.05.172>
7. Taha Z., Mat-Jizat J.A., Omar S.F.S., Suwarganda E. Correlation Between Archer's Hands Movement While Shooting and Its Score. *Procedia Eng.*, 2016, vol. 147, pp. 145–150. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.204>
8. Vodolazhsky G., Akhmetov S., Aleksanyants G., Vodolazhskaya M. Fragment of Ontogenetic Dynamics of Player Performance During Esports Training. *Fizicheskaya kul'tura, sport – nauka i praktika*, 2022, no. 2, pp. 70–75 (in Russ.).
9. Trembach A.B., Shestakov O.I., Ponomareva T.V., Minikhanova E.R. Biological Markers for Targeted Action Timing and Phasing in Archery. *Theory Pract. Phys. Cult.*, 2018, no. 10, pp. 79–81 (in Russ.).
10. Fedotova O.I., Ivashko S.G. Uchet psikhofiziologicheskikh osobennostey strelkov iz luka v protsesse tekhnicheskoy podgotovki [Taking into Account the Psychophysiological Characteristics of Archers in the Process of Technique Training]. Baykovskiy Yu.V., Moskvina V.A. (eds.). *Rudikovskie chteniya* [Rudik Readings]. Moscow, 2019, pp. 272–275.

11. Vinogradova O.S. *Gippokamp i pamyat'* [Hippocampus and Memory]. Moscow, 1975. 333 p.
12. Vodolazhskaya M.G., Vodolazhskiy G.I. Vozrastnaya dinamika elektroentsefalograficheskikh parametrov zdorovykh lyudey s raznym urovnem agressivnosti [Age Dynamics of Electroencephalograph Parameters of Healthy Persons with Different Levels of Aggression]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 4: Estestvenno-matematicheskie i tekhnicheskie nauki*, 2020, no. 1, pp. 34–42.
13. Vodolazhskaya M.G., Vodolazhskiy G.I., Filippov Yu.A., Sokolova N.I., Kotlo S.A. Psychophysiological Aspects That Define the Health-Enhancing Potential of Esports. *Hum. Sport Med.*, 2023, vol. 23, no. 1, pp. 59–65 (in Russ.).
14. Vodolazhskaya M.G., Vodolazhskiy G.I. Vozrastnye osobennosti elektroentsefalograficheskikh korrelyatov tvorcheskogo interesa [Age Peculiarities of Electroencephalographic Correlations of Creative Interest]. *Psikhologiya tvorchestva i odarennosti* [The Psychology of Creativity and Giftedness]. Moscow, 2018, pp. 257–261.
15. Kashina Yu.V., Pokrovskiy V.M., Cherednik I.L. The Role of Serotonergic Mediator System Genes in the Formation of Human Regulatory and Adaptive Capabilities. *J. Med. Biol. Res.*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 23–33. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z126>
16. Taleeva A.I. *Rekomendatsii po otsenke i prognozirovaniyu uspekhov kognitivnoy deyatel'nosti v usloviyakh ogranichennogo vremeni* [Recommendations for Assessing and Predicting the Success of Cognitive Activity with a Time Limit]. Arkhangelsk, 2022. 24 p.
17. Zohdi H., Scholkmann F., Wolf U. Individual Differences in Hemodynamic Responses Measured on the Head Due to a Long-Term Stimulation Involving Colored Light Exposure and a Cognitive Task: A SPA-fNIRS Study. *Brain Sci.*, 2021, vol. 11, no. 1. Art. no. 54. <https://doi.org/10.3390/brainsci11010054>
18. Vodolazhskaya M.G., Vodolazhskiy G.I. Gender Differences in Weather Sensitivity of Normal Adult People Detected in Rheoencephalograms and Electroencephalograms. *Hum. Physiol.*, 2016, vol. 42, no. 7, pp. 793–798. <https://doi.org/10.1134/S0362119716070203>
19. Vodolazhskiy G.I., Botasheva T.L., Zavodnov O.P., Rezenkova O.V., Vodolazhskaya M.G. Weather Sensitivity of Athletes with Different Levels of Aggression. *Hum. Sport Med.*, 2021, vol. 21, no. 3, pp. 46–55 (in Russ.).
20. Cherenkova L., Berdichevskaya E. Central Regulation of Postural Stability of Skilled Canoeists Using a Left-Hand Stance. *Fizicheskaya kul'tura, sport – nauka i praktika*, 2018, no. 1, pp. 69–75 (in Russ.).
21. Haier R.J., Karama S., Leyba L., Jung R.E. MRI Assessment of Cortical Thickness and Functional Activity Changes in Adolescent Girls Following Three Months of Practice on a Visual-Spatial Task. *BMC Res. Notes*, 2009, vol. 2. Art. no. 174. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-2-174>
22. Grigoriev P.E., Galchenko A.S., Poskotinova L.V. Relationship of Parameters of the Impulsivity – Reflexivity Cognitive Style with Propensity to Internet Addiction in High School Students. *Bull. Sib. Med.*, 2022, vol. 21, no. 2, pp. 27–32. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2022-2-27-32>

*Поступила в редакцию 15.05.2023 / Одобрена после рецензирования 21.12.2023 / Принята к публикации 25.01.2024.*  
*Submitted 15 May 2023 / Approved after reviewing 21 December 2023 / Accepted for publication 25 January 2024.*





Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 2. С. 211–220.  
*Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 211–220.

Научная статья  
УДК 616.127:616-08-07  
DOI: 10.37482/2687-1491-Z188

## Оценка кровоснабжения миокарда методом доплерографии коронарных артерий у пациентов после пантовой бальнеотерапии

Виктор Александрович Авхименко\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2178-601X>  
Александр Борисович Тривоженко\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6449-9523>

\*Сибирский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства (Северск, Томская область, Россия)

**Аннотация.** Цель исследования – объективная оценка эффективности восстановительного лечения методом бальнеотерапии продуктами пантового оленеводства. **Материалы и методы.** Для достижения поставленной цели использовалось доплеровское исследование коронарного кровотока. В качестве эталонного сосуда выбрана передняя нисходящая артерия, которая является наиболее крупным ответвлением левой коронарной артерии, имеет многочисленные собственные ветви, снабжающие основную часть функционально активного миокарда левого желудочка. Обследованы группы пациентов, в план восстановительного лечения которых входила пантовая бальнеотерапия: 1) 48 чел. с артериальной гипертонией II степени; 2) 49 чел. с ишемической болезнью сердца после баллонной ангиопластики и стентирования коронарных артерий. Помимо курсовой бальнеотерапии, пациенты первой группы получали стандартную гипотензивную терапию ингибиторами ангиотензинпревращающего фермента, бета-блокаторами и тиазидовыми диуретиками, пациенты второй группы принимали антикоагулянты непрямого действия, бета-блокаторы и статины нового поколения. До и после завершения лечебных процедур каждому пациенту измеряли пиковую скорость, а также интеграл кровотока в проксимальном сегменте передней нисходящей артерии. **Результаты.** Большинство пациентов обеих групп завершили бальнеотерапевтический курс на фоне реакции спокойной и повышенной активации высокого уровня реактивности. Как показали наблюдения, пациенты хорошо переносили назначенное лечение. Изначально пиковая скорость и интеграл кровотока регистрировались в диапазонах 28–45 см/с (среднее – 36,9±4,4 см/с) и 9–14 см (среднее – 11,00±1,25 см) соответственно, без межгрупповых различий. После комплексного лечения, включавшего пантовую бальнеотерапию, данные показатели измерялись в пределах 39–52 см/с (среднее – 45,7±3,5 см/с) и 11–16 см (среднее – 14,0±1,3 см) соответственно, также без межгрупповых различий. Рост пиковой скорости кровотока оказался статистически достоверным ( $p < 0,001$ ). Таким образом, бальнеотерапия инновационными продуктами пантового оленеводства в комплексе с медикаментозным лечением и лечебной физкультурой, предположительно, способствовала улучшению коронарного кровообращения у пациентов со стабильной ишемической болезнью сердца и артериальной гипертонией.

**Ответственный за переписку:** Александр Борисович Тривоженко, адрес: 636035, Томская обл., г. Северск, ул. Мира, д. 4; e-mail: borisah@yandex.ru

**Ключевые слова:** передняя нисходящая коронарная артерия, доплер кровотока, пантовая бальнеотерапия, ишемическая болезнь сердца, артериальная гипертензия, восстановительное лечение

**Для цитирования:** Авхименко, В. А. Оценка кровоснабжения миокарда методом доплерографии коронарных артерий после пантовой бальнеотерапии / В. А. Авхименко, А. Б. Тривоженко // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 211-220. – DOI 10.37482/2687-1491-Z188.

Original article

## Assessment of Myocardial Blood Supply Using Doppler Sonography in Patients After Balneotherapy with Velvet Antler Products

Viktor A. Avkhimenko\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2178-601X>  
Aleksandr B. Trivozhenko\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6449-9523>

\*Siberian Federal Scientific and Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency (Seversk, Tomsk Region, Russia)

**Abstract.** The **purpose** of this study was to objectively assess the effectiveness of rehabilitation using balneotherapy with velvet antler products. **Materials and methods.** Doppler assessment of coronary artery blood flow was performed. As a reference vessel, we chose the anterior descending artery, which is the largest branch of the left coronary artery and has its own numerous branches providing blood supply to the main part of the functionally active left ventricle myocardium. We studied the following groups of patients, whose rehabilitation included balneotherapy with velvet antler products: 1) 48 subjects with stage 2 arterial hypertension and 2) 49 subjects with coronary artery disease after balloon angioplasty and coronary artery stenting. In addition to balneotherapy, group 1 received standard hypotensive therapy with angiotensin-converting-enzyme inhibitors, beta blockers and thiazide diuretics, while group 2 was given indirect anticoagulants, beta blockers and new generation statins. Before and upon completing the treatment course, each patient's peak blood flow velocity was measured, as well as blood flow integral in the proximal segment of the anterior descending artery. **Results.** After the balneotherapy course, most patients in both groups showed quiet and increased activation of high reactivity level. According to our observations, patients tolerated the treatment well. Initially, peak blood flow velocity and blood flow integral were recorded within the range of 28–45 cm/s (mean:  $36.9 \pm 4.4$  cm/s) and 9–14 cm (mean:  $11.00 \pm 1.25$  cm), respectively, without between-group differences. After the multimodality treatment that included balneotherapy with velvet antler products, these parameters were recorded within the range of 39–52 cm/s (mean:  $45.7 \pm 3.5$  cm/s) and 11–16 cm (mean:  $14.0 \pm 1.3$  cm), respectively, with no between-group differences either. The increase in peak blood flow velocity was statistically significant ( $p < 0.001$ ). Thus, balneotherapy using innovative velvet antler products combined with medication treatment and physical therapy, presumably, contributed to improving coronary blood circulation in patients with stable ischemic heart disease and arterial hypertension.

**Keywords:** anterior descending coronary artery, blood flow Doppler, balneotherapy with velvet antler products, coronary artery disease, arterial hypertension, rehabilitation

---

**Corresponding author:** Aleksandr Trivozhenko, address: ul. Mira 4, Seversk, 636035, Tomskaya obl., Russia; e-mail: borisah@yandex.ru

**For citation:** Avkhimenko V.A., Trivozhenko A.B. Assessment of Myocardial Blood Supply Using Doppler Sonography in Patients After Balneotherapy with Velvet Antler Products. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 211–220. DOI: 10.37482/2687-1491-Z188

Несомненные успехи отечественного здравоохранения в снижении заболеваемости ишемической болезнью сердца (ИБС) и смертности от ее осложнений требуют дальнейшего развития. Медикаментозное лечение и хирургическая баллонная ангиопластика с последующим стентированием коронарных артерий (КА) все чаще дополняются новыми методами реабилитации пациентов с ИБС. Благодаря государственной поддержке курортологии современные медицинские учреждения данного типа существенно нарастили терапевтический потенциал. Недавно разработанная бальнеотерапия продуктами пантового оленеводства с экстрагированием субстрата пантов электродинамическим методом на установке электроимпульсной экстракции доказала свою эффективность в лечении гипертонической болезни [1]. Целесообразно оценить воздействие данной технологии на состояние кровоснабжения сердечной мышцы, в т. ч. и у больных хронической ИБС I–II функциональных классов, и диагностически определить предположительную эффективность обозначенного восстановительного лечения.

Для первичной диагностики ИБС все чаще применяется доплеровское исследование коронарного кровотока и коронарного резерва. Современное развитие ультразвуковой медицинской техники позволяет не только визуализировать основные сегменты магистрального венечного русла, но и выполнять измерения скоростных показателей миокардиальной перфузии [2–4]. Вполне очевидно, что данная методика может быть интегрирована в процесс инструментального аудита при комплексной оценке действия лекарственных препаратов, хирургической реваскуляризации миокарда и различных видов восстановительного лечения. В качестве эталонного коронарного сосуда может рассматриваться передняя нисходящая артерия (ПНА), которая является наиболее крупным ответвлением левой КА, имеет многочисленные собственные ветви,

снабжающие основную часть функционально активного миокарда левого желудочка (ЛЖ).

На основании вышеизложенных аргументов была сформулирована цель исследования – методом доплерографии КА оценить кровоснабжение миокарда у пациентов после бальнеотерапии продуктами пантового оленеводства.

**Материалы и методы.** На базе Сибирского федерального научно-клинического центра Федерального медико-биологического агентства (СибФНКЦ ФМБА) обследованы 97 пациентов, в т. ч. 62 мужчины и 35 женщин, в возрасте от 38 до 74 лет (среднее –  $56,2 \pm 8,4$  года), которые были разделены на группы по критерию заболевания КА: 1) 48 чел. без признаков ИБС (28 мужчин и 20 женщин), нуждавшиеся в коррекции артериальной гипертонии (АГ); 2) 49 чел. с ИБС (34 мужчины и 15 женщин) после баллонной ангиопластики и стентирования КА, поступившие в Томский центр медицинской реабилитации в среднем через 3 мес. после выписки из стационара для прохождения реабилитации. Обе группы были сопоставимого возраста, участники не имели сопутствующих заболеваний, противопоказаний для бальнеотерапии и других физиотерапевтических процедур. Исследование выполнялось с соблюдением этических норм, пациентами были подписаны информированные согласия в форме, разработанной юридическим отделом СибФНКЦ ФМБА и утвержденной его генеральным директором.

Все обследуемые проходили курсовую бальнеотерапию, пациенты первой группы также получали стандартную гипотензивную терапию ингибиторами ангиотензинпревращающего фермента, бета-блокаторами и тиазидовыми диуретиками, а пациенты второй – принимали антикоагулянты непрямого действия, бета-блокаторы и статины нового поколения [5]. Все обследуемые лица характеризовались стабильной гемодинамикой с приемлемым уровнем офисного артериального давления (АД).

Кроме всего вышеперечисленного, представители обеих групп посещали занятия по лечебной физической культуре (ЛФК) в виде стандартной кардиологической лечебной гимнастики.

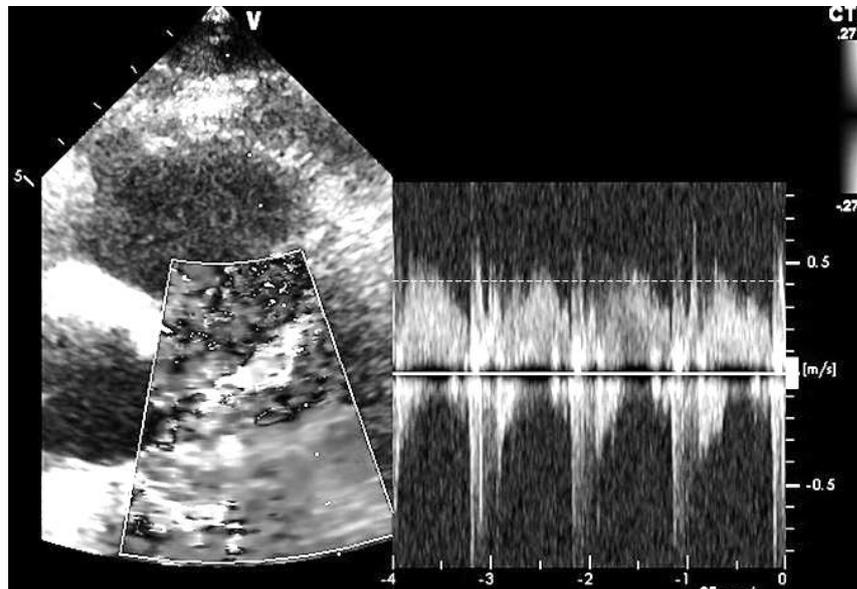
В исследование не вошли пациенты с недостаточностью кровообращения II и более функционального класса по функциональной классификации Нью-Йоркской ассоциации сердца (НУНА), серьезными нарушениями ритма, болезнями клапанного аппарата, лица, перенесшие крупноочаговые инфаркты миокарда, больные АГ III степени.

С целью оценки степени функционирования неспецифических адаптационных механизмов определялись тип реакции адаптации и уровень неспецифической реактивности по данным клинического анализа крови (лейкоцитарной формуле) и специального опросника [6].

Исследование венечных артерий каждого пациента в процессе выполнения стандартной эхокардиографии (эхоКГ) осуществлялось дважды:

до и после завершения курсовой бальнеотерапии. Поиск магистральных сосудов, обеспечивающих кровоснабжение миокарда, проводился в позициях, отображающих проксимальные сегменты левой и правой КА, а также переднюю и заднюю межжелудочковые борозды [7]. Сканирование дополнялось специальной настройкой цветовой доплеровской карты: устанавливался низкий предел Найквиста, повышалась чувствительность, оптимизировались частота повторения кадров и частота ультразвукового излучателя.

В обнаруженных КА проводились спектральные регистрации кровотока, измерялась его пиковая скорость ( $V_p$ ) в проксимальных и дистальных сегментах ПНА и правой коронарной артерии (ПрКА), в режиме ручной трассировки вычислялся интеграл линейного потока крови (VTI) в проксимальном сегменте ПНА. С учетом специфических особенностей коронарного кровотока, а именно малого объема систолического компонента, измерение пиковой скорости выполнялось в его диастолическом спектре (рис. 1).



**Рис. 1.** Измерение пиковой скорости коронарного кровотока в проксимальном сегменте ПНА в процессе спектрального доплеровского исследования кровотока ( $V_p = 0,43$  см/с)

**Fig. 1.** Measurement of peak coronary blood flow velocity in the proximal anterior descending artery during spectral Doppler sonography ( $V_p = 0.43$  cm/s)

Аппаратное оснащение включало ультразвуковой сканер GE Healthcare VIVID E9 с интегрированными кардиологическими и коронарными программами, оснащенный электронно-фазированным секторным датчиком M5S-D, а также компьютерный электрокардиограф «Альтон 06».

Статистическая обработка результатов проводилась с применением стандартных методов в программе MedCalc v20. Данные представлялись с указанием минимальных и максимальных значений в выборках, а также генеральных средних и стандартных отклонений ( $M \pm SD$ ). Проверка гипотезы о различии двух независимых выборок осуществлялась с использованием  $U$ -критерия Манна–Уитни. В каждом случае рассчитывался уровень статистической значимости ( $p$ ), нулевые гипотезы отвергались при  $p < 0,05$ .

**Результаты.** Изучение состояния механизмов неспецифической адаптации до начала приема ванн показало, что 26 пациентов первой группы (54 %) и 20 пациентов второй группы (40 %) имели реакции переактивации, свидетельствующие о напряженности и десинхронизации работы адаптационных подсистем организма. Ванны с электроимпульсным экстрактом ванн способствовали снижению частоты выявления данного феномена, что позволяет говорить о повышении адаптационных резервных возможностей. Большинство пациентов обеих групп завершило бальнеотерапевтический курс на фоне реакции спокойной и повышенной активации высокого уровня реактивности. Как показали наблюдения, пациенты хорошо переносили назначенное лечение. В процессе приема ванн отмечалось уменьшение частоты выявления головных болей, слабости и утомляемости.

По итогам первичной эхоКГ отношение массы миокарда, измеренной в соответствии с международными рекомендациями, к площади поверхности тела составило 70–135 г/м<sup>2</sup> (104,2±15,3 г/м<sup>2</sup>). При этом у 19 чел. первой группы (45 %) данный показатель оказался на уровне 105–135 г/м<sup>2</sup>, обозначив незначительную гипертрофию ЛЖ.

В совокупности у обследуемых лиц переднезадний диаметр левого предсердия находился в диапазоне 32–55 мм (40,0±4,2 мм), у 22 чел. первой группы (46 %) определялась несущественная дилатация измеряемой камеры в рамках умеренного гипертонического ремоделирования левых отделов сердца.

Интегральная систолическая функция ЛЖ, вычисленная фундаментальным методом с расчетом фракции выброса (ФВ), у всех пациентов общей выборки была признана удовлетворительной (ФВ = 68,0±7,8 %). Давление заклинивания просматривалось в диапазоне 8–16 мм рт. ст. (11,8±2,1 мм рт. ст.), за исключением случаев застойной легочной гипертензии. Нарушение диастолической функции в виде пролонгированной релаксации с напряженной систолой левого предсердия регистрировалось у 66 пациентов, 68 % от всей выборки. Кроме этого, у 25 обследуемых (26 %) определялась минимальная митральная регургитация, обусловленная функциональным нарушением герметичности клапана.

Ультразвуковая доплерография КА была выполнена всем 97 пациентам с тщательным сканированием зон ориентировочного прохождения сосудов, ангуляциями и минимальными перемещениями апертуры датчика. Однако полностью визуализировать ПНА удалось лишь у 85 чел. (87 %), остальные 12 исследований (8 наблюдений в первой группе (16 %) и 4 во второй (8 %)) оказались неудачными, т. к. ПНА обнаруживалась лишь в виде очень коротких сегментов на проксимальном или дистальном уровне.

Визуализация ПрКА оказалась еще более проблематичной из-за сложной геометрии сосуда и ощутимого удаления нижних отделов сердца от апертуры датчика, короткие участки проксимальных сегментов ПрКА и дистальные сегменты в виде задней межжелудочковой артерии были визуализированы лишь у 56 чел. (58 %).

Оценивая скоростные параметры кровотока в ПНА, мы выявили, что  $V_p$  в проксимальных сегментах регистрировалась в диапазоне

28–45 см/с ( $36,9 \pm 4,4$  см/с). В дистальных сегментах данный показатель был ниже и находился в пределах 20–40 см/с ( $28,7 \pm 4,3$  см/с). При этом устанавливались достоверные различия, обусловленные физиологическим демпингом ( $p < 0,001$ ). Интеграл кровотока в проксимальных сегментах ПНА определялся в диапазоне 9–14 см ( $11,00 \pm 1,25$  см).

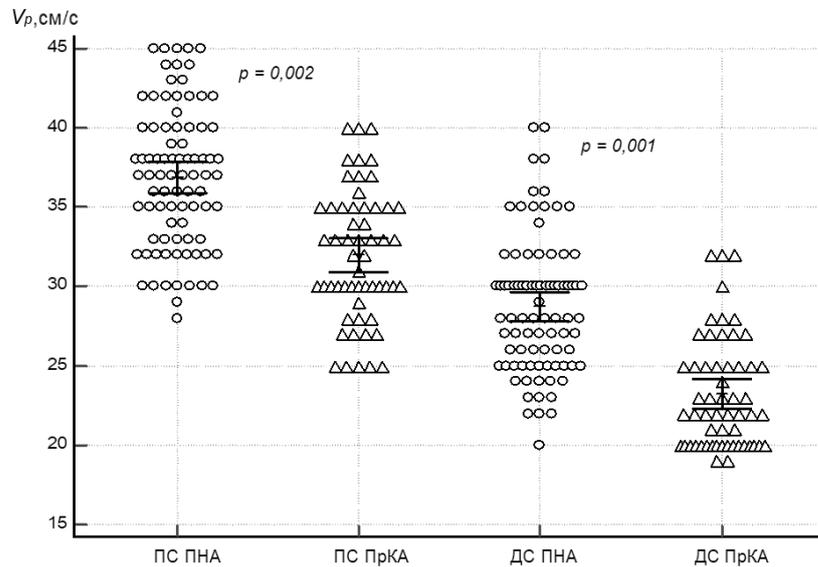
При измерении спектра кровотока в ПрКА обнаружено, что  $V_p$  в проксимальных участках находилась в пределах 25–42 см/с ( $32,0 \pm 4,4$  см/с). В дистальных сегментах данный показатель был ниже, измерялся в диапазоне 18–28 см/с ( $22,0 \pm 5,3$  см/с). При сравнении значений скоростных параметров кровотока между ПНА и ПрКА кровоснабжение передних, перегородочных и апи-кальных отделов ЛЖ закономерно оказалось мощнее, чем кровоснабжение нижних отделов сердца. Непараметрический  $U$ -критерий продемонстрировал более высокие значения пиковой скорости кровотока в ПНА как в проксимальных ( $p = 0,002$ ), так и в дистальных ( $p = 0,001$ ) сосудистых сегментах (рис. 2).

С учетом итога первого измерительного этапа, а именно проблематичной визуализации ПрКА, дальнейшая оценка предположительной эффективности инновационной бальнеотерапии проводилась лишь путем изучения скоростно-интегральных параметров кровотока в ПНА, которая позиционировалась в качестве эталонного коронарного сосуда.

В процессе контрольного исследования у пациентов первой группы были зафиксированы следующие параметры ПНА:  $V_p$  – в пределах 39–52 см/с ( $45,7 \pm 3,5$  см/с),  $VTI$  – в диапазоне 11–16 см ( $14,0 \pm 1,3$  см). Аналогичные показатели второй группы были в пределах 38–50 см/с ( $44,5 \pm 3,7$  см/с) и 10–16 см ( $13,5 \pm 1,7$  см) соответственно.

Рост пиковой скорости кровотока оказался статистически достоверным как в проксимальных, так и в дистальных сегментах ПНА ( $p < 0,001$ ), а межгрупповых различий данных показателей коронарного кровотока не отмечалось ( $p = 0,19$  и  $p = 0,27$  соответственно).

Таким образом, можно сделать вывод, что обозначенная бальнеотерапия в комплексе с



**Рис. 2.** Сравнение пиковой скорости кровотока в проксимальных (ПС) и дистальных (ДС) сегментах ПНА и ПрКА в общей группе пациентов до комплексного восстановительного лечения

**Fig. 2.** Comparison of peak blood flow velocity in the proximal and distal segments of the anterior descending artery and right coronary artery in the total sample before comprehensive rehabilitation

медикаментозной терапией позитивным образом отразилась на кровоснабжении сердечной мышцы представителей обеих групп. Увеличение пиковой скорости кровотока в проксимальных и дистальных сегментах ПНА в общей когорте пациентов представлено на рис. 3.

эффективности пантового лечения, состояла из соразмерного количества пациентов с указанными заболеваниями. Вместе с тем сама конструкция поисковой научно-исследовательской работы без рандомизации объекта и плацебо-контроля не предполагала строгого клинического иссле-

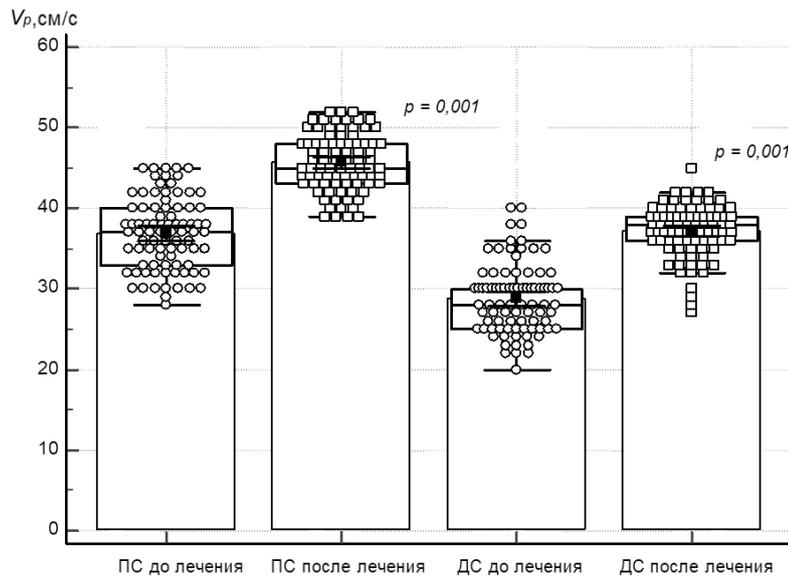


Рис. 3. Увеличение пиковой скорости кровотока в проксимальных и дистальных сегментах ПНА в общей группе пациентов после комплексного восстановительного лечения, включающего пантовую бальнеотерапию

Fig. 3. Increase in peak blood flow velocity in the proximal and distal segments of the the anterior descending artery in the total sample after comprehensive rehabilitation including balneotherapy with velvet antler products

**Обсуждение.** Пантовая бальнеотерапия применяется в курортологии и физиотерапии с 1988 года, но ее широкое распространение всегда сдерживалось относительно высокой себестоимостью сырья. Новая методика электроимпульсной экстракции биологически активных веществ позволила увеличить доступность обозначенных лечебных процедур в качестве компонента восстановительного лечения пациентов с различными нарушениями центральной и региональной гемодинамики. К многочисленным показаниям для бальнеотерапии относятся хроническая стабильная ИБС невысокого функционального класса и АГ I–II степени [8, 9]. Группа пациентов, выбранных для оценки эф-

дования применяемого метода бальнеотерапии, ее цель заключалась в предположительной оценке комплексного лечения, включающего ЛФК и пантовую терапию.

Несомненным ограничением лечебно-диагностического процесса в учреждениях курортологии и физиотерапии является недостаточная объективизация результатов восстановительного лечения. Динамическая оценка итогов реабилитации зачастую базируется на субъективной оценке, минимальных наборах клинико-лабораторных данных и устаревших методах инструментальной диагностики. Многочисленные опросники, индексированные шкалы самонаблюдений и физикальных осмо-

тров, традиционные способы вычисления реабилитационных потенциалов, основанные на антропометрии и частотно-прессорных характеристиках кровообращения, сегодня выглядят устаревшими. С учетом современной тенденции внедрения визуализирующих технологий применение фундаментальной функциональной диагностики, базирующейся на регистрации электрофизиологических потенциалов, динамической электрокардиографии и тонометрии, представляется немаловажным, но недостаточным компонентом диагностического аудита.

Исследование продемонстрировало высокую степень визуализации проксимального сегмента ПНА (не менее 85 %), что позволяет интегрировать методику в процесс оценки эффективности восстановительного лечения. С учетом наиболее высоких скоростных показателей, зафиксированных в проведенном исследовании, обозначенная магистраль представляется эталонным сосудистым сегментом, характеризующим общее состояние региональ-

ного коронарного кровоснабжения, что согласуется с опубликованными ранее данными [2, 3, 7, 10].

Результаты контрольной доплерографии кровотока в ПНА показали предположительный позитивный эффект в нормализации коронарного кровоснабжения с увеличением его объема, который, как известно, пропорционален пиковой скорости диастолического компонента кровотока в ПНА.

Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы:

1. Методика доплеровского измерения кровотока в ПНА интегрируется в процесс оценки эффективности восстановительного лечения нарушений кровоснабжения миокарда.

2. Бальнеотерапия инновационными продуктами пантового оленеводства в комплексе с медикаментозным лечением, предположительно, способствует улучшению коронарного кровообращения у пациентов со стабильной ИБС и АГ.

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

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

## Список литературы

1. Смирнова И.Н., Тонкошкурова А.В., Антипова И.И., Левицкая Т.Е. Эффективность наружного применения электроимпульсного экстракта пантов марала у пациентов с артериальной гипертонией // *Соврем. вопр. биомедицины*. 2021. Т. 5, № 4(17). Ст. № 5. [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2021\\_05\\_04\\_5](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2021_05_04_5)
2. Боценко А.А., Врублевский А.В., Карпов Р.С. Динамическое трансторакальное ультразвуковое исследование резерва коронарного кровотока при оценке эффективности чрескожных вмешательств в передней нисходящей и правой коронарных артериях // *Кардиология*. 2016. Т. 56, № 6. С. 18–25.
3. Каменских М.С., Загatina А.В., Журавская Н.Т., Федотов Ю.Н., Шматов Д.В. Роль реваскуляризации миокарда в улучшении прогноза пациентов с измененным коронарным кровотоком по данным трансторакального ультразвукового исследования // *Сиб. мед. журн.* 2019. Т. 34, № 1. С. 54–60. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-1-54-60>
4. Агарков М.В., Воробьевский Д.А., Осадчий А.М., Павлова Н.Е., Власенко С.В., Козлов К.Л., Мамаева О.П., Хильчук А.А., Щербак С.Г., Сарана А.М., Лебедева С.В., Белокопытов И.Ю., Шендеров С.В., Курникова Е.А. Трансторакальное ультразвуковое доплеровское исследование передней межжелудочковой артерии как альтернатива определения мгновенного безволнового соотношения при чрескожном коронарном вмешательстве у пациентки пожилого возраста // *Трансляц. медицина*. 2018. Т. 5, № 1. С. 53–59.

5. Ripp T.M., Mordovin V.F. Рекомендации Европейского общества кардиологов и Европейского общества артериальной гипертензии 2018 года о новых методах лечения гипертензий – “DEVICE-BASED TREATMENT” // Артер. гипертензия. 2018. Т. 24, № 6. С. 623–627. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2018-24-6-623-627>
6. Шихлярова А., Жукова Г., Мащенко Н. Некоторые рекомендации и примеры по практическому проведению активационной терапии (по материалам работ Л.Х. Гаркави, Е.Б. Квакиной, М.А. Уколовой) // Кардиометрия. 2015. Вып. 7. С. 57–62. <https://doi.org/10.12710/cardiometry.2015.7.6469>
7. Тривоженко А.Б., Ярошук С.А., Стручков П.В. Сравнительная эффективность велоэргометрической стресс-эхокардиографии и коронародопплерографии в диагностике скрытой коронарной недостаточности // Регионар. кровообращение и микроциркуляция. 2015. Т. 14, № 1(53). С. 32–40.
8. Шакула А.В., Пушкарев Е.П., Черенкова М.А. Применение панто-магниевого ванн в комплексной медицинской реабилитации больных с метаболическим синдромом (обзор) // Вестн. восстанов. медицины. 2014. № 5(63). С. 57–62.
9. Соболев А.В., Кузнецов В.М., Шакула А.В., Лихацкий Е.Ю. Опыт применения пантовых ванн в программах санаторно-курортного лечения больных ишемической болезнью сердца и постковидным синдромом в Звенигородском военном санатории // Вопр. курортологии, физиотерапии и лечеб. физ. культуры. 2021. Т. 98, № 3-2. С. 178–179. <https://doi.org/10.17116/kurort20219803221>
10. Zagatina A., Zhuravskaya N., Kamenskikh M., Shmatov D., Sayganov S., Rigo F. Role of Coronary Flow Velocity in Predicting Adverse Outcome in Clinical Practice // Ultrasound Med. Biol. 2018. Vol. 44, № 7. P. 1402–1410. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2018.03.021>

## References

1. Smirnova I.N., Tonkoshkurova A.V., Antipova I.I., Levitskaya T.E. Effektivnost' naruzhnogo primeneniya elektroimpul'snogo ekstrakta pantov marala u patsientov s arterial'noy gipertoniey [Effectiveness of External Use of Electropulse Extract of Maral Velvet Antlers in Patients with Arterial Hypertension]. *Sovremennyye voprosy biomeditsiny*, 2021, vol. 5, no. 4. Art. no. 5. [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2021\\_05\\_04\\_5](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2021_05_04_5)
2. Boshchenko A.A., Vrublevskiy A.V., Karpov R.S. Dinamicheskoe transtorakal'noe ul'trazvukovoe issledovanie rezerva koronarnogo krovotoka pri otsenke effektivnosti chreskozhykh vmeshatel'stv v peredney niskhodyashchey i pravoy koronarnykh arteriyakh [Serial Assessment of Transthoracic Coronary Flow Reserve as Method of Assessing Efficacy of Intracoronary Intervention in the Left Anterior and Posterior Descending Arteries]. *Kardiologiya*, 2016, vol. 56, no. 6, pp. 18–25. <https://doi.org/10.18565/cardio.2016.6.18-25>
3. Kamenskikh M.S., Zagatina A.V., Zhuravskaya N.T., Fedotov Y.N., Shmatov D.V. The Role of Myocardial Revascularization in the Survival of Patients with Altered Coronary Blood Flow Detected by Transthoracic Ultrasound. *Sib. Med. J.*, 2019, vol. 34, no. 1, pp. 54–60 (in Russ.). <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-1-54-60>
4. Agarkov M.V., Vorobeviskii D.A., Osadchii A.M., Pavlova N.E., Vlasenko S.V., Kozlov K.L., Mamaeva O.P., Khilchuk A.A., Sherbak S.G., Sarana A.M., Lebedeva S.V., Belokopytov I.Y., Shenderov S.V., Kurnikova E.A. Transthoracic Color (Dopler) Ultrasound of Left Anterior Descending Artery as Alternative to Immediate Instant Wave-Free Ratio for Percutaneous Coronary Intervention in Elderly Patients. *Transl. Med.*, 2018, vol. 5, no. 1, pp. 53–59 (in Russ.).
5. Ripp T.M., Mordovin V.F. 2018 ESC/ESH Guidelines About New Methods of Treatment of Hypertension – “DEVICE-BASED TREATMENT”. *Arter. Hypertens.*, 2018, vol. 24, no. 6, pp. 623–627 (in Russ.). <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2018-24-6-623-627>
6. Shikhlyarova A.I., Zhukova G.V., Mashchenko N.M. Some Recommendations and Examples in the Activation Therapy Practical Implementation (According to L.K. Garkavi, E.B. Kvakina and M.A. Ukolova's Research Studies). *Cardiometry*, 2015, no. 7, pp. 64–69. <https://doi.org/10.12710/cardiometry.2015.7.6469>

7. Trivozhenko A.B., Yaroshchuk S.A., Struchkov P.V. Sravnitel'naya effektivnost' veloergometricheskoy stress-ekkhokardiografii i koronarodopplerografii v diagnostike skrytoy koronarnoy nedostatochnosti [Comparative Efficiency of Bicycle Stresses-Echocardiography and Dopplerography of Coronary Arteries in Diagnosis of the Latent Coronary Insufficiency]. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya*, 2015, vol. 14, no. 1, pp. 32–40.

8. Shakula A.V., Pushkarev E.P., Cherenkova M.A. Primenenie panto-magnievyykh vann v kompleksnoy meditsinskoy reabilitatsii bol'nykh s metabolicheskim sindromom (obzor) [Application of Pant-Magnesium Baths in Complex Medical Rehabilitation of Patients with Metabolic Syndrome (Review)]. *Vestnik vosstanovitel'noy meditsiny*, 2014, no. 5, pp. 57–62.

9. Sobolev A.V., Kuznetsov V.M., Shakula A.V., Likhatskiy E.Yu. Opyt primeneniya pantovykh vann v programmakh sanatorno-kurortnogo lecheniya bol'nykh ishemicheskoy bolezn'yu serdtsa i postkovidnym sindromom v Zvenigorodskom voennom sanatorii [Experience of Using Antler Baths in Resort Treatment Programmes for Patients with Coronary Heart Disease and Post-Covid Syndrome at Zvenigorod Military Recreational Facility]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoy fizicheskoy kul'tury*, 2021, vol. 98, no. 3-2, pp. 178–179. <https://doi.org/10.17116/kurort20219803221>

10. Zagatina A., Zhuravskaya N., Kamenskikh M., Shmatov D., Sayganov S., Rigo F. Role of Coronary Flow Velocity in Predicting Adverse Outcome in Clinical Practice. *Ultrasound Med. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 7, pp. 1402–1410. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2018.03.021>

*Поступила в редакцию 17.04.2023 / Одобрена после рецензирования 06.12.2023 / Принята к публикации 25.01.2024.  
Submitted 17 April 2023 / Approved after reviewing 6 December 2023 / Accepted for publication 25 January 2024.*



Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 2. С. 221–228.  
*Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 221–228.

Научная статья  
УДК [616-092.11+612.1]:612.062  
DOI: 10.37482/2687-1491-Z183

## Механизмы поражения соединительной ткани при фибромускулярной дисплазии и атеросклерозе: возможности визуализации

Анна Юрьевна Бырина\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5385-4726>  
Олег Алексеевич Мальков\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0895-2079>

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

**Аннотация.** Достоверно известно о мультифокальности, большой распространенности и отсутствии единого мнения об этиопатогенезе процессов атеросклероза и фибромускулярной дисплазии соединительной ткани в популяции человека. Однако остаются неясными вопросы коморбидности и механизмы поражения соединительной ткани при данных патологиях. **Цель** исследования – определить ведущие причины патологического стеноза артерий у пациентов с клиническими признаками сосудистых нарушений. **Материалы и методы.** Проведена компьютерная томографическая ангиография брахицефальных и интракраниальных сосудов 67 пациентам (средний возраст – 51,12±13,12 года), имеющим клинические признаки сосудистых нарушений, после неврологического или нейрохирургического лечения в Сургутской клинической травматологической больнице. Для оценки внутренней стигматизации изучаемых процессов разработаны авторские шкалы. **Результаты.** Данные авторских шкал отчетливо свидетельствуют о влиянии генетически детерминированного процесса фибромускулярной дисплазии на проявления атеросклероза. Наиболее частые сочетания стигм фибромускулярной дисплазии с атеросклеротическим поражением, выявленные в ходе работы, могут служить маркерами тяжести этих патологий. Результаты исследования позволяют судить о фибромускулярной дисплазии и атеросклерозе в контексте морфофункциональных болезней соединительной ткани. Парадоксально, но, несмотря на системность двух процессов, грубые их проявления носили четко локализованный характер. Вероятно, это связано с временным интервалом поражения клеток соединительной ткани и его характером. По мнению авторов, развитие патологии при атеросклерозе происходит в период постнатального онтогенеза вследствие роста цитокинетической активности клеток соединительной ткани под воздействием различных факторов (циркулирующих в сосудистом русле атерогенных липопротеинов, нарушения микробиома и др.). При фибромускулярной дисплазии процесс поражения фибробластов генетическими мутациями происходит на этапе эмбрионального развития (васкулогенеза), грубые стигмы формируются на участках сосудов, рост которых характеризуется наиболее интенсивными скоростными показателями из-за влияния гемодинамических условий начала циркуляции крови (ангиогенеза).

**Ключевые слова:** фибромускулярная дисплазия, атеросклероз, патогенетические механизмы, компьютерная томографическая ангиография, болезни соединительной ткани

**Ответственный за переписку:** Анна Юрьевна Бырина, адрес: 628417, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Сургут, ул. 50 лет ВЛКСМ, д. 10/2; e-mail: afineevskayaanna@gmail.com

*Для цитирования:* Бырина, А. Ю. Механизмы поражения соединительной ткани при фибромускулярной дисплазии и атеросклерозе: возможности визуализации / А. Ю. Бырина, О. А. Мальков // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 221-228. – DOI 10.37482/2687-1491-Z183.

Original article

## Mechanisms of Connective Tissue Damage in Fibromuscular Dysplasia and Atherosclerosis: Visualization Possibilities

Anna Yu. Byrina\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5385-4726>

Oleg A. Mal'kov\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0895-2079>

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

**Abstract.** Multifocality, high prevalence and lack of consensus on the etiopathogenesis of atherosclerosis and fibromuscular dysplasia (FMD) in the human population are well known. However, the issues of comorbidity and mechanisms of connective tissue damage in these pathologies remain unclear. The **purpose** of this study was to determine the leading causes of pathological arterial stenosis in patients with clinical signs of vascular disorders. **Materials and methods.** The research involved 67 patients (mean age  $51.12 \pm 13.12$  years) with clinical signs of vascular disorders, who had received neurological or neurosurgical treatment at Surgut Clinical Trauma Hospital. The subjects underwent computed tomography angiography of brachiocephalic and intracranial vessels. To assess the internal stigmatization of the processes under study, author's scales were developed. **Results.** The data of the author's scales clearly indicate the influence of the genetically determined FMD process on the manifestations of atherosclerosis. The most frequent combinations of FMD stigmas and atherosclerotic lesions identified in the course of the study can serve as markers of the severity of these pathologies. The results allow us to view FMD and atherosclerosis in the context of morphofunctional connective tissue disorders. Paradoxically, despite the systemic nature of the two processes, their gross manifestations were clearly localized. This is probably due to the time interval of connective tissue cell damage and its nature. In our opinion, pathology in atherosclerosis develops during postnatal ontogenesis due to the increasing cytokinetic activity of connective tissue cells under the influence of various factors (atherogenic lipoproteins circulating in the vascular bed, microbiome disturbance, etc.). In FMD, fibroblasts get damaged by genetic mutations at the stage of embryonic development (vasculogenesis), gross stigmas are formed in areas of blood vessels with the most rapid growth due to the haemodynamic conditions of the onset of blood circulation (angiogenesis).

**Keywords:** *fibromuscular dysplasia, atherosclerosis, pathogenetic mechanisms, computed tomography angiography, connective tissue disease*

**For citation:** Byrina A.Yu., Mal'kov A.O. Mechanisms of Connective Tissue Damage in Fibromuscular Dysplasia and Atherosclerosis: Visualization Possibilities. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 221–228. DOI: 10.37482/2687-1491-Z183

---

**Corresponding author:** Anna Byrina, *address:* ul. 50 let VLKSM 10/2, Surgut, 628417, Khanty-Mansiyskiy avtonomnyy okrug – Yugra, Russia; *e-mail:* afineevskayaanna@gmail.com

До сегодняшнего дня мировое научное сообщество так и не пришло к единому мнению об этиологии дисплазии соединительной ткани (ДСТ) и атеросклероза ввиду мультифокальности этих патологий. Дальнейшее описание будет выполняться с опорой на данные Виктора МакКьюсика о многогранности проявлений ДСТ. В статье сделан акцент на одном из наследственных нарушений соединительной ткани (СТ) с характерным сосудистым поражением – фибромускулярной дисплазии (ФМД) мелких и средних артерий краниоцервикального отдела [1].

Приоритетной причиной развития атеросклероза принято считать нарушение липидного обмена и хроническое воспаление. При ФМД отмечается весомость вклада гормонального, метаболического, иммунологического и генетического факторов [2]. В отличие от атеросклероза, риск которого у лиц мужского пола выше, к ФМД у них обнаруживается меньшая предрасположенность, однако наблюдается более агрессивное течение заболевания.

Статистика, собранная в разных странах, показала, что частотность аневризмы интракраниальной локализации при ФМД составляет от 9 до 20 случаев на 100 тыс. чел. Были замечены ассоциативные связи между изменением морфологии сосудов (гипоплазия, аплазия, фенестрация), их числа и частотой возникновения пороков артериального русла (артериовенозные мальформации (АВМ), аневризмы). Мы считаем, что, вероятнее всего, это связано с незрелостью сосудистого каркаса. По данным ангиографий и вскрытий, аплазия А1-сегмента передней мозговой артерии (ПМА) встречается у 1 % индивидуумов и ассоциируется с аневризмами в 14 % случаев, непарная ПМА также встречается у 1 %, но ассоциируется с аневризмами в 45 % случаев. Гипоплазия А1-сегмента ПМА диагностируется у 1–13 %, гипоплазия интракраниального отдела позвоночной артерии (ПА) – у 2–6 % [3], гипоплазия задней соединительной артерии (ЗСоА) – у 6–21 %, аплазия ЗСоА – у 6 % и атеросклероз сонных артерий – у 5 %. При незначительной частоте фенестраций сосудов

у населения (0,7 %) [4] определяется высокая вероятность образования аневризм на фоне ФМД.

Изменение числа сосудов (трифуркация) наблюдается: ПМА – у 2–13 % в популяции человека, средней мозговой артерии (СМА) – у 12 %. Среди вариантов отхождения сосудов полный фетальный тип задней мозговой артерии (ЗМА) встречается у 2–26 % и частичный фетальный тип – у 1–29 % индивидуумов [3].

Распространенность патологической извитости (ПИ) внутренней сонной артерии (ВСА) в общей популяции составляет до 40 % и, по данным одних авторов, является следствием нарушения эмбриогенеза [5]. При ФМД артерий эластического типа определяется плавная ПИ (S-образная, петлеобразная) с повышенным риском диссекции [6]. По данным других авторов, ПИ является приспособительным механизмом компенсации скорости распространения пульсовой волны при гипертонической болезни. Различают три основных морфологических типа ФМД: интимальный, с гиперплазией субэндотелиальной СТ и образованием тубулярных стенозов; медиальный, с характерной трансформацией гладкомышечных клеток меди в фибробласты, накоплением эластина на границе с адвентицией и формированием рентгенологического симптома «нити бус»; перимедиальный, с развитием псевдоаневризм, диссекций стенки артерии, стенозов. Согласно исторически сложившемуся мнению, механизмом возникновения атеросклероза считают дисфункцию эндотелия при дисбалансе выработки основных vasoактивных веществ и активации системной иммунновоспалительной реакции [7]. В более современных концепциях таковым называют дисфункцию адвентиции при дифференцировке фибробластов в миофибробласты с повышением местной экспрессии провоспалительных цитокинов. Широко обсуждается механизм дисфункции периваскулярной жировой ткани с изменением продуцирования лептина и адипонектина, Интерлейкинов 6 и 8 со стимуляцией воспалительной реакции.

В ходе исследования мы попытаемся объяснить основные механизмы поражения волокон эластина и коллагена сосудистой стенки при атеросклерозе и ФМД.

Весомое влияние на процесс дисциркуляции в сосудах как при атеросклерозе, так и при ФМД шейного отдела оказывают краниовертебральные мальформации (встречаются у 80 % взрослого населения с ФМД). Среди них выделяют: сколиоз, краниальный подвывих С1, гипоплазию С1, аномалию Киммерли. По данным рентгенологического исследования, аномалия Киммерли (частичная и полная костная перемычка задней дуги атланта) диагностируется у 14,0–16,7 % пациентов с ФМД [8]. Дифференциальную диагностику ФМД и атеросклероза проводят непосредственно между этими заболеваниями, а также с васкулитами (основываясь на отсутствии воспалительной реакции при ФМД), медиализмом (авоспалительный лизис внешней оболочки сосудов с формированием аневризм при отсутствии генетических изменений синтеза коллагена) [2, 9].

Даже с учетом раннего выявления признаков как ФМД, так и атеросклероза и большой их распространенности в популяции человека [10] вопросы формирования взаимоотношающихся механизмов дисциркуляции в сосудах остаются непроясненными. Цель исследования – определить ведущие причины патологического стеноза артерий у пациентов с клиническими признаками сосудистых нарушений.

**Материалы и методы.** Для диагностики степени атеросклеротического поражения и ФМД сосудистой стенки 67 пациентам (средний возраст – 51,12±13,12 года) была проведена компьютерная томографическая ангиография брахиоцефальных сосудов (КТ-АГ БЦС) малоинвазивным лучевым методом на аппарате Philips Brilliance СТ 40 с шагом сканирования 1,5 мм и силой постоянного тока 30 мА. Для оценки внутренней стигматизации при ФМД и атеросклерозе была разработана авторская шкала. Обследование пациентов было выполнено в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации,

соблюдая все этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта.

**Результаты.** На основании общепринятых ангиографических критериев NASCET при оценке стеноза по данным КТ-АГ БЦС все пациенты были разделены на группы: 1) без стеноза сосудов ( $n = 18$ ); 2) со стенозом сосудов атеросклеротической бляшкой и/или патологическим перегибом сосуда с формированием септы менее 50 % ( $n = 29$ ); 3) со стенозом сосудов атеросклеротической бляшкой и/или патологическим перегибом сосуда с формированием септы более 50 % ( $n = 12$ ). Опираясь на классификацию J. Weibel и W.S. Fields (1965), мы провели визуальную оценку патологической извитости сосудов шеи обследуемых (S-, C-образная деформация без острых углов и нарушений кровотока; ангуляция менее 90° и наличие умеренных и выраженных нарушений кровотока при аномалии «кинкинг»; петлеобразование при аномалии «койлинг»). Проанализировали распространенность различных морфологических вариантов строения артерий и сегментов артерий, аномалий артериального русла головного мозга у обследуемых.

По данным компьютерной томографии (КТ), признаки атеросклероза были выявлены у 75,9 % пациентов 2-й группы и 90 % – 3-й. Среди пациентов 3-й группы осложнения в виде атеротромбоза встречались в 50 % случаев. Кальциноз бляшек чаще диагностировался в 3-й группе (70 %), с более выраженным средним значением плотности кальция, измеренной в единицах Хаунсфилда (HU) (среднее значения плотности кальция во 2-й группе составила 603,3 HU, в 3-й – 885,1 HU). Изолированное поражение устья ВСА атеросклеротической бляшкой совместно с признаками кальциноза регистрировалось в 34,6 %, тогда как при сочетанном поражении устья и интракраниального отдела ВСА кальциноз определялся в 92,9 % случаев.

У 20,7 % пациентов 2-й группы и 15 % лиц 3-й мы наблюдали патологический перегиб физиологической извитости V3-, V4-сегментов

ПА без признаков гемодинамически значимого стеноза, что, вероятней всего, является симптомом артериальной гипертензии.

Плавное извитие 1–4 артерий шейного отдела (плечеголовной ствол, общая сонная артерия, ВСА, ПА) в 100 % случаев сочеталось со стенозом сосудов менее 50 % и в 95 % случаев – со стенозом более 50 %. Показатели извитости артерий 2-й и 3-й групп (66,7 %) практически вдвое превышали данные 1-й, у представителей которой стеноз отсутствовал. Аномалия «койлинг» чаще выявлялась среди пациентов 3-й группы. Симптом «нити бус» визуализировался у пациентов 2-й группы в 10,3 % случаев (с преобладанием двустороннего симметричного поражения одноименных сосудов) и у 5,1 % лиц 3-й группы. Несмотря на то, что пациентов с аномалией «кинкинг» было больше во 2-й группе, в 2-3 сосудах одновременно она встречалась чаще у пациентов 3-й группы (20,6 % во 2-й группе, 30 % в 3-й группе).

С усилением выраженности стеноза возрастало не только число выявленных случаев гипоплазированных сегментов артерий, но и их количество у отдельных пациентов. Так, если в 1-й группе было обнаружено не более 1-2 сегментов на человека, то во 2-й группе – до 3, а в 3-й группе – до 4.

Наибольшее количество случаев трифуркации, фенестрации, фетальной ЗМА, АВМ, венозных ангиом, аневризматического поражения артерий было установлено в группе без стеноза сосудов. Однако в группе со стенозом сосудов до 50 % отмечалось наличие 2 аневризм на одного пациента в 10,3 % и даже 3 аневризм в 5 % случаев.

Учитывая большое влияние краниовертебральных мальформаций на процесс дисциркуляции в сосудах, мы проанализировали их распространенность среди обследуемых пациентов. По нашим данным, частота случаев аномалии Киммерли прогрессировала в зависимости от выраженности стеноза сосудов вследствие ФМД.

При оценке артерий шеи и головы мы выявили очевидную связь между отдельными

признаками. Аневризматическое поражение сосудов головы в 87,5 % сочеталось с гипоплазией сегментов артерий Виллизиевого круга, в 18,8 % – с аплазией сегментов артерий; в 43,8 % – с аномалией «кинкинг» и в 37,5 % – с аномалией Киммерли; в 37,5 % – с атеросклеротическим поражением. Обнаружили высокую частоту сочетания аномалии «кинкинг» с гипоплазией ПА шейного отдела и сегментов сосудов головы (89,7 %) и с аномалией Киммерли (48,3 %). Результаты нашего исследования дополняют сведения литературных источников [3, 5].

Анализ вышеперечисленных стигм при ФМД по данным КТ-АГ БЦС и отсутствие рекомендаций по проведению скрининга этого процесса в доступной нам литературе послужили поводом для разработки авторской шкалы оценки степени значимости внутренних проявлений ФМД сосудов шеи, их сочетания с сосудистыми аномалиями и морфологическими вариантами строения артерий головы обследуемых.

Сначала мы обследовали пациентов, присваивая каждой выявленной патологии определенное количество баллов в зависимости от ее значимости и распространенности в популяции человека: плавной извитости сосудов (0,5–5 баллов), сосудистым эмбриональным аномалиям (гипоплазии сегмента артерии – 0,5 балла; аплазии – 2 балла; трифуркации, фенестрации – 3 балла), эмбриональным типам строения сосудистой системы головного мозга, персистирующим в постнатальном периоде (фетальной ЗМА – 3 балла, венозному эмбриональному типу строения синусов – 5 баллов). При визуализации одной из грубых стигм присваивалось 50 баллов ввиду их большой значимости (аномалии «койлинг» и «кинкинг» с гемодинамически значимым стенозом, симптом «нити бус», сосудистая аневризма, АВМ с аневризмой). Затем суммировали количество признаков в баллах в каждой из трех групп.

Таким образом, ФМД констатировалась при оценке не менее 50 баллов у пациента. Мы считаем, что существование отдельных

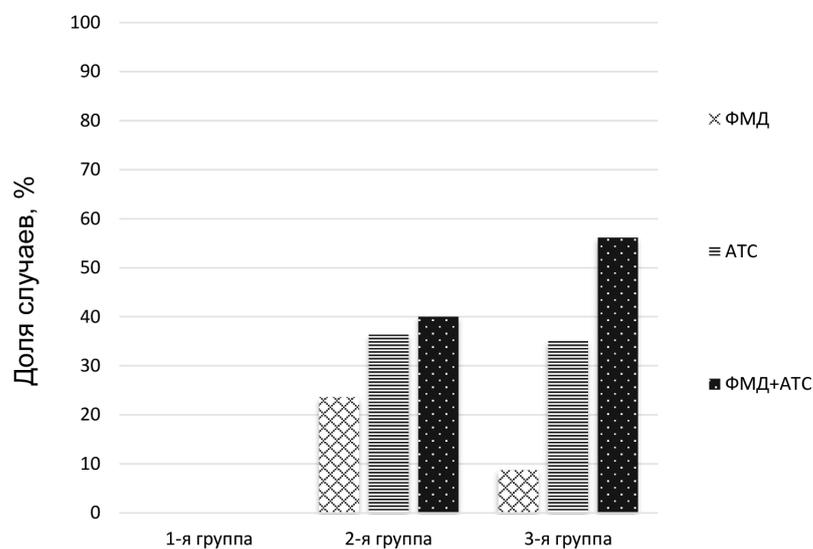
признаков (от 0,5 до 5 баллов) не позволяет подтвердить или опровергнуть ФМД, тогда как их кратное увеличение и/или сочетание с признаком в 50 баллов позволяет трактовать их как усугубляющие маркеры поражения СТ.

Для интерпретации степени атеросклеротического поражения сосудистого русла и сравнительного анализа с ФМД мы разработали вторую авторскую шкалу, аналогично суммируя признаки в каждой из трех групп, выраженные в баллах. Локализация бляшки в одном сегменте оценивалась нами в 1 балл, в двух сегментах – в 2 балла. Стеноз просвета сосуда бляшкой менее 50 % – 1 балл, более 50 % – 6 баллов. Кальциноз бляшки – 2 балла. Осложнение в виде атеротромбоза ВСА или ПА – 7 баллов. Наличие атеросклеротического поражения констатировали при суммарной оценке от 1 до 5 баллов, т. к. даже минимальный размер пристеночной бляшки является подтверждением атеросклероза [4]. Выраженные признаки атеросклероза (при 6 баллах и более)

позволяли судить о крайней степени стеноза сосуда, количестве и качестве бляшек.

На основании данных 1-й группы (см. рисунок) можно сделать заключение, что грубые изменения формообразующих структур коллагена и эластина, их соотношение не зависят от атеросклероза. Эти изменения можно диагностировать у детей раннего возраста (ПИ, петли, аневризмы), что свидетельствует в пользу гипотезы формирования стигм на этапе эмбрионального развития. Данные 2-й группы отчетливо говорят о высокой степени проявления коморбидности – значимом влиянии генетически детерминированного процесса ФМД на проявление тяжести атеросклеротического поражения. Данные 3-й группы пока не позволяют сделать каких-либо выводов ввиду малой выборки и требуют дальнейшего изучения.

**Обсуждение.** На начальных этапах обследования пациентов с клиническими признаками сосудистых нарушений в качестве ведущей причины патологического стеноза артерий мы



Встречаемость сосудистых нарушений (ФМД, атеросклероз (АТС), смешанное поражение ФМД и АТС) внутри групп пациентов (доверительный интервал – 95 %, уровень статистической значимости  $p < 0,05$ )

Frequency of vascular disorders (fibromuscular dysplasia, atherosclerosis, and fibromuscular dysplasia + atherosclerosis) within patient groups (confidence interval – 95 %, statistical significance  $p < 0.05$ )

предполагали атеросклеротическое поражение. В ходе работы было обнаружено, что в 20,9 % случаев причиной оказалась ФМД, в 17,9 % – атеросклероз, в 50,7 % – смешанный тип поражения и в 10,5 % – отсутствовали признаки и ФМД и атеросклероза. Эти данные подтвердили мнение многих исследователей о большой распространенности изучаемых процессов в популяции человека. Было выявлено, что чем больше стеноз сосудов при поражении бляшками и количество вовлеченных в процесс атеросклероза сегментов – тем чаще можно наблюдать кальциноз сосудов с увеличением их плотности. Это можно объяснить нарушением молекулярной конфигурации эластина и отложением в тканях липопротеинов и ионов кальция с последующим обызвествлением. Анализируя поражение

артерий ФМД, мы выявили наиболее частые сочетания следующих стигм: аневризмы сосудов головы, гипоплазия сегментов артерий головы, аномалия «кинкинг», аномалия Киммерли. В 75,9 % случаев атеросклеротическое поражение сочеталось с аномалией Киммерли и в 37,5 % – с аневризмами головы. Таким образом, коморбидность процессов позволяет считать перечисленные нами признаки значимыми маркерами тяжести этих патологий. В доступных источниках мы не нашли публикаций, связанных с подобными исследованиями связей ФМД с атеросклерозом.

Целью нашей будущей работы станет дальнейшее изучение вопросов коморбидности – механизмов патологического влияния ФМД на тяжесть проявлений атеросклероза.

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

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

## Список литературы

1. Wang D., Wang Z., Zhang L., Wang Y. Roles of Cells from the Arterial Vessel Wall in Atherosclerosis // *Mediators Inflamm.* 2017. Vol. 2017. Art. № 8135934. <https://doi.org/10.1155/2017/8135934>
2. Ko M., Kamimura K., Ogawa K., Tominaga K., Sakamaki A., Kamimura H., Abe S., Mizuno K., Terai S. Diagnosis and Management of Fibromuscular Dysplasia and Segmental Arterial Mediolysis in Gastroenterology Field: A Mini-Review // *World J. Gastroenterol.* 2018. Vol. 24, № 32. P. 3637–3649. <https://doi.org/10.3748/wjg.v24.i32.3637>
3. Hakim A., Gralla J., Rozeik C., Mordasini P., Leidolt L., Piechowiak E., Ozdoba C., El-Koussy M. Anomalies and Normal Variants of the Cerebral Arterial Supply: A Comprehensive Pictorial Review with a Proposed Workflow for Classification and Significance // *J. Neuroimaging.* 2018. Vol. 28, № 1. P. 14–35. <https://doi.org/10.1111/jon.12475>
4. Chuang Y.-M., Chan L., Wu H.-M., Lee S.-P., Chu Y.-T. The Clinical Relevance of Vertebral Artery Hypoplasia // *Acta Neurol. Taiwan.* 2012. Vol. 21, № 1. P. 1–7.
5. Гавриленко А.В., Кочетков В.А., Куклин А.В., Абрамян А.В. Хирургическое лечение больных с патологической извитостью внутренней сонной артерии // *Хирургия. Журн. им. Н.И. Пирогова.* 2013. № 6. С. 88–91.
6. Houry M.H., Gornik H.L. Fibromuscular Dysplasia (FMD) // *Vasc. Med.* 2017. Vol. 22, № 3. P. 248–252. <https://doi.org/10.1177/1358863x17700716>
7. Park K.-H., Park W.J. Endothelial Dysfunction: Clinical Implications in Cardiovascular Disease and Therapeutic Approaches // *J. Korean Med. Sci.* 2015. Vol. 30, № 9. P. 1213–1225. <https://doi.org/10.3346%2Fjkms.2015.30.9.1213>
8. Finale E., Martinetti M., La Rocca F., Guccione F., Guala A. Kimmerle Anomaly and Drop Attacks in Adolescent // *Am. J. Med. Case Rep.* 2015. Vol. 3, № 8. P. 255–256. <https://doi.org/10.12691/ajmcr-3-8-9>
9. Olin J.W., Kadian-Dodov D. Fibromuscular Dysplasia: Looking Beyond the “String of Beads” // *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2017. Vol. 10, № 5. P. 562–564. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.04.011>
10. Bumpus S.M., Krallman R., Heidt S., Kline-Rogers E. Stigma, Fear, and Acceptance: Three Phases of the Fibromuscular Dysplasia Experience // *JSM Atheroscler.* 2017. Vol. 2, № 1. Art. № 1021.

## References

1. Wang D., Wang Z., Zhang L., Wang Y. Roles of Cells from the Arterial Vessel Wall in Atherosclerosis. *Mediators Inflamm.*, 2017, vol. 2017. Art. no. 8135934. <https://doi.org/10.1155/2017/8135934>
2. Ko M., Kamimura K., Ogawa K., Tominaga K., Sakamaki A., Kamimura H., Abe S., Mizuno K., Terai S. Diagnosis and Management of Fibromuscular Dysplasia and Segmental Arterial Mediolysis in Gastroenterology Field: A Mini-Review. *World J. Gastroenterol.*, 2018, vol. 24, no. 32, pp. 3637–3649. <https://doi.org/10.3748/wjg.v24.i32.3637>
3. Hakim A., Gralla J., Rozeik C., Mordasini P., Leidolt L., Piechowiak E., Ozdoba C., El-Koussy M. Anomalies and Normal Variants of the Cerebral Arterial Supply: A Comprehensive Pictorial Review with a Proposed Workflow for Classification and Significance. *J. Neuroimaging*, 2018, vol. 28, no. 1, pp. 14–35. <https://doi.org/10.1111/jon.12475>
4. Chuang Y.-M., Chan L., Wu H.-M., Lee S.-P., Chu Y.-T. The Clinical Relevance of Vertebral Artery Hypoplasia. *Acta Neurol. Taiwan.*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 1–7.
5. Gavrilenko A.V., Kochetkov V.A., Kuklin A.V., Abramyan A.V. Khirurgicheskoe lechenie bol'nykh s patologicheskoy izvitost'yu vnutrenney sonnoy arterii [Surgical Treatment of the Carotid Kinking]. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova*, 2013, no. 6, pp. 88–91.
6. Khoury M.H., Gornik H.L. Fibromuscular Dysplasia (FMD). *Vasc. Med.*, 2017, vol. 22, no. 3, pp. 248–252. <https://doi.org/10.1177/1358863x17700716>
7. Park K.-H., Park W.J. Endothelial Dysfunction: Clinical Implications in Cardiovascular Disease and Therapeutic Approaches. *J. Korean Med. Sci.*, 2015, vol. 30, no. 9, pp. 1213–1225. <https://doi.org/10.3346%2Fjkms.2015.30.9.1213>
8. Finale E., Martinetti M., La Rocca F., Guccione F., Guala A. Kimmerle Anomaly and Drop Attacks in Adolescent. *Am. J. Med. Case Rep.*, 2015, vol. 3, no. 8, pp. 255–256. <https://doi.org/10.12691/ajmcr-3-8-9>
9. Olin J.W., Kadian-Dodov D. Fibromuscular Dysplasia: Looking Beyond the “String of Beads”. *JACC Cardiovasc. Imaging*, 2017, vol. 10, no. 5, pp. 562–564. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.04.011>
10. Bumpus S.M., Krallman R., Heidt S., Kline-Rogers E. Stigma, Fear, and Acceptance: Three Phases of the Fibromuscular Dysplasia Experience. *JSM Atheroscler.*, 2017, vol. 2, no. 1. Art. no. 1021.

Поступила в редакцию 06.05.2023 / Одобрена после рецензирования 20.12.2023 / Принята к публикации 29.12.2023.  
Submitted 6 May 2023 / Approved after reviewing 20 December 2023 / Accepted for publication 29 December 2023.



Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 2. С. 229–239.  
*Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 229–239.

Обзорная статья  
УДК [612.8+537.531]:57.042  
DOI: 10.37482/2687-1491-Z181

## Эффекты воздействий радиочастотных электромагнитных полей на нервную систему. Эксперименты *in vitro* (обзор)

Наталья Игоревна Хорсева\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3444-0050>  
Павел Евгеньевич Григорьев\*\*/\*\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7390-9109>

\*Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук  
(Москва, Россия)

\*\*Севастопольский государственный университет  
(Севастополь, Россия)

\*\*\*Академический научно-исследовательский институт физических методов лечения,  
медицинской климатологии и реабилитации им. И.М. Сеченова  
(Ялта, Республика Крым, Россия)

**Аннотация.** Усиливающееся воздействие мобильной связи на население, в первую очередь на детей и подростков как на самую уязвимую к любым факторам внешней среды его часть, обуславливает необходимость скрупулезного изучения влияния электромагнитных полей радиочастотного диапазона на центральную нервную систему, которая является основной мишенью их действия. В связи с этим анализ экспериментальных данных в качестве опосредованной оценки возможных негативных изменений в организме молодых животных под воздействием электромагнитных полей радиочастотного диапазона, включая 5G и Wi-Fi, весьма актуален. Авторами статьи проведена систематизация экспериментальных данных, результаты которой будут представлены в двух частях: эксперименты *in vitro* и *in vivo*. В рамках данной публикации представлены материалы, указывающие как на разнообразие подходов к изучению воздействия электромагнитных полей радиочастотного диапазона на центральную нервную систему, так и на трудности систематизации результатов экспериментов. Анализ литературных данных показал, что при всей многочисленности исследований воздействия электромагнитных полей радиочастотного диапазона *in vitro* культуры клеток центральной нервной системы используются достаточно редко. Тем не менее в данном обзоре подробно рассмотрены результаты экспериментов *in vitro*: преобразование потенциала действия, морфологические трансформации клеток и миелиновой оболочки, изменение проницаемости гематоэнцефалического барьера (с использованием культур только нервных клеток). Установлено, что, несмотря на некоторую противоречивость полученных результатов, большинство исследований указывают на негативное влияние электромагнитных полей разных частотных диапазонов на клетки центральной нервной системы. Описание морфогистологических изменений структур центральной нервной системы при действии электромагнитных полей радиочастотного диапазона будет представлено в следующей части обзора.

**Ответственный за переписку:** Наталья Игоревна Хорсева, адрес: 119334, Москва, ул. Косыгина, д. 4,  
e-mail: sheridan1957@mail.ru

**Ключевые слова:** электромагнитное поле радиочастотного диапазона, Wi-Fi, 5G, эксперименты *in vitro*, центральная нервная система, изолированные клетки нервной системы, миелиновая оболочка, гематоэнцефалический барьер

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН (тема № 44.1, государственный № 0084-2019-004).

**Благодарности.** Данная публикация посвящена памяти выдающегося советского, российского ученого, крупнейшего специалиста в области радиобиологии, доктора медицинских наук, профессора, президента Российского национального комитета по защите от неионизирующей радиации, постоянного члена консультативного комитета Всемирной организации здравоохранения по международной программе «Электромагнитные поля и здоровье населения» Юрия Григорьевича Григорьева.

**Для цитирования:** Хорсева, Н. И. Эффекты воздействий радиочастотных электромагнитных полей на нервную систему. Эксперименты *in vitro* (обзор) / Н. И. Хорсева, П. Е. Григорьев // Журн. мед.-биол. исследований. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 229-239. – DOI 10.37482/2687-1491-Z181.

Review article

## Effects of Radio Frequency Electromagnetic Fields on the Nervous System. *In vitro* Experiments (Review)

Natalia I. Khorseva\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3444-0050>  
Pavel E. Grigoriev\*\*/\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7390-9109>

\*Emanuel Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences  
(Moscow, Russia)

\*\*Sevastopol State University  
(Sevastopol, Russia)

\*\*\*Sechenov Academic Research Institute of Physical Methods of Treatment,  
Medical Climatology and Rehabilitation  
(Yalta, Republic of Crimea, Russia)

**Abstract.** The effects of mobile communications on the population, primarily on children and adolescents as the cohort most vulnerable to any environmental factors, dictates the need for a thorough investigation into the impact of radio frequency electromagnetic fields (RF EMF) on the central nervous system (CNS) as the main target of their action. In this regard, the analysis of experimental data as an indirect assessment of possible negative changes in the body of young animals under the influence of RF EMF, including 5G and Wi-Fi, is highly relevant. We performed a systematization of experimental data, which will be presented in two parts: *in vitro* and *in vivo* experiments. This article introduces materials indicating both diversity of approaches to studying the effects of RF EMF on the central nervous system and difficulties of systematizing the results of the experiments. The analysis of literature data showed that, despite the numerous studies into the effects of RF EMF *in vitro*, CNS cell cultures are used rather rarely. However, this paper examines in detail the results of *in vitro* experiments: changes in the action potential, morphological changes in cells and the myelin sheath, and

**Corresponding author:** Natalia Khorseva, address: ul. Kosygina 4, Moscow, 1119334, Russia; e-mail: sheridan1957@mail.ru

changes in the permeability of the blood–brain barrier (using cultures of only nerve cells). It was established that, despite some inconsistency in the results obtained, most studies indicate a negative effect of RF EMF on CNS cells. The morphological and histological changes in CNS structures under the influence of RF EMF will be presented in the next part of the review.

**Keywords:** radio frequency electromagnetic field, Wi-Fi, 5G, *in vitro* experiments, central nervous system, isolated cells of the nervous system, myelin sheath, blood–brain barrier

**Funding.** The study was funded within the framework of the state assignment of the Emanuel Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences (topic no. 44.1, reg. no. 0084-2019-004).

**Acknowledgements.** This article is dedicated to the memory of an outstanding Soviet and Russian scientist, leading specialist in the field of radiobiology, Doctor of Medical Sciences, Professor, President of Russian National Committee on Non-Ionizing Radiation Protection, permanent member of the WHO Advisory Committee on the International Programme “Electromagnetic Fields and Public Health” Yury G. Grigoriev.

**For citation:** Khorseva N.I., Grigoriev P.E. Effects of Radio Frequency Electromagnetic Fields on the Nervous System. *In vitro* Experiments (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 229–239. DOI: 10.37482/2687-1491-Z181

Вопросы негативного влияния устройств сотовой связи на организм человека приобретают бóльшую актуальность вследствие увеличения числа пользователей, особенно среди детей и подростков, т. к. данные устройства являются источниками открытого и неконтролируемого электромагнитного излучения, а развивающийся организм, как известно, наиболее уязвим к воздействию любых факторов внешней среды [1, 2].

В настоящее время эта тема стала предметом многочисленных исследований, которые указывают на то, что электромагнитное поле радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) в первую очередь влияет на нервную систему, в частности на головной мозг и его структуры, тем более что современные гаджеты сотовой связи, как правило, подносятся к голове (уху).

История экспериментального изучения воздействия ЭМП РЧ на головной мозг подробно описана в [3, 4].

В настоящее время анализ биологических эффектов воздействия ЭМП РЧ рассматривается в ряде обзоров, в которых представлены анализ используемых объектов исследования [5], экспериментальные данные [5–10], оценка потенциальной угрозы при применении технологий Wi-Fi [11] и 5G [12–14], а также возмож-

ные механизмы воздействия на молекулярном уровне [8, 15].

Ряд авторов отмечают, что у современных ученых отсутствует системный подход, основанный на качестве экспериментальных методологий [10], а также согласованная модель животных со стандартизированными протоколами воздействия ЭМП РЧ и тестирования его влияния [16].

Встречаются и весьма неоднозначные подходы к анализу и систематизации материалов. Например, в обзоре [7], вышедшем в 2017 году, W.-J. Zhi et al. проанализировали «недавние исследования», где представлены работы за период с 1975 до 2017 года, и лишь 18 % из них были опубликованы в 2014–2017 годах. Неудивительно, что столь широкий временной разброс дает столь неоднозначные сведения о сопоставимости и воспроизводимости результатов.

Следует отметить, что большинство публикаций носят комплексный характер, поскольку в них представлены результаты исследования как морфологических, гистопатологических, биохимических изменений в структурах головного мозга при воздействии ЭМП РЧ, так и возможные молекулярные механизмы и изменения поведения.

В данной статье будут рассмотрены результаты экспериментальных исследований на культурах клеток нервной системы при воздействии ЭМП РЧ разных частотных диапазонов.

Анализ экспериментальных данных основывался на материалах публикаций, взятых из открытых источников: <https://www.emf-portal.org>, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>, <https://cyberleninka.ru/>, <https://sci-hub.ru>, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/>, <http://scholar.google.com/>.

**Воздействие ЭМП РЧ на клетки ЦНС *in vitro*.** Как показал анализ литературы, на фоне многочисленных исследований биологических эффектов воздействия ЭМП РЧ использование культур клеток центральной нервной системы (ЦНС) встречается не столь часто. Это объясняется тем, что большинство экспериментов проведено на культурах раковых клеток, клетках крови, соединительной ткани и т. п. В рамках данной публикации они были исключены из дальнейшего рассмотрения.

Для изучения воздействия ЭМП РЧ на нервную систему в экспериментах *in vitro* используются культуры различных нервных и глиальных клеток: нейроны гиппокампа [17–19], полученные, в частности, из мозга мышей первого дня жизни [20]; нейриты эмбриональных нейрональных стволовых клеток [21, 22]; первично культивированные астроциты, микроглия и нейроны коры [23]; нервные стволовые клетки взрослых животных [24]; культура нейронов из эмбриональной коры крыс [25], а также ганглии пиявок [26, 27] и первичные астроциты головного мозга крысы (в качестве модели гематоэнцефалического барьера (ГЭБ)) [28].

Исследования проводились в широком частотном диапазоне: 900 МГц [24], 1800 МГц [17, 18, 21–23], импульсно-модулированные GSM и непрерывные ЭМП РЧ [25], 1850 МГц [20], 2,856 ГГц [28], 3,0 ГГц [19], миллиметровый диапазон (5G) [26, 27].

Изменения потенциала действия нейронов *in vitro* были зарегистрированы как при однократном 15-минутном воздействии импульсно-модулированных GSM и непрерыв-

ного РЧ-поля (изменение частоты всплесков спонтанной взрывной активности) [25], так и при 60-минутном влиянии 3,0 ГГц (снижение амплитуды потенциала действия и деполяризованного мембранного потенциала покоя нейронов с одновременным повышением возбудимости нейронов и синаптической передачи) [19]. Кроме того, показано, что однократное воздействие ЭМП РЧ с разной длительностью может вызывать те или иные гистологические изменения в нервных клетках.

Установлено, что влияние ЭМП частотой 900 МГц (15, 30, 60 и 120-минутные экспозиции) на нервные стволовые клетки вызывало дозозависимое уменьшение количества и размера образовавшихся нейросфер, а также процентной доли клеток, дифференцированных в нейроны, однако не влияло на их жизнеспособность и процесс апоптоза [24].

Эффекты 1-минутного действия миллиметрового диапазона (гиперполяризация плазматической мембраны и снижение амплитуды потенциала действия, сужение полуширины потенциала) совпали с данными *in silico* (компьютерного моделирования) [26, 27]. Подобные результаты были получены ранее в работе [29].

Анализ литературы показал, что изучение длительного воздействия ЭМП РЧ *in vitro*, как правило, проводилось с применением частоты 1800 МГц.

Уменьшение общей длины нейритов и количества точек ветвления на культуре клеток Neuro-2A [18, 22, 30] и первичных нейронах гиппокампа [18, 30] было зарегистрировано при воздействии ЭМП РЧ при удельном коэффициенте поглощения (SAR) 4,0 Вт/кг и длительности воздействия 48 ч. Подобные эффекты получены также для нейрональных стволовых клеток [21]. Однако даже 72-часовое воздействие ЭМП РЧ (SAR = 4,0 Вт/кг) не повлияло на жизнеспособность клеток [18].

Более выраженное снижение плотности и подвижности дендритных филоподий, плотности зрелых шипиков, уменьшение длины дендритов были выявлены при воздействии

ЭМП РЧ на нейрональные клетки гиппокампа при SAR = 2,4 Вт/кг по сравнению с SAR = 0,8 Вт/кг [17] при режиме воздействия по 15 мин в день в течение 6 дней. Кроме того, установлены ингибирование фагоцитарной способности микроглии, снижение длины и количества ветвей кортикальных аксонов при воздействии ЭМП РЧ (SAR = 4,0 Вт/кг) на нейроны первично культивированных астроцитов, нейроны коры и микроглию [23].

Нельзя не отметить интересный подход, примененный в исследовании J.H. Kim et al., в котором при одинаковых значениях SAR (4,0 Вт/кг) было проведено сравнение воздействия ЭМП частотой 1850 МГц (4 недели) на мышей с 1-го по 28-й день их постнатального развития (*in vivo*) и 1760 МГц (9 дней) на нейроны гиппокампа, полученные из мозга мышей первого дня жизни (*in vitro*). В обоих случаях уменьшалось число дендритных шипиков грибовидного типа с одновременным снижением уровня нейротрофического фактора головного мозга (brain derived neurotrophic factor (BDNF)) в соме клеток нейронов [20]. Следует особо подчеркнуть, что BDNF модулирует количество и структуру дендритных шипиков, участвует в процессах развития (например, в дифференцировке клеток, их миграции к месту дислокации, росте дендритов, синаптогенезе), выживания и поддержания активности нейронов, играет важную роль в регуляции сигнальных путей [31, 32], существует гипотеза, что его снижение играет не последнюю роль в патогенезе депрессивных заболеваний.

**Воздействие ЭМП РЧ на миелиновую оболочку.** Анализируя воздействия ЭМП РЧ на изолированные нервные клетки, нельзя обойти стороной вопросы его влияния на миелиновую оболочку нервных клеток. Однако такие исследования единичны – в частности, в обзорах [6, 9] большая часть информации касается структурных особенностей миелиновой оболочки, ее функций и возможных путей нарушений ее целостности.

Тем не менее утолщение миелиновой оболочки в клетках спинного мозга было зафик-

сировано при воздействии ЭМП частотой 900 МГц в экспериментах [33], а ее повреждение – при действии частоты 835 МГц. Однако структурных изменений тел нейронов коры головного мозга не было обнаружено [34].

Значительные изменения в характере миелинизации нервных волокон головного мозга зафиксированы после длительного воздействия ЭМП частотой 2100 ГГц [35, 36].

Таким образом, воздействие ЭМП РЧ на изолированные нервные клетки приводит к их многочисленным структурно-функциональным изменениям, а в совокупности с процессами нарушения целостности миелиновой оболочки может существенно повлиять на проведение нервного импульса.

**Воздействие ЭМП РЧ на ГЭБ.** История изучения влияния ЭМП РЧ на ГЭБ достаточно полно изложена в книгах [3, 4], а в обзоре [5] суммированы методы оценки проницаемости ГЭБ (окрашивание синим Эванса, иммуногистохимическое окрашивание альбумином, измерение трансэндотелиального электрического сопротивления (TEER), метод окрашивания пероксидазой хрена и отслеживания (14) С-сахарозы и др.), в т. ч. и после воздействия ЭМП РЧ.

Однако, как показал анализ литературы последних лет, влияние ЭМП РЧ на ГЭБ изучено слабо, в современных публикациях нередко рассматриваются эффекты однократного воздействия. Результаты экспериментов *in vitro* также невозможно сравнить, поскольку авторами использовались различные как модели, так и режимы воздействия.

Неоднозначность полученных результатов о возможных нарушениях ГЭБ при воздействии ЭМП РЧ отражена в обзоре J.H. Kim et al. [9], в частности обнаружено:

- увеличение проницаемости ГЭБ, связанное с интенсивностью воздействия (SAR) ЭМП РЧ, которое вызывает повышение температуры, т. е. тепловые эффекты;
- негативное воздействие ЭМП РЧ при отсутствии теплового эффекта;
- полное отсутствие каких-либо негативных последствий воздействия ЭМП РЧ.

Авторы полагают, что при таких противоречивых результатах нельзя дать однозначный ответ о воздействии ЭМП РЧ на ГЭБ. Подтверждением этому могут служить исследования J. Tang et al. [37], J.W. Finnie et al. [38] и M. Kuribayashi et al. [39].

Тем не менее интересны экспериментальные исследования *in vitro*, проведенные A. Schirmacher et al. [40] и L.-F. Wang et al. [28]. В частности, A. Schirmacher et al. использовали модель, которая представляла собой совместную культуру, состоящую из астроцитов крысы и эндотелиальных клеток капилляров головного мозга свиньи. Оценку изменения проницаемости проводили с использованием (14) С-сахарозы. Было показано, что ЭМП РЧ (1,8 ГГц) значительно увеличило проницаемость для (14) С-сахарозы по сравнению с необлученными образцами [40]. Если в исследовании A. Schirmacher et al. лишь констатировался факт нарушения проницаемости ГЭБ, то в работе

L.-F. Wang et al. показано, что 5-минутное действие (50 мВт/см<sup>2</sup>, 2,856 ГГц) приводило к повреждению модели ГЭБ с использованием клеточной линии ECV304 и первичных астроцитов головного мозга крысы, которое выражалось в расширении и разрушении межклеточных плотных контактов со снижением трансэндотелиального электрического сопротивления и повышением проницаемости [28].

**Заключение.** Установлено, что однократное и особенно хроническое воздействие ЭМП РЧ *in vitro* (на изолированные нервные клетки) приводит к многочисленным структурно-функциональным изменениям нервных клеток, нарушению их миелиновой оболочки, целостности ГЭБ.

Приведенные результаты могут быть применены для оценки морфогистологических эффектов, полученных *in vivo* при воздействии ЭМП РЧ на структуры ЦНС экспериментальных животных.

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

## Список литературы

1. Хорсева Н.И., Григорьев Ю.Г., Григорьев П.Е. Влияние низкоинтенсивных электромагнитных полей на антенатальный период развития организма. Часть 1. От гаметогенеза до родов (обзор) // Журн. мед.-биол. исследований. 2017. Т. 5, № 4. С. 42–54. <http://dx.doi.org/10.17238/issn2542-1298.2017.5.4.42>
2. Хорсева Н.И., Григорьев Ю.Г., Григорьев П.Е. Влияние низкоинтенсивных электромагнитных полей на антенатальный период развития организма. Часть 2. Отдаленные последствия в постнатальный период (обзор) // Журн. мед.-биол. исследований. 2018. Т. 6, № 1. С. 41–55. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2018.6.1.41>
3. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Сотовая связь и здоровье: электромагнитная обстановка, радиобиологические и гигиенические проблемы, прогноз опасности. М.: Экономика, 2013. 567 с.
4. Григорьев Ю.Г., Хорсева Н.И. Мобильная связь и здоровье детей. Оценка опасности применения мобильной связи детьми и подростками. Рекомендации детям и родителям. М.: Экономика, 2014. 230 с.
5. Lai Y.-F., Wang H.-Y., Peng R.-Y. Establishment of Injury Models in Studies of Biological Effects Induced by Microwave Radiation // Mil. Med. Res. 2021. Vol. 8, № 1. Art. № 12. <https://doi.org/10.1186/s40779-021-00303-w>
6. Redmayne M., Johansson O. Could Myelin Damage from Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure Help Explain the Functional Impairment Electrohypersensitivity? A Review of the Evidence // J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev. 2014. Vol. 17, № 5. P. 247–258. <https://doi.org/10.1080/10937404.2014.923356>
7. Zhi W.-J., Wang L.-F., Hu X.-J. Recent Advances in the Effects of Microwave Radiation on Brains // Mil. Med. Res. 2017. Vol. 4, № 1. Art. № 29. <https://doi.org/10.1186/s40779-017-0139-0>
8. Narayanan S.N., Jetti R., Kesari K.K., Kumar R.S., Nayak S.B., Bhat P.G. Radiofrequency Electromagnetic Radiation-Induced Behavioral Changes and Their Possible Basis // Environ. Sci. Pollut. Res. 2019. Vol. 26, № 30. P. 30693–30710. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06278-5>

9. Kim J.H., Lee J.-K., Kim H.-G., Kim K.-B., Kim H.R. Possible Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure on Central Nerve System // *Biomol. Ther.* 2019. Vol. 27, № 3. P. 265–275. <https://doi.org/10.4062/biomolther.2018.152>
10. Romeo S., Zeni O., Scarfi M.R., Poeta L., Lioi M.B., Sannino A. Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure and Apoptosis: A Scoping Review of *in vitro* Studies on Mammalian Cells // *Int. J. Mol. Sci.* 2022. Vol. 23, № 4. Art. № 2322. <https://doi.org/10.3390/ijms23042322>
11. Markov M., Grigoriev Yu.G. Wi-Fi Technology – an Uncontrolled Global Experiment on the Health of Mankind // *Electromagn. Biol. Med.* 2013. Vol. 32, № 2. P. 200–208. <https://doi.org/10.3109/15368378.2013.776430>
12. Григорьев Ю.Г., Самойлов А.С. 5G-стандарт сотовой связи. Суммарная радиобиологическая оценка опасности планетарного электромагнитного облучения населения: моногр. М.: Федер. мед. биофиз. центр им. А.И. Бурназяна ФМБА, 2021. 220 с.
13. Karipidis K., Mate R., Urban D., Tinker R., Wood A. 5G Mobile Networks and Health—a State-of-the-Science Review of the Research into Low-Level RF Fields Above 6 GHz // *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2021. Vol. 31, № 4. P. 585–605. <https://doi.org/10.1038/s41370-021-00297-6>
14. Nyberg N.R., McCredden J.E., Weller S.G., Hardell L. The European Union Prioritises Economics Over Health in the Rollout of Radiofrequency Technologies // *Rev. Environ. Health.* 2022. Vol. 39, № 1. P. 47–64. <https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0106>
15. Hu C., Zuo H., Li Y. Effects of Radiofrequency Electromagnetic Radiation on Neurotransmitters in the Brain // *Front. Public Health.* 2021. Vol. 9. Art. № 691880. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.691880>
16. Sienkiewicz Z., van Rongen E. Can Low-Level Exposure to Radiofrequency Fields Effect Cognitive Behaviour in Laboratory Animals? A Systematic Review of the Literature Related to Spatial Learning and Place Memory // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019. Vol. 16, № 9. Art. № 1607. <https://doi.org/10.3390/ijerph16091607>
17. Ning W., Xu S.-J., Chiang H., Xu Z.-P., Zhou S.-Y., Yang W., Luo J.-H. Effects of GSM 1800 MHz on Dendritic Development of Cultured Hippocampal Neurons // *Acta Pharmacol. Sin.* 2007. Vol. 28, № 12. P. 1873–1880. <https://doi.org/10.1111/j.1745-7254.2007.00668.x>
18. Li Y., Deng P., Chen C., Ma Q., Pi H., He M., Lu Y., Gao P., Zhou C., He Z., Zhang Y., Yu Z., Zhang L. 1,800 MHz Radiofrequency Electromagnetic Irradiation Impairs Neurite Outgrowth with a Decrease in Rap1-GTP in Primary Mouse Hippocampal Neurons and Neuro2a Cells // *Front. Public Health.* 2021. Vol. 9. Art. № 771508. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.771508>
19. Echchgadda I., Cantu J.C., Tolstykh G.P., Butterworth J.W., Payne J.A., Ibey B.L. Changes in the Excitability of Primary Hippocampal Neurons Following Exposure to 3.0 GHz Radiofrequency Electromagnetic Fields // *Sci. Rep.* 2022. Vol. 12. Art. № 3506. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06914-0>
20. Kim J.H., Chung K.H., Hwang Y.R., Park H.R., Kim H.J., Kim H.-G., Kim H.R. Exposure to RF-EMF Alters Postsynaptic Structure and Hinders Neurite Outgrowth in Developing Hippocampal Neurons of Early Postnatal Mice // *Int. J. Mol. Sci.* 2021. Vol. 22, № 10. Art. № 5340. <https://doi.org/10.3390/ijms22105340>
21. Chen C., Ma Q., Liu C., Deng P., Zhu G., Zhang L., He M., Lu Y., Duan W., Pei L., Li M., Yu Z., Zhou Z. Exposure to 1800 MHz Radiofrequency Radiation Impairs Neurite Outgrowth of Embryonic Neural Stem Cells // *Sci. Rep.* 2014. Vol. 4. Art. № 5103. <https://doi.org/10.1038/srep05103>
22. Chen C., Ma Q., Deng P., Lin M., Gao P., He M., Lu Y., Pi H., He Z., Zhou C., Zhang Y., Yu Z., Zhang L. 1800 MHz Radiofrequency Electromagnetic Field Impairs Neurite Outgrowth Through Inhibiting EphA5 Signaling // *Front. Cell Dev. Biol.* 2021. Vol. 9. Art. № 657623. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.657623>
23. Su L., Yimaer A., Xu Z., Chen G. Effects of 1800 MHz RF-EMF Exposure on DNA Damage and Cellular Functions in Primary Cultured Neurogenic Cells // *Int. J. Radiat. Biol.* 2018. Vol. 94, № 3. P. 295–305. <https://doi.org/10.1080/09553002.2018.1432913>
24. Eghlidospour M., Ghanbari A., Mortazavi S.M., Azari H. Effects of Radiofrequency Exposure Emitted from a GSM Mobile Phone on Proliferation, Differentiation, and Apoptosis of Neural Stem Cells // *Anat. Cell Biol.* 2017. Vol. 50, № 2. P. 115–123. <https://doi.org/10.5115/acb.2017.50.2.115>
25. El Khoueiry C., Moretti D., Renom R., Camera F., Orlacchio R., Garenne A., Poullietier De Gannes F., Poque-Haro E., Lagroye I., Veyret B., Lewis N. Decreased Spontaneous Electrical Activity in Neuronal Networks Exposed to Radiofrequency 1,800 MHz Signals // *J. Neurophysiol.* 2018. Vol. 120, № 6. P. 2719–2729. <https://doi.org/10.1152/jn.00589.2017>

26. Romanenko S., Siegel P.H., Wagenaar D.A., Pikov V. Effects of Millimeter Wave Irradiation and Equivalent Thermal Heating on the Activity of Individual Neurons in the Leech Ganglion // *J. Neurophysiol.* 2014. Vol. 112, № 10. P. 2423–2431. <https://doi.org/10.1152/jn.00357.2014>
27. Romanenko S., Harvey A.R., Hool L., Fan S., Wallace V.P. Millimeter Wave Radiation Activates Leech Nociceptors via TRPV1-Like Receptor Sensitization // *Biophys. J.* 2019. Vol. 116, № 12. P. 2331–2345. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2019.04.021>
28. Wang L.-F., Li X., Gao Y.-B., Wang S.-M., Zhao L., Dong J., Yao B.-W., Xu X.-P., Chang G.-M., Zhou H.-M., Hu X.-J., Peng R.-Y. Activation of VEGF/Flk-1-ERK Pathway Induced Blood–Brain Barrier Injury After Microwave Exposure // *Mol. Neurobiol.* 2015. Vol. 52, № 1. P. 478–491. <https://doi.org/10.1007/s12035-014-8848-9>
29. Pikov V., Arakaki X., Harrington M., Fraser S.E., Siegel P.H. Modulation of Neuronal Activity and Plasma Membrane Properties with Low-Power Millimeter Waves in Organotypic Cortical Slices // *J. Neural Eng.* 2010. Vol. 7, № 4. Art. № 045003. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/7/4/045003>
30. Huang M., Liang C., Li S., Zhang J., Guo D., Zhao B., Liu Y., Peng Y., Xu J., Liu W., Guo G., Shi L. Two Autism/Dyslexia Linked Variations of *DOCK4* Disrupt the Gene Function on Rac1/Rap1 Activation, Neurite Outgrowth, and Synapse Development // *Front. Cell. Neurosci.* 2020. Vol. 13. Art. № 577. <https://doi.org/10.3389/fncel.2019.00577>
31. Фоминова В.Н., Гурина О.И., Шепелева И.И., Попова Т.Н., Кекелидзе З.И., Чехонин В.П. Нейротрофический фактор головного мозга: структура и взаимодействие с рецепторами // *Рос. психиатр. журн.* 2018. № 4. С. 64–72.
32. Сутормина Н.В. Роль нейротрофического фактора мозга (BDNF) в физической активности (обзор) // *Комплекс. исслед. детства.* 2022. Т. 4, № 2. С. 124–133. <https://doi.org/10.33910/2687-0223-2022-4-2-124-133>
33. İkinç A., Mercantepe T., Unal D., Erol H.S., Şahin A., Aslan A., Baş O., Erdem H., Sönmez O.F., Kaya H., Odacı E. Morphological and Antioxidant Impairments in the Spinal Cord of Male Offspring Rats Following Exposure to a Continuous 900 MHz Electromagnetic Field During Early and Mid-Adolescence // *J. Chem. Neuroanat.* 2016. Vol. 75, pt B. P. 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2015.11.006>
34. Kim J.H., Yu D.-H., Huh Y.H., Lee E.H., Kim H.-G., Kim H.R. Long-Term Exposure to 835 MHz RF-EMF Induces Hyperactivity, Autophagy and Demyelination in the Cortical Neurons of Mice // *Sci. Rep.* 2017. Vol. 7. Art. № 41129. <https://doi.org/10.1038/srep41129>
35. Sharma A., Sharma S., Shrivastava S., Singhal P.K., Shukla S. Mobile Phone Induced Cognitive and Neurochemical Consequences // *J. Chem. Neuroanat.* 2019. Vol. 102. Art. № 101684. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2019.101684>
36. Sharma A., Shrivastava S., Singh A., Gupte S.S., Rathour A., Reshi M.S., Shukla S. Evidences of the Radiofrequency Exposure on the Antioxidant Status, Potentially Contributing to the Inflammatory Response and Demyelination in Rat Brain // *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2022. Vol. 94. Art. № 103903. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2022.103903>
37. Tang J., Zhang Y., Yang L., Chen Q., Tan L., Zuo S., Feng H., Chen Z., Zhu G. Exposure to 900 MHz Electromagnetic Fields Activates the mcp-1/ERK Pathway and Causes Blood–Brain Barrier Damage and Cognitive Impairment in Rats // *Brain Res.* 2015. Vol. 1601. P. 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.01.019>
38. Finnie J.W., Blumbergs P.C., Manavis J., Utteridge T.D., Gebiski V., Davies R.A., Vernon-Roberts B., Kuchel T.R. Effect of Long-Term Mobile Communication Microwave Exposure on Vascular Permeability in Mouse Brain // *Pathology.* 2002. Vol. 34, № 4. P. 344–347. <https://doi.org/10.1080/003130202760120517>
39. Kuribayashi M., Wang J., Fujiwara O., Doi Y., Nabae K., Tamano S., Ogiso T., Asamoto M., Shirai T. Lack of Effects of 1439 MHz Electromagnetic Near Field Exposure on the Blood–Brain Barrier in Immature and Young Rats // *Bioelectromagnetics.* 2005. Vol. 26, № 7. P. 578–588. <https://doi.org/10.1002/bem.20138>
40. Schirmacher A., Winters S., Fischer S., Goeke J., Galla H.J., Kullnick U., Ringelstein E.B., Stögbauer F. Electromagnetic Fields (1.8 GHz) Increase the Permeability to Sucrose of the Blood–Brain Barrier *in vitro* // *Bioelectromagnetics.* 2000. Vol. 21, № 5. P. 338–345.

## References

1. Khorseva N.I., Grigor'ev Yu.G., Grigor'ev P.E. Influence of Low-Intensity Electromagnetic Fields on the Organism's Antenatal Development. Part 1. From Gametogenesis to Birth. *J. Med. Biol. Res.*, 2017, vol. 5, no. 4, pp. 42–54. <http://dx.doi.org/10.17238/issn2542-1298.2017.5.4.42>
2. Khorseva N.I., Grigor'ev Yu.G., Grigor'ev P.E. Influence of Low-Intensity Electromagnetic Fields on the Organism's Antenatal Development. Part 2. Late Effects During the Postnatal Period (Review). *J. Med. Biol. Res.*, 2018, vol. 6, no. 1, pp. 41–55. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2018.6.1.41>

3. Grigor'ev Yu.G., Grigor'ev O.A. *Sotovaya svyaz' i zdorov'e: elektromagnitnaya obstanovka, radiobiologicheskie i gigienicheskie problemy, prognoz opasnosti* [Cellular Communication and Health: Electromagnetic Environment, Radiobiology and Hygiene Problems, Forecast of Danger]. Moscow, 2013. 567 p.

4. Grigor'ev Yu.G., Khorseva N.I. *Mobil'naya svyaz' i zdorov'e detey. Otsenka opasnosti primeneniya mobil'noy svyazi det'mi i podrostkami. Rekomendatsii detyam i roditelyam* [Mobile Communications and Child Health. Risk Assessment of the Use of Mobile Communications by Children and Adolescents. Recommendations for Children and Their Parents]. Moscow, 2014. 230 p.

5. Lai Y.-F., Wang H.-Y., Peng R.-Y. Establishment of Injury Models in Studies of Biological Effects Induced by Microwave Radiation. *Mil. Med. Res.*, 2021, vol. 8, no. 1. Art. no. 12. <https://doi.org/10.1186/s40779-021-00303-w>

6. Redmayne M., Johansson O. Could Myelin Damage from Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure Help Explain the Functional Impairment Electrohypersensitivity? A Review of the Evidence. *J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev.*, 2014, vol. 17, no. 5, pp. 247–258. <https://doi.org/10.1080/10937404.2014.923356>

7. Zhi W.-J., Wang L.-F., Hu X.-J. Recent Advances in the Effects of Microwave Radiation on Brains. *Mil. Med. Res.*, 2017, vol. 4, no. 1. Art. no. 29. <https://doi.org/10.1186/s40779-017-0139-0>

8. Narayanan S.N., Jetti R., Kesari K.K., Kumar R.S., Nayak S.B., Bhat P.G. Radiofrequency Electromagnetic Radiation-Induced Behavioral Changes and Their Possible Basis. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2019, vol. 26, no. 30, pp. 30693–30710. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06278-5>

9. Kim J.H., Lee J.-K., Kim H.-G., Kim K.-B., Kim H.R. Possible Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure on Central Nerve System. *Biomol. Ther.*, 2019, vol. 27, no. 3, pp. 265–275. <https://doi.org/10.4062/biomolther.2018.152>

10. Romeo S., Zeni O., Scarfi M.R., Poeta L., Lioi M.B., Sannino A. Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure and Apoptosis: A Scoping Review of *in vitro* Studies on Mammalian Cells. *Int. J. Mol. Sci.*, 2022, vol. 23, no. 4. Art. no. 2322. <https://doi.org/10.3390/ijms23042322>

11. Markov M., Grigoriev Yu.G. Wi-Fi Technology – an Uncontrolled Global Experiment on the Health of Mankind. *Electromagn. Biol. Med.*, 2013, vol. 32, no. 2, pp. 200–208. <https://doi.org/10.3109/15368378.2013.776430>

12. Grigoriev Yu.G., Samoylov A.S. *5G-standart sotovoy svyazi. Summarnaya radiobiologicheskaya otsenka opasnosti planetarnogo elektromagnitnogo oblucheniya naseleniya* [5G Cellular Standards. Total Radiobiological Assessment of the Danger of Planetary Electromagnetic Radiation Exposure to the Population]. Moscow, 2021. 220 p.

13. Karipidis K., Mate R., Urban D., Tinker R., Wood A. 5G Mobile Networks and Health – a State-of-the-Science Review of the Research into Low-Level RF Fields Above 6 GHz. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, 2021, vol. 31, no. 4, pp. 585–605. <https://doi.org/10.1038/s41370-021-00297-6>

14. Nyberg N.R., McCredden J.E., Weller S.G., Hardell L. The European Union Prioritises Economics over Health in the Rollout of Radiofrequency Technologies. *Rev. Environ. Health*, 2022, vol. 39, no. 1, pp. 47–64. <https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0106>

15. Hu C., Zuo H., Li Y. Effects of Radiofrequency Electromagnetic Radiation on Neurotransmitters in the Brain. *Front. Public Health*, 2021, vol. 9. Art. no. 691880. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.691880>

16. Sienkiewicz Z., van Rongen E. Can Low-Level Exposure to Radiofrequency Fields Effect Cognitive Behaviour in Laboratory Animals? A Systematic Review of the Literature Related to Spatial Learning and Place Memory. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2019, vol. 16, no. 9. Art. no. 1607. <https://doi.org/10.3390/ijerph16091607>

17. Ning W., Xu S.-J., Chiang H., Xu Z.-P., Zhou S.-Y., Yang W., Luo J.-H. Effects of GSM 1800 MHz on Dendritic Development of Cultured Hippocampal Neurons. *Acta Pharmacol. Sin.*, 2007, vol. 28, no. 12, pp. 1873–1880. <https://doi.org/10.1111/j.1745-7254.2007.00668.x>

18. Li Y., Deng P., Chen C., Ma Q., Pi H., He M., Lu Y., Gao P., Zhou C., He Z., Zhang Y., Yu Z., Zhang L. 1,800 MHz Radiofrequency Electromagnetic Irradiation Impairs Neurite Outgrowth with a Decrease in Rap1-GTP in Primary Mouse Hippocampal Neurons and Neuro2a Cells. *Front. Public Health*, 2021, vol. 9. Art. no. 771508. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.771508>

19. Echchgadda I., Cantu J.C., Tolstykh G.P., Butterworth J.W., Payne J.A., Ibey B.L. Changes in the Excitability of Primary Hippocampal Neurons Following Exposure to 3.0 GHz Radiofrequency Electromagnetic Fields. *Sci. Rep.*, 2022, vol. 12. Art. no. 3506. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06914-0>

20. Kim J.H., Chung K.H., Hwang Y.R., Park H.R., Kim H.J., Kim H.-G., Kim H.R. Exposure to RF-EMF Alters Postsynaptic Structure and Hinders Neurite Outgrowth in Developing Hippocampal Neurons of Early Postnatal Mice. *Int. J. Mol. Sci.*, 2021, vol. 22, no. 10. Art. no. 5340. <https://doi.org/10.3390/ijms22105340>

21. Chen C., Ma Q., Liu C., Deng P., Zhu G., Zhang L., He M., Lu Y., Duan W., Pei L., Li M., Yu Z., Zhou Z. Exposure to 1800 MHz Radiofrequency Radiation Impairs Neurite Outgrowth of Embryonic Neural Stem Cells. *Sci. Rep.*, 2014, vol. 4. Art. no. 5103. <https://doi.org/10.1038/srep05103>
22. Chen C., Ma Q., Deng P., Lin M., Gao P., He M., Lu Y., Pi H., He Z., Zhou C., Zhang Y., Yu Z., Zhang L. 1800 MHz Radiofrequency Electromagnetic Field Impairs Neurite Outgrowth Through Inhibiting EphA5 Signaling. *Front. Cell Dev. Biol.*, 2021, vol. 9. Art. no. 657623. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.657623>
23. Su L., Yimaer A., Xu Z., Chen G. Effects of 1800 MHz RF-EMF Exposure on DNA Damage and Cellular Functions in Primary Cultured Neurogenic Cells. *Int. J. Radiat. Biol.*, 2018, vol. 94, no. 3, pp. 295–305. <https://doi.org/10.1080/09553002.2018.1432913>
24. Eghlidospour M., Ghanbari A., Mortazavi S.M.J., Azari H. Effects of Radiofrequency Exposure Emitted from a GSM Mobile Phone on Proliferation, Differentiation, and Apoptosis of Neural Stem Cells. *Anat. Cell Biol.*, 2017, vol. 50, no. 2, pp. 115–123. <https://doi.org/10.5115/acb.2017.50.2.115>
25. El Khoueiry C., Moretti D., Renom R., Camera F., Garenne A., Poullietier De Gannes F., Poque-Haro E., Lagroye I., Veyret B., Lewis N. Decreased Spontaneous Electrical Activity in Neuronal Networks Exposed to Radiofrequency 1,800 MHz Signals. *J. Neurophysiol.*, 2018, vol. 120, no. 6, pp. 2719–2729. <https://doi.org/10.1152/jn.00589.2017>
26. Romanenko S., Siegel P.H., Wagenaar D.A., Pikov V. Effects of Millimeter Wave Irradiation and Equivalent Thermal Heating on the Activity of Individual Neurons in the Leech Ganglion. *J. Neurophysiol.*, 2014, vol. 112, no. 10, pp. 2423–2431. <https://doi.org/10.1152/jn.00357.2014>
27. Romanenko S., Harvey A.R., Hool L., Fan S., Wallace V.P. Millimeter Wave Radiation Activates Leech Nociceptors via TRPV1-Like Receptor Sensitization. *Biophys. J.*, 2019, vol. 116, no. 12, pp. 2331–2345. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2019.04.021>
28. Wang L.-F., Li X., Gao Y.-B., Wang S.-M., Zhao L., Dong J., Yao B.-W., Xu X.-P., Chang G.-M., Zhou H.-M., Hu X.-J., Peng R.-Y. Activation of VEGF/Flk-1-ERK Pathway Induced Blood–Brain Barrier Injury After Microwave Exposure. *Mol. Neurobiol.*, 2015, vol. 52, no. 1, pp. 478–491. <https://doi.org/10.1007/s12035-014-8848-9>
29. Pikov V., Arakaki X., Harrington M., Fraser S.E., Siegel P.H. Modulation of Neuronal Activity and Plasma Membrane Properties with Low-Power Millimeter Waves in Organotypic Cortical Slices. *J. Neural Eng.*, 2010, vol. 7, no. 4. Art. no. 045003. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/7/4/045003>
30. Huang M., Liang C., Li S., Zhang J., Guo D., Zhao B., Liu Y., Peng Y., Xu J., Liu W., Guo G., Shi L. Two Autism/Dyslexia Linked Variations of *DOCK4* Disrupt the Gene Function on Rac1/Rap1 Activation, Neurite Outgrowth, and Synapse Development. *Front. Cell. Neurosci.*, 2020, vol. 13. Art. no. 577. <https://doi.org/10.3389/fncel.2019.00577>
31. Fominova U.N., Gurina O.I., Shepeleva I.I., Popova T.N., Kekelidze Z.I., Chekhonin V.P. Neyrotroficheskiy faktor golovnogo mozga: struktura i vzaimodeystvie s retseptorami [Brain-Derived Neurotrophic Factor: Structure and Interaction with Receptors]. *Rossiyskiy psikiatricheskiy zhurnal*, 2018, no. 4, pp. 64–72.
32. Sutormina N.V. Brain-Derived Neurotrophic Factor and Physical Activity: A Review. *Compr. Child Stud.*, 2022, vol. 4, no. 2, pp. 124–133. <https://doi.org/10.33910/2687-0223-2022-4-2-124-133>
33. İkinci A., Mercantepe T., Unal D., Erol H.S., Şahin A., Aslan A., Baş O., Erdem H., Sönmez O.F., Kaya H., Odacı E. Morphological and Antioxidant Impairments in the Spinal Cord of Male Offspring Rats Following Exposure to a Continuous 900 MHz Electromagnetic Field During Early and Mid-Adolescence. *J. Chem. Neuroanat.*, 2016, vol. 75, pt. B, pp. 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2015.11.006>
34. Kim J.H., Yu D.-H., Huh Y.H., Lee E.H., Kim H.-G., Kim H.R. Long-Term Exposure to 835 MHz RF-EMF Induces Hyperactivity, Autophagy and Demyelination in the Cortical Neurons of Mice. *Sci. Rep.*, 2017, vol. 7. Art. no. 41129. <https://doi.org/10.1038/srep41129>
35. Sharma A., Sharma S., Shrivastava S., Singhal P.K., Shukla S. Mobile Phone Induced Cognitive and Neurochemical Consequences. *J. Chem. Neuroanat.*, 2019, vol. 102. Art. no. 101684. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2019.101684>
36. Sharma A., Shrivastava S., Singh A., Gupte S.S., Rathour A., Reshi M.S., Shukla S. Evidences of the Radiofrequency Exposure on the Antioxidant Status, Potentially Contributing to the Inflammatory Response and Demyelination in Rat Brain. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 2022, vol. 94. Art. no. 103903. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2022.103903>

37. Tang J., Zhang Y., Yang L., Chen Q., Tan L., Zuo S., Feng H., Chen Z., Zhu G. Exposure to 900 MHz Electromagnetic Fields Activates the mep-1/ERK Pathway and Causes Blood-Brain Barrier Damage and Cognitive Impairment in Rats. *Brain Res.*, 2015, vol. 1601. Art. no. 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.01.019>

38. Finnie J.W., Blumbergs P.C., Manavis J., Utteridge T.D., Gebski V., Davies R.A., Vernon-Roberts B., Kuchel T.R. Effect of Long-Term Mobile Communication Microwave Exposure on Vascular Permeability in Mouse Brain. *Pathology*, 2002, vol. 34, no. 4, pp. 344–347. <https://doi.org/10.1080/003130202760120517>

39. Kuribayashi M., Wang J., Fujiwara O., Doi Y., Nabae K., Tamano S., Ogiso T., Asamoto M., Shirai T. Lack of Effects of 1439 MHz Electromagnetic Near Field Exposure on the Blood–Brain Barrier in Immature and Young Rats. *Bioelectromagnetics*, 2005, vol. 26, no. 7, pp. 578–588. <https://doi.org/10.1002/bem.20138>

40. Schirmacher A., Winters S., Fischer S., Goeke J., Galla H.J., Kullnick U., Ringelstein E.B., Stögbauer F. Electromagnetic Fields (1.8 GHz) Increase the Permeability to Sucrose of the Blood–Brain Barrier *in vitro*. *Bioelectromagnetics*, 2000, vol. 21, no. 5, pp. 338–345.

*Поступила в редакцию 15.09.2023 / Одобрена после рецензирования 27.12.2023 / Принята к публикации 05.02.2024.*  
*Submitted 15 September 2023 / Approved after reviewing 27 December 2023 / Accepted for publication 5 February 2024.*

Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 2. С. 240–252.  
*Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 240–252.

Обзорная статья  
УДК [612.8.04+612.81]:[616-008.64+616-009]  
DOI: 10.37482/2687-1491-Z182

## Роль ацетилхолиновой системы и ее компонентов в формировании постковидных синдромов (обзор)

Сергей Петрович Лысенков\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1179-8938>  
Дмитрий Витальевич Муженя\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4379-0634>

\*Майкопский государственный технологический университет  
(Майкоп, Россия)

**Аннотация.** Согласно последним опубликованным данным, COVID-19 классифицируется как респираторный вирус. Однако доказано, что он вызывает значительную полиорганную дисфункцию. Несмотря на повышение эффективности тактики лечения, у пациентов после выздоровления наблюдается постковидный симптомокомплекс, проявляющийся в виде головной боли, «тумана в голове», высокой температуры, мышечной слабости, снижения (или повышения) артериального давления. Для описания этого состояния предложена клиническая характеристика – постострый синдром COVID-19 (PACS). Примерно у 57 % пациентов, госпитализированных с COVID-19, наблюдаются симптомы PACS даже через 1 год после первоначального заражения COVID-19. Данное патологическое состояние активно изучается, однако вопрос о причинах возникновения PACS и механизмах его развития остается открытым. Одной из возможных причин указанной симптоматики, по мнению авторов статьи, является нарушение в работе ацетилхолиновой системы и ее компонентов в организме. Эта система играет интегральную роль в различных физиологических и патофизиологических процессах, таких как регуляция мышечной системы, иммунные и воспалительные реакции, заживление ран, развитие сердечно-сосудистых, респираторных и других заболеваний. Ключевой способ трансляции сигналов ацетилхолиновой системы в организме – синаптическая передача посредством химического синапса. На основе современных литературных данных можно сделать вывод, что вирусная инвазия способна существенно изменить функциональную активность блуждающего нерва путем нарушения передачи сигнала в синапсе. Авторы статьи полагают, что гипериммунный ответ, вызванный COVID-19, запускает цепь патологических механизмов, которые связаны с нарушением продукции оксида азота, баланса ацетилхолина и его рецепторов. Понимание этих процессов, возможно, открывает перспективы для повышения эффективности лечения и реабилитации пациентов с COVID-19.

**Ключевые слова:** нарушение работы ацетилхолиновой системы, нервно-мышечный синапс, нарушение синаптической сигнализации, последствия COVID-19, постковидный синдром

**Для цитирования:** Лысенков, С. П. Роль ацетилхолиновой системы и ее компонентов в формировании постковидных синдромов (обзор) / С. П. Лысенков, Д. В. Муженя // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 240-252. – DOI 10.37482/2687-1491-Z182.

**Ответственный за переписку:** Дмитрий Витальевич Муженя, адрес: 385000, г. Майкоп, ул. Первомайская, д. 191; e-mail: dmuzhenya@mail.ru

Review article

## The Role of the Acetylcholine System and Its Components in the Development of Post-COVID Syndromes (Review)

Sergey P. Lysenkov\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1179-8938>  
Dmitriy V. Muzhenya\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4379-0634>

\*Maykop State Technological University  
(Maykop, Russia)

**Abstract.** According to the latest data, COVID-19 is classified as a respiratory virus. However, it has been proven to cause a significant multi-organ dysfunction. Despite the increase in the effectiveness of treatment tactics, a post-COVID-19 symptom complex has been observed in patients after recovery, manifesting itself as cephalalgia, brain fog, high fever, muscle weakness and a decrease (or increase) in arterial pressure. To describe this condition, a clinical characteristic has been proposed: post-acute COVID-19 syndrome (PACS). Approximately 57 % of patients hospitalized with COVID-19 have symptoms of PACS even one year after initial infection with COVID-19. This pathological condition is being actively studied, but the question of the causes of PACS and its development mechanisms remains open. One of the possible reasons behind this symptomatology, in our opinion, is a disorder of the body's acetylcholine system and its components. The acetylcholine system plays an integral role in various physiological and pathophysiological processes, such as the regulation of the muscular system, immune and inflammatory reactions, wound healing, as well as the development of cardiovascular, respiratory and other diseases. A key way of translating acetylcholine signals in the body is through the use of neurotransmission via a chemical synapse. Based on current literature data, there is reason to believe that viral invasion can significantly change the functional activity of the vagus nerve by disrupting signal transmission in a synapse. We believe that the hyperimmune response caused by COVID-19 triggers a chain of pathological mechanisms that are associated with disrupted nitric oxide production and imbalance in acetylcholine and its receptors. An understanding of these processes may open up prospects for improving the effectiveness of treatment and rehabilitation of patients with COVID-19.

**Keywords:** *acetylcholine system disorder; neuromuscular junction, synaptic signalling disorder; consequences of COVID-19, post-COVID syndrome*

**For citation:** Lysenkov S.P., Muzhenya D.V. The Role of the Acetylcholine System and Its Components in the Development of Post-COVID Syndromes (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 240–252. DOI: 10.37482/2687-1491-Z182

Коронавирус-19 (COVID-19) – это вирусное заболевание тяжелого острого респираторного синдрома, вызываемое коронавирусом-2 (SARS-CoV-2). В период с 2019 по 2023 год

наблюдалась пандемия COVID-19 и, согласно статистике, во всем мире заразились почти 700 млн чел., из которых 6 831 756 умерли [1]. Вопреки тому, что данное заболевание класси-

---

**Corresponding author:** Dmitriy Muzhenya, address: ul. Pervomaiskaya 191, Maykop, 385000, Russia; e-mail: dmuzhenya@mail.ru

фицируется как респираторный вирус, доказано, что оно вызывает значительную полиорганную дисфункцию в условиях острой фазы, включая острый респираторный дистресс-синдром, повреждение почек, печени, миокарда и системный шок [2, 3].

Следует отметить, что, несмотря на излечение от заболевания у многих людей наблюдается дисфункция систем органов в постинфекционный период [4, 5]. Для описания ряда полиорганных нарушений и их симптомов, которые возникают или сохраняются в течение 4–12 недель после выздоровления, предложена клиническая характеристика – постострый синдром COVID-19 (PACS). Примерно у 57 % пациентов, госпитализированных с COVID-19, наблюдаются симптомы PACS даже через 1 год после первоначального заражения. Наиболее часто описываемые симптомы включают головную боль, «туман в голове», периодическое повышение температуры, мышечную слабость, нарушение памяти и т. д. [6]. Например, в работе S. Willi et al. отмечается, что у обследуемых, перенесших COVID-19, наблюдались: повышенная утомляемость (39–73 % случаев); одышка (39–74 % случаев); нарушения функции легких, включая фиброз (39–83 % случаев); признаки перифокального миокардита (3–26 % случаев); изменения микроструктуры и функциональной целостности мозга со стойкими неврологическими симптомами (55 % случаев); повышенная частота психиатрических диагнозов (5,8 % случаев) [7].

Однако вопрос о причинах возникновения PACS и механизмах его развития остается открытым. Одной из возможных причин, на наш взгляд, является нарушение в функционировании ацетилхолиновой системы (АХС) и ее компонентов в организме.

АХС работает как мощный кооперативный аппарат, имеющий множественные информационные входы и выходы от многочисленных структур мозга [8–10]. Она является важной составляющей правильного развития мозга и его функций, которая обеспечивает синаптическую пластичность, необходимую для формирования памяти и обучения [11, 12].

АХС играет огромную роль в различных физиологических и патофизиологических процессах, включая регуляцию мышечной системы, иммунные и воспалительные реакции, заживление ран, развитие сердечно-сосудистых, респираторных и других заболеваний [13–15].

Основным способом трансляции информации в нервной системе является синаптическая передача посредством химического синапса. Нервно-мышечный и центральный синапсы имеют много общего и состоят из пресинаптической области нервного окончания, синаптической щели и постсинаптической области (двигательная концевая пластинка) [16, 17].

Терминал нервного волокна содержит ацетилхолин (ACh) в везикулах диаметром 35–50 нм. Важными образованиями являются плотные полоски – активные зоны, через которые происходит выброс ACh в синаптическую щель. ACh высвобождается в специальной зоне пресинаптической мембраны после того, как был выполнен вход ионов кальция через потенциал-зависимые  $Ca^{2+}$ -каналы. Слияние везикул происходит с помощью белков синаптобревина, синтаксина, SNAP-25, а регулируется холестерином-связывающими белками (синаптогмином) и активными молекулами (НАДФН-оксидаза). Процесс слияния белковых и липидных компонентов является стимулом для экзоцитоза нейромедиатора, а доставка везикул к местам выведения зависит от функций актина и синапсинов [18, 19].

На постсинаптической мембране имеются складки шириной 50–100 нм, которые увеличивают площадь соприкосновения с медиатором; у человека таких складок насчитывается 7–8 шт. В них (особенно в области углубления) находятся никотиновые ацетилхолиновые рецепторы плотностью 100 000 на  $1 \mu\text{m}^2$  [20]. Также в постсинаптической мембране нервно-мышечного синапса имеются кавеолы, состоящие из белков кавеолинов (их насчитывают 6 форм). Кавеола – это своеобразный карман бислоя, в котором содержатся в высокой концентрации сфинголипиды, холестерин, а также

NO-синтаза [21], присутствуют протеинкиназы, рецепторы ростовых факторов, эндотелиальная NO-синтаза, фосфолипазы, G-белки, ионные каналы и транспортеры, рецепторы и др. [22]. Белок кавелин-3 обнаруживается в мышечных, а также глиальных клетках и периферических нервных волокнах, имеющих ACh-рецепторы (AChR) [23].

ACh активирует  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -проводимость (возможно,  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ ) постсинаптической мембраны или концевой пластинки с генерацией распространяющегося потенциала действия. Следует отметить, что количество рецепторов на постсинаптической мембране управляется малыми GTPases (Rab II) и протеинкиназами (Cds42, GSK3 $\beta$ , фосфоинозитол-3-киназа). Снижение уровня холестерина в пре- и постсинаптических мембранах может вызывать «рассеивание»  $\text{Ca}^{2+}$ -каналов по поверхности плазматической мембраны и угнетение нейросекреции [24, 25]. Эти процессы способны нарушать синаптическую передачу. Недавно доказана ведущая роль холестерина в поддержании функции  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -аденозинтрифосфатазы в пуринергическом синапсе [26]. Можно предположить аналогичные механизмы в ACh-синапсе.

ACh после взаимодействия с AChR быстро разрушается ацетилхолинэстеразой, большая часть продуктов деградации поступает обратно в пресинаптическую область, а малая часть диффундирует во внесинаптические регионы. В нервных окончаниях ACh-синапсов обнаруживаются и другие нейропептиды: кальцитонин-ген-связанный пептид, вазоактивный интестинальный пептид. Они также участвуют в синаптической передаче и входят в состав парасимпатической нервной системы (получившей название «нехолиновая система»), которая расположена преимущественно в головном мозге [27].

Известно, что ACh и его никотиновые рецепторы (nAChR) являются одними из ключевых компонентов центральной нервной системы (ЦНС), а холинергический путь играет важную роль в модуляции воспалительной реакции [28]. Установлено, что стимуляция гомо-

пентамерного  $\alpha 7$  nAChR, присутствующего на поверхности тканевых макрофагов, блокирует экспрессию провоспалительных цитокинов, таких как TNF- $\alpha$ , IL-1, IL-6 [29]. Есть основания считать, что вирусная инвазия может существенно изменить функциональную активность как самого блуждающего нерва, так и его рецепторов.

Согласно последним исследованиям, количество AChR поддерживается за счет как вставки вновь синтезированных, так и повторного их использования путем так называемой рециркуляции [30]. Баланс между синтезом и разрушением рецепторов играет важную роль в поддержании нормального функционирования синапса. Однако при развитии патологических заболеваний этот процесс может нарушаться и вызывать негативные последствия. Например, при исследовании «миастении гравис» установлено, что образующиеся антитела к nAChR на поверхности мышечных клеток вызывают интернализацию и деградацию nAChR. Поскольку интернализированные и деградированные рецепторы не заменяются за счет увеличения синтеза новых nAChR, происходит общее снижение количества нормальных nAChR в нервно-мышечных соединениях с последующей потерей синаптической эффективности [31, 32].

Следует отметить статью N. Alexandris et al., авторы которой на основании модельного эксперимента взаимодействия SARS-CoV-2 с nAChR предположили в качестве одной из причин нарушения работы АХС то, что гликопротеиновая спайка SARS-CoV-2, несущая «токсиподобную» последовательность в своем рецептор-связывающем домене, может взаимодействовать  $\alpha$ -субъединицами никотиновых рецепторов (nAChR), в частности с  $\alpha 7$  nAChR, подавляя активность АХС [33].

E.G. Bruneau, M. Akaaboune показали, что в нервно-мышечном препарате крысы при денервации мышц, а также фармакологической блокаде нерва наблюдается не только увеличение скорости удаления восстанавливаемых рецепторов, но и снижение скорости образования новых [34].

Однако механизм нарушений синаптической передачи, возникающий при COVID-19, скорее всего, отличается от описанных выше. Мы полагаем, что данные нарушения могут быть связаны с гиперпродукцией оксида азота и образованием таких токсических соединений в синапсах, как пероксинитрит ( $\text{ONOO}^-$ ). По нашему мнению, токсическое действие пероксинитрита при цитокиновом шторме может быть одной из главных причин сбоя при передаче сигнала, поскольку он может окислять рецепторы и другие структуры синапса, а также нарушать образование новых. В настоящее время показана роль оксида азота в формировании воспалительной реакции при ковидной инфекции. Выступая как элемент противовирусной защиты, он переводит физиологическую воспалительную реакцию в патологическую.

Оксид азота может влиять на процесс выхода ионов кальция из эндоплазматического ретикулума, а также ускорять процесс экзоцитоза нейромедиаторов на пресинаптической мембране путем повышения активности  $\text{Ca}^{2+}$ -каналов [35, 36]. Кроме того, мишенью для оксида азота служат самые различные синаптические белки. Наиболее изученной в этом плане является растворимая гуанилатциклаза (sGC), которая может активироваться оксидом азота и обратимо десенситизироваться [37]. В работе С.Е. Проскуриной было убедительно показано, что эндогенный оксид азота способен ингибировать ацетилхолинэстеразу в нервно-мышечном синапсе млекопитающих (крыс) [38]. Этот эффект, по-видимому, играет важную роль в повышении функциональной активности синапса.

Известно, что оксид азота ингибирует синтез и действие ацетилхолинэстеразы (АХЭ), что проявляется в более длительной активации АChR, открытии  $\text{Na}^+$ -,  $\text{Ca}^{2+}$ -каналов и замедлении их инактивации. По аналогии с этим процессом установлено, что при активации NMDA-рецепторов глутаматом и глицином наблюдаются похожие амплитудно-временные параметры ингиби-

рования АХЭ [39, 40]. Однако вследствие развития патологического процесса (воспаления) возникает гиперпродукция оксида азота, которая может приводить к образованию токсического продукта пероксинитрита.

Пероксинитрит вступает в реакции с липидами пре- и постсинаптических мембран, нарушает процессы эндо- и экзоцитоза АCh. Кроме того, происходит окисление и денатурирование белково-липидных комплексов АCh,  $\text{Na}^+$ -,  $\text{Ca}^{2+}$ -каналов [41]. Все эти соединения начинают приобретать свойства антигенов. Формируется аутоиммунная реакция с выработкой соответствующих антител, нарушающих работу АCh-синапсов (возможно, и других синапсов). Действительно, в ряде исследований в постковидном периоде обнаружены антитела к АChR. В связи с этим во второй фазе инфекционного процесса, после цитокинового шторма, АChR могут частично блокироваться собственными аутоантителами. Возникает один из вариантов миастении [32, 42, 43].

Необходимо отметить, что уменьшение концентрации холестерина вследствие действия пероксинитрита приводит к уплощению структуры кавеол или их исчезновению. Следует предположить, что в условиях активного воспалительного процесса нарушаются процессы с угнетением генерации потенциала действия на постсинаптической мембране и работа  $\text{K}^+/\text{Ca}^{2+}$ -насоса. Также было показано, что 5L-холестан-3-ОН, продукт окисления холестерина, не влияя на спонтанное выделение АCh, угнетал при низко- и высокочастотной стимуляции секрецию АCh и нарушал кратковременную синаптическую пластичность [43]. В свою очередь, активность 5L-холестан-3-ОН зависела от содержания мембранного холестерина. В эксперименте на мышах G.E. Grajales-Reyes et al. установили, что воздействие статинов приводит к снижению синтеза холестерина и нарушению работы АChR, что влечет за собой развитие синдрома миастении [44]. Усугубляются эти процессы тканевой гипоксией и нарушением внутриклеточного баланса ионов кальция.

Кальций является одним из ключевых участников не только синаптической передачи, но и мышечного сокращения. Согласно литературным данным, для адекватного мышечного сокращения необходимо, чтобы концентрация кальция между миофибриллами возросла примерно в 500 раз (до  $2 \cdot 10^{-4}$  ммоль/л). После завершения процесса ионы реабсорбируются в саркоплазматический ретикулум. Следует отметить, что процесс «откачки» энергозатратен и осуществляется с обязательным участием аденозинтрифосфатазы, т. к. идет против градиента концентрации. Если возникает дефицит синтеза аденозинтрифосфата (АТФ), то данный процесс замедляется. В запущенных случаях это может вызвать длительное сокращение (спазм) мышц [45, 46].

В результате проведенных исследований установлено, что коронавирус продуцирует специальный белок, который может собираться в виде виропоринов – проводников  $Ca^{2+}$ , что облегчает проникновение вируса в клетку. Активное поглощение ионов кальция митохондриями через поры в мембране вызывает осмотические изменения, которые влекут за собой набухание митохондрий и увеличение продукции активных форм кислорода. Накопление ионов кальция приводит к отклонению концентрационного баланса и, как следствие, может вызывать нарушения в синаптической передаче [47].

Однако, как мы отмечали выше, изменение синаптической передачи вследствие вирусной инвазии ЦНС может способствовать еще и нарушению мышечной работы во всем организме. Если обратиться к нервно-мышечному синапсу, то накопление ионов кальция в митохондриях и дефицит аденозинтрифосфатазы в саркоплазматическом ретикулуме формируют синдром миопатии. Появление целой группы триггеро-активаторов  $Ca^{2+}$ -каналов при ковидной инфекции сопровождается резким ростом ионов кальция в саркоплазме и активным гидролизом АТФ. По мере расходования АТФ наблюдается замедление работы  $Ca$ -аденозинтрифосфатазы, что вызывает задержку расслабления скелетных мышц и одновременно запуск анаэробного

дыхания в мышцах [39, 40]. Данный процесс может сопровождаться ростом задолженности по кислороду и накоплением молочной кислоты. Клинически это проявляется в виде быстрой мышечной утомляемости. Описанная ситуация представляет опасность для саркомеров, которые частично могут переходить в стадию апоптоза и некроза из-за гипоксии и перегрузки кальцием. В дополнение к этому возникающий системный эндотелиит при цитокиновом шторме вызывает нарушения кровотока в мышечной ткани и ресинтеза АТФ, а также развитие циркуляторной и тканевой гипоксии, метаболического ацидоза. Все указанные факторы являются компонентами нарушения нервно-мышечной передачи [48].

Следует также отметить, что многие пациенты после перенесенного COVID-19 часто жалуются на нарушения со стороны сердечно-сосудистой системы. В постковидный период выделяют синдромы постуральной ортостатической тахикардии и ортостатической гипотензии. Первый характеризуется устойчивым увеличением частоты сердечных сокращений в среднем на 30 уд/мин при переходе из положения лежа в положение стоя, продолжающимся в течение 10 мин в отсутствие ортостатической гипотонии. Синдром ортостатической гипотонии характеризуется снижением систолического артериального давления более чем на 20 мм рт. ст. и диастолического артериального давления более чем на 10 мм рт. ст. после 3 мин ортостаза. Синдром сопровождается одышкой, головокружением, сердцебиением, тремором. Эти симптомы могут проявляться на протяжении 3 месяцев [49, 50].

Мы полагаем, что после COVID-19 сбои в автономной нервной системе могут существенно влиять на функции сердечно-сосудистой системы, что выражается в неадекватности ортостатических реакций [51], обусловленной нарушением симпатического контроля тонуса сосудов при перераспределении объема крови под действием гравитации. Иннервация резистивных сосудов обеспечивается через

симпатические ганглии, включая ганглии надпочечников, медиатором в которых выступает ACh. Потеря симпатического тонуса обусловлена, вероятно, нарушением нервно-мышечной передачи в адренергических синапсах гладкой мускулатуры сосудов. Основанием для такого утверждения служат данные о том, что при COVID-19 одним из ведущих факторов прогрессирования заболевания является воспаление эндотелия (системный эндотелиит) [52]. В этих условиях нарушаются энергетические процессы в эндотелии с образованием микротромбов, формированием тканевой и циркуляторной гипоксии, а также развитием патологических изменений во всех нижележащих субэндотелиальных областях, включая мышцы сосудов и синапсы.

Однако, несмотря на сильное влияние центральных отделов регуляции, расположенных в ЦНС, на работу сердца через парасимпатический и симпатический отделы, необходимо принять во внимание то, что существуют внутрисердечные рефлекторные дуги, в состав которых входят клетки Догеля (1, 2, 3-го порядка) с медиатором ACh. Эти рефлексы в норме обеспечивают быструю перестройку работы сердца, вслед за которой включаются механизмы системной регуляции через сосудодвигательный и кардиоингибирующий центры, поддерживающие артериальное давление [53]. Потеря контроля со стороны блуждающего нерва, его афферентного и эфферентного звеньев, может сопровождаться приступами тахикардии и появлением эктопических очагов в миокарде. Аналогичные реакции отмечены в пожилом возрасте. Было показано, что с возрастом эффективность кардиовагальной барорецепторной регуляции снижается из-за модификации рецепторов дуги аорты, синокаротидной, кардиопульмональной и других рефлексогенных зон [54]. Более значимым доказательством несостоятельности нервной регуляции является ортостатическая гипотония, сопровождающаяся уменьшением венозного возврата в сердце в момент принятия вертикального положения, а в некоторых случаях

включением так называемого обратного рефлекса Бейнбриджа с развитием брадикардии и гипотонии. Физиологическая целесообразность этого рефлекса не совсем понятна, и, вероятнее всего, это проявление патологии [55].

В редких случаях возможно возникновение рефлекса Безольда–Яроша с развитием брадикардии, гипотонии и апноэ. Пусковым моментом этого рефлекса служит повышенная активность афферентного звена (рецепторов растяжения предсердий) блуждающего нерва при чрезмерном сокращении «пустых» желудочков. Рефлекс созвучен «обратному» рефлексу Бейнбриджа. Во многих случаях нарушения сердечной деятельности у лиц, перенесших COVID-19, имеет место сбой в функционировании АХС и ее взаимодействии с другими регуляторными системами [54].

Опираясь на анализ научной литературы, мы предлагаем рассмотреть в качестве дискуссионного вопроса один из возможных механизмов возникновения PACS вследствие нарушения в работе АХС. Указанные механизмы могут лежать в основе формирования патологических реакций в острый и отдаленный периоды инфекции. Мы предполагаем, что в условиях тяжелого течения COVID-19 формируется несостоятельность АХС, обусловленная гиперпродукцией провоспалительных интерлейкинов и оксида азота. Активация выброса ACh в синапсы с резким угнетением ацетилхолинэстеразной активности вызывает длительную активацию  $\text{Na}^+$ -каналов с последующим нарушением передачи сигналов в нервно-мышечном, нервном и нервно-иммунном синапсе. Гиперпродукция оксида азота сопровождается образованием мощного окислителя – пероксинитрита, вызывающего модификацию белковой и липидной составляющих AChR,  $\text{Ca}^{2+}$ -,  $\text{Na}^+$ -каналов, что в еще большей степени нарушает передачу сигналов в синапсах. Модификация белково-липидных соединений AChR, белково-липидных образований  $\text{Na}^+$ -,  $\text{Ca}^{2+}$ -каналов сопровождается иммунным ответом на собственные антигены. После активации выброса ACh в синапс, особенно в период ци-

токинового шторма, на этапе стихания процесса развивается холинергический дефицит. Формируется аутоиммунный хронический процесс с периодической манифестацией того или иного синдрома (артрита, артралгии, миалгии, ми-

астении, сахарного диабета, синдрома Гийена–Барре и др.). Фазность в активности АХС при вирусной инфекции диктует необходимость дифференцированного подхода к лечению на разных этапах воспалительной реакции.

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

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

### Список литературы

1. WHO COVID-19 Dashboard. URL: <https://covid19.who.int/> (дата обращения: 04.04.2023).
2. Huang C., Wang Y., Li X., Ren L., Zhao J., Hu Y., Zhang L., Fan G., Xu J., Gu X., Cheng Z., Yu T., Xia J., Wei Y., Wu W., Xie X., Yin W., Li X., Liu M., Xiao Y., Gao H., Guo L., Xie J., Wang G., Jiang R., Gao H., Jin Q., Wang J., Cao B. Clinical Features of Patients Infected with 2019 Novel Coronavirus in Wuhan, China // *Lancet*. 2020. Vol. 395, № 10223. P. 497–506. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30183-5)
3. Yahia A.I.O. Liver Injury and Dysfunction Associated with COVID-19: A Review Article // *Clin. Lab*. 2022. Vol. 68, № 1. <https://doi.org/10.7754/clin.lab.2021.210535>
4. Ayoubkhani D., Khunti K., Nafilyan V., Maddox T., Humberstone B., Diamond I., Banerjee A. Post-Covid Syndrome in Individuals Admitted to Hospital with Covid-19: Retrospective Cohort Study // *BMJ*. 2021. Vol. 372. Art. № n693. <https://doi.org/10.1136/bmj.n693>
5. Desai A.D., Lavelle M., Boursiquot B.C., Wan E.Y. Long-Term Complications of COVID-19 // *Am. J. Physiol. Cell Physiol*. 2022. Vol. 322, № 1. P. C1–C11. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00375.2021>
6. Tobler D.L., Pruzansky A.J., Naderi S., Ambrosy A.P., Slade J.J. Long-Term Cardiovascular Effects of COVID-19: Emerging Data Relevant to the Cardiovascular Clinician // *Curr. Atheroscler. Rep*. 2022. Vol. 24, № 7. P. 563–570. <https://doi.org/10.1007/s11883-022-01032-8>
7. Willi S., Lüthold R., Hunt A., Hänggi N.V., Sejdiu D., Scaff C., Bender N., Staub K., Schlagenhaupt P. COVID-19 Sequelae in Adults Aged Less Than 50 Years: A Systematic Review // *Travel Med. Infect. Dis*. 2021. Vol. 40. Art. № 101995. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2021.101995>
8. Haam J., Yakel J.L. Cholinergic Modulation of the Hippocampal Region and Memory Function // *J. Neurochem*. 2017. Vol. 142, suppl. 2. P. 111–121. <https://doi.org/10.1111/jnc.14052>
9. Mesulam M. The Cholinergic Lesion of Alzheimer's Disease: Pivotal Factor or Side Show? // *Learn. Mem*. 2004. Vol. 11, № 1. P. 43–49. <https://doi.org/10.1101/lm.69204>
10. Picciotto M.R., Higley M.J., Mineur Y.S. Acetylcholine as a Neuromodulator: Cholinergic Signaling Shapes Nervous System Function and Behavior // *Neuron*. 2012. Vol. 76, № 1. P. 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.08.036>
11. Ahmed N.Y., Knowles R., Dehorter N. New Insights into Cholinergic Neuron Diversity // *Front. Mol. Neurosci*. 2019. № 12. Art. № 204. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2019.00204>
12. Rima M., Lattouf Y., Younes M.A., Bullier E., Legendre P., Mangin J.-M., Hong E. Dynamic Regulation of the Cholinergic System in the Spinal Central Nervous System // *Sci. Rep*. 2020. Vol. 10. Art. № 15338. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72524-3>
13. Bosmans G., Shimizu G., Florens M., Gonzalez-Dominguez E., Matteoli G., Boeckxstaens G.E. Cholinergic Modulation of Type 2 Immune Responses // *Front. Immunol*. 2017. Vol. 8. Art. № 1873. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.01873>
14. Scott G.D., Fryer A.D. Role of Parasympathetic Nerves and Muscarinic Receptors in Allergy and Asthma // *Chem. Immunol. Allergy*. 2012. № 98. P. 48–69. <https://doi.org/10.1159/000336498>
15. Saw E.L., Pearson J.T., Schwenke D.O., Munasinghe P.E., Tsuchimochi H., Rawal S., Coffey S., Davis P., Bunton R., Van Hout I., Kai Y., Williams M.J.A., Kakinuma Y., Fronius M., Katare R. Activation of the Cardiac Non-Neuronal Cholinergic System Prevents the Development of Diabetes-Associated Cardiovascular Complications // *Cardiovasc. Diabetol*. 2021. Vol. 20, № 1. Art. № 50. <https://doi.org/10.1186/s12933-021-01231-8>

16. Eccles J.C., Fatt P., Koketsu K. Cholinergic and Inhibitory Synapses in a Pathway from Motor-Axon Collaterals to Motoneurons // *J. Physiol.* 1954. Vol. 126, № 3. P. 524–562. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1954.sp005226>
17. Chen J., Mizushige T., Nishimune H. Active Zone Density Is Conserved During Synaptic Growth but Impaired in Aged Mice // *J. Comp. Neurol.* 2012. Vol. 520, № 2. P. 434–452. <https://doi.org/10.1002/cne.22764>
18. Schiavo G., Stenbeck G., Rothman J.E., Söllner T.H. Binding of the Synaptic Vesicle v-SNARE, Synaptotagmin, to the Plasma Membrane t-SNARE, SNAP-25, Can Explain Docked Vesicles at Neurotoxin-Treated Synapses // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1997. Vol. 94, № 3. P. 997–1001. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.3.997>
19. White D.N., Stowell M.H.B. Room for Two: The Synaptophysin/Synaptobrevin Complex // *Front. Synaptic Neurosci.* 2021. Vol. 13. Art. № 740318. <https://doi.org/10.3389/fnsyn.2021.740318>
20. Krause M., Wernig A. The Distribution of Acetylcholine Receptors in the Normal and Denervated Neuromuscular Junction of the Frog // *J. Neurocytol.* 1985. Vol. 14, № 5. P. 765–780. <https://doi.org/10.1007/BF01170827>
21. Fujita A., Cheng J., Tauchi-Sato K., Takenawa T., Fujimoto T. A Distinct Pool of Phosphatidylinositol 4,5-Bisphosphate in Caveolae Revealed by a Nanoscale Labeling Technique // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2009. Vol. 106, № 23. P. 9256–9261. <https://doi.org/10.1073/pnas.0900216106>
22. Петров А.М., Зефиоров А.И. Холестерин и липидные плотники биологических мембран. Роль в секреции, рецепции и функционировании ионных каналов // *Успехи физиол. наук.* 2013. Т. 44, № 1. С. 17–38.
23. Gazzero E., Sotgia F., Bruno C., Lisanti M.P., Minetti C. Caveolinopathies: From the Biology of Caveolin-3 to Human Diseases // *Eur. J. Hum. Genet.* 2010. Vol. 18, № 2. P. 137–145. <https://doi.org/10.1038/ejhg.2009.103>
24. Hausser A., Schlett K. Coordination of AMPA Receptor Trafficking by Rab GTPases // *Small GTPases.* 2019. Vol. 10, № 6. P. 419–432. <https://doi.org/10.1080/21541248.2017.1337546>
25. Zakany F., Kovacs T., Panyi G., Varga Z. Direct and Indirect Cholesterol Effects on Membrane Proteins with Special Focus on Potassium Channels // *Biochim. Biophys. Acta Mol. Cell Biol. Lipids.* 2020. Vol. 1865, № 8. Art. № 158706. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2020.158706>
26. Kravtsova V.V., Matchkov V.V., Bouzinova E.V., Vasilev A.N., Razgovorova I.A., Heiny J.A., Krivoi I.I. Isoform-Specific Na,K-ATPase Alterations Precede Disuse-Induced Atrophy of Rat Soleus Muscle // *Biomed. Res. Int.* 2015. Vol. 2015. Art. № 720172. <https://doi.org/10.1155/2015/720172>
27. McHardy S.F., Wang H.L., McCowen S.V., Valdez M.C. Recent Advances in Acetylcholinesterase Inhibitors and Reactivators: An Update on the Patent Literature (2012–2015) // *Expert Opin. Ther. Pat.* 2017. Vol. 27, № 4. P. 455–476. <https://doi.org/10.1080/13543776.2017.1272571>
28. Bonaz B., Sinniger V., Pellissier S. Therapeutic Potential of Vagus Nerve Stimulation for Inflammatory Bowel Diseases // *Front. Neurosci.* 2021. Vol. 15. Art. № 650971. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.650971>
29. de Jonge W.J., Ulloa L. The Alpha7 Nicotinic Acetylcholine Receptor as a Pharmacological Target for Inflammation // *Br. J. Pharmacol.* 2007. Vol. 151, № 7. P. 915–929. <https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0707264>
30. Brenner H.R., Akaaboune M. Recycling of Acetylcholine Receptors at Ectopic Postsynaptic Clusters Induced by Exogenous Agrin in Living Rats // *Dev. Biol.* 2014. Vol. 394, № 1. P. 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2014.07.018>
31. Barrantes F.J. Cell-Surface Translational Dynamics of Nicotinic Acetylcholine Receptors // *Front. Synaptic Neurosci.* 2014. Vol. 6. Art. № 25. <https://doi.org/10.3389/fnsyn.2014.00025>
32. Karimi N., Okhovat A.A., Ziaadini B., Haghi Ashtiani B., Nafissi S., Fatehi F. Myasthenia Gravis Associated with Novel Coronavirus 2019 Infection: A Report of Three Cases // *Clin. Neurol. Neurosurg.* 2021. Vol. 208. Art. № 106834. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2021.106834>
33. Alexandris N., Lagoumintzis G., Chasapis C.T., Leonidas D.D., Papadopoulos G.E., Tzartos S.J., Tsatsakis A., Eliopoulos E., Poulas K., Farsalinos K. Nicotinic Cholinergic System and COVID-19: *In silico* Evaluation of Nicotinic Acetylcholine Receptor Agonists as Potential Therapeutic Interventions // *Toxicol. Rep.* 2020. Vol. 8. P. 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.12.013>
34. Bruneau E.G., Akaaboune M. The Dynamics of Recycled Acetylcholine Receptors at the Neuromuscular Junction *in vivo* // *Development.* 2006. Vol. 133, № 22. P. 4485–4493. <https://doi.org/10.1242/dev.02619>
35. Lück G., Hoch W., Hopf C., Blotner D. Nitric Oxide Synthase (NOS-1) Coclustered with Agrin-Induced AChR-Specializations on Cultured Skeletal Myotubes // *Mol. Cell. Neurosci.* 2000. Vol. 16, № 3. P. 269–281. <https://doi.org/10.1006/mcne.2000.0873>
36. Klyachko V.A., Ahern G.P., Jackson M.B. cGMP-Mediated Facilitation in Nerve Terminals by Enhancement of the Spike Afterhyperpolarization // *Neuron.* 2001. Vol. 31, № 6. P. 1015–1025. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(01\)00449-4](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(01)00449-4)

37. Sayed N., Baskaran P., Ma X., van den Akker F., Beuve A. Desensitization of Soluble Guanylyl Cyclase, the NO Receptor, by S-Nitrosylation // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2007. Vol. 104, № 30. P. 12312–12317. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703944104>
38. Проскураина С.Е. Влияние оксида азота (NO) на активность фермента ацетилхолинэстеразы в нервно-мышечном синапсе крысы: дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2016. 134 с.
39. Petrov K.A., Malomouzh A.I., Kovyazina I.V., Krejci E., Nikitashina A.D., Proskurina S.E., Zobov V.V., Nikolsky E.E. Regulation of Acetylcholinesterase Activity by Nitric Oxide in Rat Neuromuscular Junction via N-Methyl-D-Aspartate Receptor Activation // Eur. J. Neurosci. 2013. Vol. 37, № 2. P. 181–189. <https://doi.org/10.1111/ejn.12029>
40. Rosas-Ballina M., Ochani M., Parrish W.R., Ochani K., Harris Y.T., Huston J.M., Chavan S., Tracey K.J. Splenic Nerve Is Required for Cholinergic Antiinflammatory Pathway Control of TNF in Endotoxemia // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2008. Vol. 105, № 31. P. 11008–11013. <https://doi.org/10.1073/pnas.0803237105>
41. Balez R., Ooi L. Getting to NO Alzheimer's Disease: Neuroprotection versus Neurotoxicity Mediated by Nitric Oxide // Oxid. Med. Cell. Longev. 2016. Vol. 2016. Art. № 3806157. <https://doi.org/10.1155/2016/3806157>
42. Gilhus N.E., Tzartos S., Evoli A., Palace J., Burns T.M., Verschuuren J.J.G.M. Myasthenia Gravis // Nat. Rev. Dis. Primers. 2019. Vol. 5, № 1. Art. № 30. <https://doi.org/10.1038/s41572-019-0079-y>
43. Leoni V., Caccia C. The Impairment of Cholesterol Metabolism in Huntington Disease // Biochim. Biophys. Acta. 2015. Vol. 1851, № 8. P. 1095–1105. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2014.12.018>
44. Grajales-Reyes G.E., Báez-Pagán C.A., Zhu H., Grajales-Reyes J.G., Delgado-Vélez M., García-Beltrán W.F., Luciano C.A., Quesada O., Ramírez R., Gómez C.M., Lasalde-Dominicci J.A. Transgenic Mouse Model Reveals an Unsuspected Role of the Acetylcholine Receptor in Statin-Induced Neuromuscular Adverse Drug Reactions // Pharmacogenomics J. 2013. Vol. 13, № 4. P. 362–368. <https://doi.org/10.1038/tpj.2012.21>
45. Crespi B., Alcock J. Conflicts Over Calcium and the Treatment of COVID-19 // Evol. Med. Public Health. 2021. Vol. 9, № 1. P. 149–156. <https://doi.org/10.1093/emph/eoaa046>
46. Ramadan J.W., Steiner S.R., O'Neill C.M., Nunemaker C.S. The Central Role of Calcium in the Effects of Cytokines on Beta-Cell Function: Implications for Type 1 and Type 2 Diabetes // Cell Calcium. 2011. Vol. 50, № 6. P. 481–490. <https://doi.org/10.1016/j.cecca.2011.08.005>
47. Luciani D.S., Gwiazda K.S., Yang T.L., Kalynyak T.B., Bychkivska Y., Frey M.H., Jeffrey K.D., Sampaio A.V., Underhill T.M., Johnson J.D. Roles of IP<sub>3</sub>R and RyR Ca<sup>2+</sup> Channels in Endoplasmic Reticulum Stress and β-Cell Death // Diabetes. 2009. Vol. 58, № 2. P. 422–432. <https://doi.org/10.2337/db07-1762>
48. Berchtold M.W., Brinkmeier H., Müntener M. Calcium Ion in Skeletal Muscle: Its Crucial Role for Muscle Function, Plasticity, and Disease // Physiol. Rev. 2000. Vol. 80, № 3. P. 1215–1265. <https://doi.org/10.1152/physrev.2000.80.3.1215>
49. Guo T., Fan Y., Chen M., Wu X., Zhang L., He T., Wang H., Wan J., Wang X., Lu Z. Cardiovascular Implications of Fatal Outcomes of Patients with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) // JAMA Cardiol. 2020. Vol. 5, № 7. P. 811–818. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.1017>
50. Arentz M., Yim E., Klaff L., Lokhandwala S., Riedo F.X., Chong M., Lee M. Characteristics and Outcomes of 21 Critically Ill Patients with COVID-19 in Washington State // JAMA. 2020. Vol. 323, № 16. P. 1612–1614. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.4326>
51. Dani M., Dirksen A., Taraborrelli P., Torocastro M., Panagopoulos D., Sutton R., Lim P.B. Autonomic Dysfunction in 'Long COVID': Rationale, Physiology and Management Strategies // Clin. Med. (Lond.). 2021. Vol. 21, № 1. P. e63–e67. <https://doi.org/10.7861/clinmed.2020-0896>
52. Jung F., Krüger-Genge A., Franke R.P., Hufert F., Küpper J.H. COVID-19 and the Endothelium // Clin. Hemorheol. Microcirc. 2020. Vol. 75, № 1. P. 7–11. <https://doi.org/10.3233/ch-209007>
53. Jardine D.L., Wieling W., Brignole M., Lenders J.W.M., Sutton R., Stewart J. The Pathophysiology of the Vasovagal Response // Heart Rhythm. 2018. Vol. 15, № 6. P. 921–929. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2017.12.013>
54. Chung S.A., Yuan H., Chung F. A Systemic Review of Obstructive Sleep Apnea and Its Implications for Anesthesiologists // Anesth. Analg. 2008. Vol. 107, № 5. P. 1543–1563. <https://doi.org/10.1213/ane.0b013e318187c83a>
55. Monahan K.D. Effect of Aging on Baroreflex Function in Humans // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2007. Vol. 293, № 1. P. R3–R12. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00031.2007>

## References

1. WHO COVID-19 Dashboard. Available at: <https://covid19.who.int/> (accessed: 4 April 2023).
2. Huang C., Wang Y., Li X., Ren L., Zhao J., Hu Y., Zhang L., Fan G., Xu J., Gu X., Cheng Z., Yu T., Xia J., Wei Y., Wu W., Xie X., Yin W., Li X., Liu M., Xiao Y., Gao H., Guo L., Xie J., Wang G., Jiang R., Gao H., Jin Q., Wang J., Cao B. Clinical Features of Patients Infected with 2019 Novel Coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*, 2020, vol. 395, no. 10223, pp. 497–506. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30183-5)
3. Yahia A.I.O. Liver Injury and Dysfunction Associated with COVID-19: A Review Article. *Clin. Lab.*, 2022, vol. 68, no. 1. <https://doi.org/10.7754/clin.lab.2021.210535>
4. Ayoubkhani D., Khunti K., Nafilyan V., Maddox T., Humberstone B., Diamond I., Banerjee A. Post-Covid Syndrome in Individuals Admitted to Hospital with Covid-19: Retrospective Cohort Study. *BMJ*, 2021, vol. 372. Art. no. n693. <https://doi.org/10.1136/bmj.n693>
5. Desai A.D., Lavelle M., Boursiquot B.C., Wan E.Y. Long-Term Complications of COVID-19. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.*, 2022, vol. 322, no. 1, pp. C1–C11. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00375.2021>
6. Tobler D.L., Pruzansky A.J., Naderi S., Ambrosy A.P., Slade J.J. Long-Term Cardiovascular Effects of COVID-19: Emerging Data Relevant to the Cardiovascular Clinician. *Curr. Atheroscler. Rep.*, 2022, vol. 24, no. 7, pp. 563–570. <https://doi.org/10.1007/s11883-022-01032-8>
7. Willi S., Lüthold R., Hunt A., Hänggi N.V., Sejdiu D., Scaff C., Bender N., Staub K., Schlagenhauf P. COVID-19 Sequelae in Adults Aged Less Than 50 Years: A Systematic Review. *Travel Med. Infect. Dis.*, 2021, vol. 40. Art. no. 101995. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2021.101995>
8. Haam J., Yakel J.L. Cholinergic Modulation of the Hippocampal Region and Memory Function. *J. Neurochem.*, 2017, vol. 142, suppl. 2, pp. 111–121. <https://doi.org/10.1111/jnc.14052>
9. Mesulam M. The Cholinergic Lesion of Alzheimer's Disease: Pivotal Factor or Side Show? *Learn. Mem.*, 2004, vol. 11, no. 1, pp. 43–49. <https://doi.org/10.1101/lm.69204>
10. Picciotto M.R., Higley M.J., Mineur Y.S. Acetylcholine as a Neuromodulator: Cholinergic Signaling Shapes Nervous System Function and Behavior. *Neuron*, 2012, vol. 76, no. 1, pp. 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.08.036>
11. Ahmed N.Y., Knowles R., Dehorter N. New Insights into Cholinergic Neuron Diversity. *Front. Mol. Neurosci.*, 2019, no. 12. Art. no. 204. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2019.00204>
12. Rima M., Lattouf Y., Younes M.A., Bullier E., Legendre P., Mangin J.-M., Hong E. Dynamic Regulation of the Cholinergic System in the Spinal Central Nervous System. *Sci. Rep.*, 2020, vol. 10. Art. no. 15338. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72524-3>
13. Bosmans G., Shimizu Bassi G., Florens M., Gonzalez-Dominguez E., Matteoli G., Boeckxstaens G.E. Cholinergic Modulation of Type 2 Immune Responses. *Front. Immunol.*, 2017, vol. 8. Art. no. 1873. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.01873>
14. Scott G.D., Fryer A.D. Role of Parasympathetic Nerves and Muscarinic Receptors in Allergy and Asthma. *Chem. Immunol. Allergy*, 2012, no. 98, pp. 48–69. <https://doi.org/10.1159/000336498>
15. Saw E.L., Pearson J.T., Schwenke D.O., Munasinghe P.E., Tsuchimochi H., Rawal S., Coffey S., Davis P., Bunton R., Van Hout I., Kai Y., Williams M.J.A., Kakinuma Y., Fronius M., Katare R. Activation of the Cardiac Non-Neuronal Cholinergic System Prevents the Development of Diabetes-Associated Cardiovascular Complications. *Cardiovasc. Diabetol.*, 2021, vol. 20, no. 1. Art. no. 50. <https://doi.org/10.1186/s12933-021-01231-8>
16. Eccles J.C., Fatt P., Koketsu K. Cholinergic and Inhibitory Synapses in a Pathway from Motor-Axon Collaterals to Motoneurons. *J. Physiol.*, 1954, vol. 126, no. 3, pp. 524–562. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1954.sp005226>
17. Chen J., Mizushige T., Nishimune H. Active Zone Density Is Conserved During Synaptic Growth but Impaired in Aged Mice. *J. Comp. Neurol.*, 2012, vol. 520, no. 2, pp. 434–452. <https://doi.org/10.1002/cne.22764>
18. Schiavo G., Stenbeck G., Rothman J.E., Söllner T.H. Binding of the Synaptic Vesicle v-SNARE, Synaptotagmin, to the Plasma Membrane t-SNARE, SNAP-25, Can Explain Docked Vesicles at Neurotoxin-Treated Synapses. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1997, vol. 94, no. 3, pp. 997–1001. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.3.997>
19. White D.N., Stowell M.H.B. Room for Two: The Synaptophysin/Synaptobrevin Complex. *Front. Synaptic Neurosci.*, 2021, vol. 13. Art. no. 740318. <https://doi.org/10.3389/fnsyn.2021.740318>

20. Krause M., Wernig A. The Distribution of Acetylcholine Receptors in the Normal and Denervated Neuromuscular Junction of the Frog. *J. Neurocytol.*, 1985, vol. 14, no. 5, pp. 765–780. <https://doi.org/10.1007/BF01170827>
21. Fujita A., Cheng J., Tauchi-Sato K., Takenawa T., Fujimoto T. A Distinct Pool of Phosphatidylinositol 4,5-Bisphosphate in Caveolae Revealed by a Nanoscale Labeling Technique. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2009, vol. 106, no. 23, pp. 9256–9261. <https://doi.org/10.1073/pnas.0900216106>
22. Petrov A.M., Zefirov A.L. Kholesterin i lipidnye plotiki biologicheskikh membran. Rol' v sekretsii, retseptsii i funkcionirovanii ionnykh kanalov [Cholesterol and Lipid Rafts in the Biological Membranes. Role in the Release, Reception and Ion Channel Functions]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk*, 2013, vol. 44, no. 1, pp. 17–38.
23. Gazzero E., Sotgia F., Bruno C., Lisanti M.P., Minetti C. Caveolinopathies: From the Biology of Caveolin-3 to Human Diseases. *Eur. J. Hum. Genet.*, 2010, vol. 18, no. 2, pp. 137–145. <https://doi.org/10.1038/ejhg.2009.103>
24. Hausser A., Schlett K. Coordination of AMPA Receptor Trafficking by Rab GTPases. *Small GTPases*, 2019, vol. 10, no. 6, pp. 419–432. <https://doi.org/10.1080/21541248.2017.1337546>
25. Zakany F., Kovacs T., Panyi G., Varga Z. Direct and Indirect Cholesterol Effects on Membrane Proteins with Special Focus on Potassium Channels. *Biochim. Biophys. Acta Mol. Cell Biol. Lipids*, 2020, vol. 1865, no. 8. Art. no. 158706. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2020.158706>
26. Kravtsova V.V., Matchkov V.V., Bouzinova E.V., Vasiliev A.N., Razgovorova I.A., Heiny J.A., Krivoi I.I. Isoform-Specific Na,K-ATPase Alterations Precede Disuse-Induced Atrophy of Rat Soleus Muscle. *Biomed. Res. Int.*, 2015, vol. 2015. Art. no. 720172. <https://doi.org/10.1155/2015/720172>
27. McHardy S.F., Wang H.L., McCowen S.V., Valdez M.C. Recent Advances in Acetylcholinesterase Inhibitors and Reactivators: An Update on the Patent Literature (2012–2015). *Expert Opin. Ther. Pat.*, 2017, vol. 27, no. 4, pp. 455–476. <https://doi.org/10.1080/13543776.2017.1272571>
28. Bonaz B., Sinniger V., Pellissier S. Therapeutic Potential of Vagus Nerve Stimulation for Inflammatory Bowel Diseases. *Front. Neurosci.*, 2021, vol. 15. Art. no. 650971. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.650971>
29. de Jonge W.J., Ulloa L. The Alpha7 Nicotinic Acetylcholine Receptor as a Pharmacological Target for Inflammation. *Br. J. Pharmacol.*, 2007, vol. 151, no. 7, pp. 915–929. <https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0707264>
30. Brenner H.R., Akaaboune M. Recycling of Acetylcholine Receptors at Ectopic Postsynaptic Clusters Induced by Exogenous Agrin in Living Rats. *Dev. Biol.*, 2014, vol. 394, no. 1, pp. 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2014.07.018>
31. Barrantes F.J. Cell-Surface Translational Dynamics of Nicotinic Acetylcholine Receptors. *Front. Synaptic Neurosci.*, 2014, vol. 6. Art. no. 25. <https://doi.org/10.3389/fnsyn.2014.00025>
32. Karimi N., Okhovat A.A., Ziaadini B., Haghi Ashtiani B., Nafissi S., Fatehi F. Myasthenia Gravis Associated with Novel Coronavirus 2019 Infection: A Report of Three Cases. *Clin. Neurol. Neurosurg.*, 2021, vol. 208. Art. no. 106834. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2021.106834>
33. Alexandris N., Lagoumintzis G., Chasapis C.T., Leonidas D.D., Papadopoulos G.E., Tzartos S.J., Tsatsakis A., Eliopoulos E., Poulas K., Farsalinos K. Nicotinic Cholinergic System and COVID-19: *In silico* Evaluation of Nicotinic Acetylcholine Receptor Agonists as Potential Therapeutic Interventions. *Toxicol. Rep.*, 2020, vol. 8, pp. 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.12.013>
34. Bruneau E.G., Akaaboune M. The Dynamics of Recycled Acetylcholine Receptors at the Neuromuscular Junction *in vivo*. *Development*, 2006, vol. 133, no. 22, pp. 4485–4493. <https://doi.org/10.1242/dev.02619>
35. Lück G., Hoch W., Hopf C., Blottner D. Nitric Oxide Synthase (NOS-1) Coclustered with Agrin-Induced AChR-Specializations on Cultured Skeletal Myotubes. *Mol. Cell. Neurosci.*, 2000, vol. 16, no. 3, pp. 269–281. <https://doi.org/10.1006/mcne.2000.0873>
36. Klyachko V.A., Ahern G.P., Jackson M.B. cGMP-Mediated Facilitation in Nerve Terminals by Enhancement of the Spike Afterhyperpolarization. *Neuron*, 2001, vol. 31, no. 6, pp. 1015–1025. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(01\)00449-4](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(01)00449-4)
37. Sayed N., Baskaran P., Ma X., van den Akker F., Beuve A. Desensitization of Soluble Guanylyl Cyclase, the NO Receptor, by S-Nitrosylation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2007, vol. 104, no. 30, pp. 12312–12317. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703944104>
38. Proskurina S.E. *Vliyanie oksida azota (NO) na aktivnost' fermenta atsetilkholinesterazy v nervno-myshechnom sinapse krysy* [Effect of Nitric Oxide (NO) on the Activity of the Acetylcholinesterase Enzyme in Rat Neuromuscular Junction: Diss.]. Kazan, 2016. 134 p.

39. Petrov K.A., Malomouzh A.I., Kovyazina I.V., Krejci E., Nikitashina A.D., Proskurina S.E., Zobov V.V., Nikolsky E.E. Regulation of Acetylcholinesterase Activity by Nitric Oxide in Rat Neuromuscular Junction via *N*-Methyl-D-Aspartate Receptor Activation. *Eur. J. Neurosci.*, 2013, vol. 37, no. 2, pp. 181–189. <https://doi.org/10.1111/ejn.12029>
40. Rosas-Ballina M., Ochani M., Parrish W.R., Ochani K., Harris Y.T., Huston J.M., Chavan S., Tracey K.J. Splenic Nerve Is Required for Cholinergic Antiinflammatory Pathway Control of TNF in Endotoxemia. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2008, vol. 105, no. 31, pp. 11008–11013. <https://doi.org/10.1073/pnas.0803237105>
41. Balez R., Ooi L. Getting to NO Alzheimer's Disease: Neuroprotection versus Neurotoxicity Mediated by Nitric Oxide. *Oxid. Med. Cell. Longev.*, 2016, vol. 2016, Art. no. 3806157. <https://doi.org/10.1155/2016/3806157>
42. Gilhus N.E., Tzartos S., Evoli A., Palace J., Burns T.M., Verschuuren J.J.G.M. Myasthenia Gravis. *Nat. Rev. Dis. Primers*, 2019, vol. 5, no. 1, Art. no. 30. <https://doi.org/10.1038/s41572-019-0079-y>
43. Leoni V., Caccia C. The Impairment of Cholesterol Metabolism in Huntington Disease. *Biochim. Biophys. Acta*, 2015, vol. 1851, no. 8, pp. 1095–1105. <https://doi.org/10.1016/j.bbaliip.2014.12.018>
44. Grajales-Reyes G.E., Báez-Pagán C.A., Zhu H., Grajales-Reyes J.G., Delgado-Vélez M., García-Beltrán W.F., Luciano C.A., Quesada O., Ramírez R., Gómez C.M., Lasalde-Dominicci J.A. Transgenic Mouse Model Reveals an Unsuspected Role of the Acetylcholine Receptor in Statin-Induced Neuromuscular Adverse Drug Reactions. *Pharmacogenomics J.*, 2013, vol. 13, no. 4, pp. 362–368. <https://doi.org/10.1038/tpj.2012.21>
45. Crespi B., Alcock J. Conflicts Over Calcium and the Treatment of COVID-19. *Evol. Med. Public Health*, 2021, vol. 9, no. 1, pp. 149–156. <https://doi.org/10.1093/emph/eoaa046>
46. Ramadan J.W., Steiner S.R., O'Neill C.M., Nunemaker C.S. The Central Role of Calcium in the Effects of Cytokines on Beta-Cell Function: Implications for Type 1 and Type 2 Diabetes. *Cell Calcium*, 2011, vol. 50, no. 6, pp. 481–490. <https://doi.org/10.1016/j.cecca.2011.08.005>
47. Luciani D.S., Gwiazda K.S., Yang T.L., Kalynyak T.B., Bychkivska Y., Frey M.H., Jeffrey K.D., Sampaio A.V., Underhill T.M., Johnson J.D. Roles of IP<sub>3</sub>R and RyR Ca<sup>2+</sup> Channels in Endoplasmic Reticulum Stress and  $\beta$ -Cell Death. *Diabetes*, 2009, vol. 58, no. 2, pp. 422–432. <https://doi.org/10.2337/db07-1762>
48. Berchtold M.W., Brinkmeier H., Müntener M. Calcium Ion in Skeletal Muscle: Its Crucial Role for Muscle Function, Plasticity, and Disease. *Physiol. Rev.*, 2000, vol. 80, no. 3, pp. 1215–1265. <https://doi.org/10.1152/physrev.2000.80.3.1215>
49. Guo T., Fan Y., Chen M., Wu X., Zhang L., He T., Wang H., Wan J., Wang X., Lu Z. Cardiovascular Implications of Fatal Outcomes of Patients with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *JAMA Cardiol.*, 2020, vol. 5, no. 7, pp. 811–818. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.1017>
50. Arentz M., Yim E., Klaff L., Lokhandwala S., Riedo F.X., Chong M., Lee M. Characteristics and Outcomes of 21 Critically Ill Patients with COVID-19 in Washington State. *JAMA*, 2020, vol. 323, no. 16, pp. 1612–1614. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.4326>
51. Dani M., Dirksen A., Taraborrelli P., Torocastro M., Panagopoulos D., Sutton R., Lim P.B. Autonomic Dysfunction in 'Long COVID': Rationale, Physiology and Management Strategies. *Clin. Med. (Lond.)*, 2021, vol. 21, no. 1, pp. e63–e67. <https://doi.org/10.7861/clinmed.2020-0896>
52. Jung F., Krüger-Genge A., Franke R.P., Hufert F., Küpper J.H. COVID-19 and the Endothelium. *Clin. Hemorheol. Microcirc.*, 2020, vol. 75, no. 1, pp. 7–11. <https://doi.org/10.3233/ch-209007>
53. Jardine D.L., Wieling W., Brignole M., Lenders J.W.M., Sutton R., Stewart J. The Pathophysiology of the Vasovagal Response. *Heart Rhythm*, 2018, vol. 15, no. 6, pp. 921–929. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2017.12.013>
54. Chung S.A., Yuan H., Chung F. A Systemic Review of Obstructive Sleep Apnea and Its Implications for Anesthesiologists. *Anesth. Analg.*, 2008, vol. 107, no. 5, pp. 1543–1563. <https://doi.org/10.1213/ane.0b013e318187c83a>
55. Monahan K.D. Effect of Aging on Baroreflex Function in Humans. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 2007, vol. 293, no. 1, pp. R3–R12. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00031.2007>

Поступила в редакцию 10.04.2023 / Одобрена после рецензирования 01.12.2023 / Принята к публикации 29.12.2023.  
Submitted 10 April 2023 / Approved after reviewing 1 December 2023 / Accepted for publication 29 December 2023.

Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 2. С. 253–267.

*Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 253–267.

Обзорная статья

УДК [612.181+612.172]:796

DOI: 10.37482/2687-1491-Z189

## Общая мощность спектра и мощность HF-волн в зависимости от этапов годового цикла подготовки спортсменов и других факторов (обзор)

Денис Анатольевич Катаев<sup>\*/\*\*</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8051-3521>

Виктор Иванович Циркин<sup>\*\*\*</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3467-3919>

Влада Викторовна Кишкина<sup>\*/\*\*\*\*</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2467-5275>

Светлана Ивановна Трухина<sup>\*</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3888-1993>

Андрей Николаевич Трухин<sup>\*</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7259-7078>

<sup>\*</sup>Вятский государственный университет

(Киров, Россия)

<sup>\*\*</sup>Региональная общественная организация «Федерация лыжных гонок и биатлона» Республики Татарстан

(Казань, Россия)

<sup>\*\*\*</sup>Казанский государственный медицинский университет

(Казань, Россия)

<sup>\*\*\*\*</sup>Городская клиническая больница № 1 г. Челябинск

(Челябинск, Россия)

**Аннотация.** В рамках изучения природы таких показателей variability сердечного ритма (BCR), как общая мощность спектра TP, абсолютная мощность HF-волн (AMHF) и их относительная мощность, т. е. выраженная в процентах к TP (HF%), систематизированы данные литературы и результаты собственных исследований, касающихся значений этих показателей у спортсменов. Установлено, что TP, AMHF и HF% зависят от спортивной специализации (они максимальны при тренировках на выносливость), стажа занятий спортом (чем выше уровень спортивного мастерства, тем выше показатели), периодов годового цикла (возрастают в подготовительный период, но снижаются незначительно в соревновательный период, и более существенно – в переходный период). В частности, излагаются результаты исследования первого автора статьи, элитного спортсмена-лыжника Д.А. Катаева, который регистрировал у себя кардиоинтервалограмму, а также объем и интенсивность ежедневных тренировочных нагрузок в течение годового цикла. Это позволило оценить динамику TP, AMHF и HF% на протяжении трех его периодов и установить, что значения TP находятся в прямой зависимости от объема тренировочных нагрузок и их интенсивности. Но выявить подобную зависимость в отношении AMHF и HF% не удалось. Показано, что у 8 лыжников-гонщиков (членов сборной Республики Татарстан) значения TP, AMHF и HF% в подготовительный период были выше, чем в соревновательный. Авторы заключают, что значения TP, AMHF и HF% отражают глав-

---

**Ответственный за переписку:** Денис Анатольевич Катаев, адрес: 610000, г. Киров, ул. Московская, д. 36; e-mail: den.cataev2014@yandex.ru

ным образом влияние парасимпатического отдела автономной нервной системы на деятельность сердца спортсмена, а также активацию ее симпатического отдела при развитии предстартового эмоционального стресса в соревновательный период. Постулируется представление о формировании антиапоптической системы миокарда при тренировках на выносливость, в которую входят антиоксиданты, дофамин, серотонин, ацетилхолин, простагландины, оксид азота и другие вещества.

**Ключевые слова:** *вариабельность сердечного ритма, общая мощность спектра, HF-волны, периоды годового тренировочного цикла, антиапоптическая система миокарда*

**Для цитирования:** Общая мощность спектра и мощность HF-волн в зависимости от этапов годового цикла подготовки спортсменов и других факторов (обзор) / Д. А. Катаев, В. И. Циркин, В. В. Кишкина, С. И. Трухина, А. Н. Трухин // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 253-267. – DOI 10.37482/2687-1491-Z189.

Review article

## **Total Spectrum Power and Power of HF Waves in Athletes Depending on the Phase of the Training Year and Other Factors (Review)**

**Denis A. Kataev**\*/\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8051-3521>  
**Viktor I. Tsirkin**\*\*/\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3467-3919>  
**Vlada V. Kishkina**\*/\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2467-5275>  
**Svetlana I. Trukhina**\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3888-1993>  
**Andrey N. Trukhin**\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7259-7078>

\*Vyatka State University  
(Kirov, Russia)

\*\*Tatarstan Cross-Country Skiing and Biathlon Federation  
(Kazan, Russia)

\*\*\*Kazan State Medical University  
(Kazan, Russia)

\*\*\*\*Chelyabinsk City Clinical Hospital No. 1  
(Chelyabinsk, Russia)

**Abstract.** As part of the study into the nature of such heart rate variability (HRV) indicators as total spectrum power (TP), absolute power of high frequency waves (HFAP) and their relative power (as a percentage of TP (HF%)), literature data and the results of our own research on the values of these indicators in athletes are systematized. It has been established that TP, HFAP and HF% depend on the type of sports (reaching their maximum in endurance training), experience in sports (the higher the level, the higher these indicators), and phase of the training year (increasing during the preparatory phase, but decreasing slightly in the competitive phase and more significantly during the transition phase). In particular, the paper presents the results of the study of the first author of this article, elite skier D.A. Kataev, who recorded his own cardiointervalogram and the volume and intensity of daily

---

**Corresponding author:** Denis Kataev, *address:* ul. Moskovskaya 36, Kirov, 610000, Russia; *e-mail:* den.cataev2014@yandex.ru

training loads during one training year. This made it possible to evaluate TP, HFAP and HF% dynamics over the three phases and to establish that TP values are directly dependent on the volume and intensity of training loads. However, no such relationship was established for HFAP and HF%. It was shown that in 8 cross-country skiers (members of the Tatarstan national team) TP, HFAP and HF% values during the preparatory phase were higher than in the competition phase. The authors conclude that TP, HFAP and HF% values mainly reflect the influence of the parasympathetic division of the autonomic nervous system (ANS) on athletes' cardiac activity, as well as on the activation of the sympathetic division of the ANS during the development of precompetition emotional stress in the competitive phase. An idea is postulated about the formation of the anti-apoptotic myocardial system during endurance training, which includes antioxidants, dopamine, serotonin, acetylcholine, prostaglandins, nitric oxide and other compounds.

**Keywords:** heart rate variability, total spectrum power, HF waves, phases of the training year, anti-apoptotic myocardial system

**For citation:** Kataev D.A., Tsirkin V.I., Kishkina V.V., Trukhina S.I., Trukhin A.N. Total Spectrum Power and Power of HF Waves in Athletes Depending on the Phase of the Training Year and Other Factors (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 253–267. DOI: 10.37482/2687-1491-Z189

Оценка адаптивных способностей человека в физиологии спорта выполняется с помощью показателей variability сердечного ритма (BCP) [1], т. е. результатов анализа длительности R–R-интервалов электроэнцефалограммы (ЭКГ), т. к. BCP зависит от влияния симпатического (CO) и парасимпатического (ПО) отделов автономной нервной системы (АНС) и некоторых биологических активных веществ (БАВ). Рекомендовано использовать ряд временных и спектральных показателей BCP [1–3]. Среди них выделяют мощность трех основных видов спектра кардиоинтервалограммы (КИГ): 1) высокочастотного, или HF-волн, с границами 0,15–0,40 Гц; 2) низкочастотного, или LF-волн, с границами 0,04–0,15 Гц; 3) очень низкочастотного, или VLF-волн, с границами 0,003–0,04 Гц. При этом сумма всех мощностей спектра в диапазоне от 0,003 до 0,5 Гц, т. е. HF + LF + VLF, определяется как общий спектр колебаний, или общая мощность спектра (TP) [1–3].

Анализ динамики TP и мощности VLF-волн у элитного лыжника позволил нам прийти к выводу о том, что высокие значения абсолютной и относительной мощности VLF-волн являются признаками прохождения ненейронного

синтеза ацетилхолина в кардиомиоцитах [4, 5]. В данном обзоре рассматривается динамика абсолютной (AMHF) и относительной (HF%) мощности HF-волн. Считается [1–3, 5–7], что HF-волны отражают преимущественно влияние на сердце ПО АНС, а LF-волны – влияние CO АНС. Сведения о динамике абсолютной и относительной (в процентах от TP) мощности HF-волн у спортсменов, в т. ч. в зависимости от различных факторов, малочисленны. В связи с потребностью в диагностике состояния здоровья спортсменов (в т. ч. элитных) и оптимизации тренировочного процесса целью настоящего обзора является систематизация данных литературы и собственных исследований, касающихся абсолютной и относительной мощности HF-волн спортсменов, в т. ч. тренирующихся на выносливость, в зависимости от объема и интенсивности нагрузок и других факторов. В исследованиях [5, 8–25] оценивались значения TP, абсолютной и относительной мощности HF-волн у спортсменов, использовалась стандартная методика регистрации BCP, в частности метод КИГ, т. е. регистрация ЭКГ в течение 5 мин в положении лежа на спине (клиностаз) с применением таких систем, как «Поли-Спектр» и «ВНС-Спектр» («Нейро-

софт», Россия), «Варикард 2.51» («Аксион», Россия), «Кардиометр-МТ» («Микард-Лана», Россия), программно-аппаратный комплекс «Валента» («НЕО», Россия). Регистрация КИГ в указанных работах проводилась после ночного сна (до завтрака) в комфортных условиях, а статистическая обработка данных осуществлялась с использованием пакета различных компьютерных программ типа BioStat [26, 27]. В отдельных публикациях отсутствовали значения HF%, поэтому при наличии в статье данных о TP и AMHF мы рассчитывали их сами, сопровождая символом «\*». В обзоре приводятся либо средние значения, либо медианы, но без ошибки средней или центилей.

**1. Значения TP, AMHF и HF% в зависимости от уровня двигательной активности.** В работе Г.Н. Шангареевой [13] при обследовании 65 хоккеистов (средний возраст – 14,7 года, стаж – 8,7 года) и 30 здоровых подростков-неспортсменов, сопоставимых по возрасту, установлено, что значения TP, AMHF и HF% у первых были выше (5347 мс<sup>2</sup>, 2367 мс<sup>2</sup> и 44,2 % соответственно), чем у вторых (3972 мс<sup>2</sup>, 1620 мс<sup>2</sup> и 40,7 % соответственно). Аспирант Вятского государственного университета (ВятГУ), врач Челябинской городской больницы В.В. Кишкина (2017, неопубликованные данные) при суточном мониторинге ЭКГ в условиях стационара обнаружила, что значения AMHF у 15–16-летних подростков-неспортсменов были ниже (969 мс<sup>2</sup>), чем у сверстников, занимающихся легкой атлетикой или плаванием (1856 мс<sup>2</sup>) либо футболом или баскетболом (2285 мс<sup>2</sup>). У 22 волейболистов 18–21 лет молодежной сборной Ханты-Мансийского автономного округа – Югры значения TP и AMHF были выше, чем у 22 студентов медицинского вуза (4405 мс<sup>2</sup> против 1858 мс<sup>2</sup> и 979 мс<sup>2</sup> против 504 мс<sup>2</sup> соответственно), но HF%, наоборот, ниже (22,2 % против 27,1 %) [20]. У 16 элитных спортсменов, тренирующихся на выносливость ( $n = 5$ ) или силу ( $n = 11$ ), значения AMHF были выше, особенно у тренирующихся на выносливость, чем у 15 мужчин-неспортсменов [27]. Итак, у спорт-

сменов по сравнению с неспортсменами выше значения TP [20] и AMHF (см.: [13, 20, 27] и др.), что говорит о доминировании у них ПО АНС в условиях покоя; но сведения о HF% неоднозначны [13, 20].

**2. Значения TP, AMHF и HF% в зависимости от возраста юных спортсменов.** Существует мнение, что с возрастом (т. е. с повышением стажа занятий спортом) TP, AMHF и HF% растут [6, 13, 18]. Однако у 32 лыжников 10 и 11 лет указанные показатели не зависели от возраста и стажа занятий, а определялись типом регуляции сердечной деятельности [14]. Несмотря на малочисленность данных, мы придерживаемся гипотезы о повышении TP, AMHF и HF% у спортсменов с возрастом [6, 13, 18].

**3. Значения TP, AMHF и HF% в зависимости от стажа (тренированности) спортсмена и его мастерства.** Имеются данные [1, 25, 28, 29], что по мере увеличения стажа спортсмена возрастают TP, AMHF и HF%, т. е. усиливается влияние ПО АНС на деятельность сердца в условиях покоя. Это особенно характерно для людей, тренирующихся на выносливость. Так, при обследовании 16 лыжников (18–25 лет) установлено, что в начале учебно-тренировочных сборов (УТС) медиана TP у спортсменов I разряда составила 5654 мс<sup>2</sup>, у кандидатов в мастера спорта (КМС) – 7516 мс<sup>2</sup>, а у мастеров спорта (МС) – 12 580 мс<sup>2</sup>; медиана AMHF – 1901, 3391 и 7263 мс<sup>2</sup> соответственно, а медиана HF%\* – 33,6; 45,1 и 64,5 % [25]. У 14–15-летних пловцов ( $n = 9$ ) значения TP, AMHF и HF% были выше (4536 мс<sup>2</sup>, 1267 мс<sup>2</sup> и 27,9 %\* соответственно), чем у 8–9-летних ( $n = 45$ ) пловцов (3227 мс<sup>2</sup>, 529 мс<sup>2</sup> и 16,4 %\* соответственно) [28].

**4. Значения TP, AMHF и HF% в зависимости от вида спортивной специализации.** Существует предположение, что TP, AMHF и HF% зависят от спортивной специализации (см.: [8, 9, 17, 27] и др.). Так, при обследовании 18–19-летних спортсменов разных направлений [9] наибольшие значения TP фиксировались у хоккеистов (8649 мс<sup>2</sup>), меньшие –

у пловцов (4546 мс<sup>2</sup>), а наименьшие – у тяжелоатлетов (2871 мс<sup>2</sup>); значения АМНФ составили 2724, 1936 и 903 мс<sup>2</sup> соответственно, но HF%\* у пловцов была выше (42,5 %), чем у хоккеистов и тяжелоатлетов (31,4 %), т. е. влияние ПО АНС на сердце оказалось сильнее у пловцов. У тренирующихся на выносливость ( $n = 15$ ) значения АМНФ были выше, чем у тренирующихся на развитие силы ( $n = 11$ ) [27]. У 66 лыжников в возрасте 18–23 лет значения ТР, АМНФ и HF% были больше (9709 мс<sup>2</sup>, 5088 мс<sup>2</sup> и 52,4 % соответственно), чем у 20 пловцов (3310 мс<sup>2</sup>, 920 мс<sup>2</sup> и 27,8 %) и 33 борцов греко-римского стиля (4668 мс<sup>2</sup>, 2012 мс<sup>2</sup> и 43,1 %) того же возраста [17]. Аспирант ВятГУ В.В. Кишкина (2017, неопубликованные данные), проводя в условиях стационара суточное мониторирование ЭКГ у 40 обследуемых в возрасте 15–16 лет, установила, что у 20 юных спортсменов, занимающихся футболом или баскетболом, медиана АМНФ была выше (2285 мс<sup>2</sup>), чем у 20 подростков, занимающихся плаванием или легкой атлетикой (1856 мс<sup>2</sup>). В целом очевидно, что объединять сведения о ТР, АМНФ и HF% спортсменов разной специализации некорректно. Так, в исследовании Р.Я. Власенко и соавт. сообщается [18], что у 20-летних мужчин, занимающихся разными видами спорта, средние значения ТР, АМНФ и HF% составили 2420 мс<sup>2</sup>, 791 мс<sup>2</sup> и 32,7 % соответственно. Однако в ряде работ утверждается, что данные показатели не зависят от спортивной специализации [10, 12]. Так, у 1005 мужчин (16–40 лет), 305 из которых занимались циклическими видами спорта, 200 – сложнокоординационными, 150 – игровыми и 350 – единоборствами, значения HF% составили 40,4; 42,3; 41,1 и 41,9 % соответственно, при отсутствии значимых различий между ними ( $p > 0,05$ ) [10]. Н.И. Шлык [22] считает, что ТР, АМНФ и HF% зависят от типа регуляции сердечной деятельности, а не от специализации (см. разд. 7). Однако полагая, что ТР, АМНФ и HF% зависят от вида спортивной специализации, мы проанализировали сведения литературы о ТР, АМНФ и HF% при данном условии.

**4.1. Лыжные гонки.** Выявлено [25], что у 18–25-летних элитных лыжников-гонщиков (МС) даже на одном УТС медиана ТР варьировала от 11 258 до 10 279 мс<sup>2</sup>, АМНФ – от 3391 до 7263 мс<sup>2</sup>, а HF% – от 26,5 до 64,5 %. У 20–22-летних лыжников значения ТР на УТС варьировали от 3320 до 3399 мс<sup>2</sup>, АМНФ – от 1017 до 1159 мс<sup>2</sup>, а HF% – от 30,5 до 34,1 % [24]. При обследовании 34 лыжников (17–22 лет) отмечено [22], что ввиду наличия разных типов регуляции деятельности сердца для них характерна высокая степень вариации значений ТР (от 1515 до 14 486 мс<sup>2</sup>) и АМНФ (от 417 до 4066 мс<sup>2</sup>), хотя значения HF%\* были относительно стабильными и варьировали лишь в пределах от 27,5 до 28 %. По нашим данным [5, 29], более детально изложенным ниже (разд. 5), у элитного лыжника-гонщика, МС Д.А. Катаева (далее – К.Д.) на протяжении сезона медианы ТР, АМНФ и HF% варьировали соответственно от 5754 до 11 099 мс<sup>2</sup>, от 2478 до 4930 мс<sup>2</sup> и от 34,1 до 53,4 %. Итак, для лыжников-гонщиков характерны высокие значения ТР, АМНФ и HF% [5, 17, 22, 24, 25, 29], что, вероятно, свидетельствует о высокой активности ПО АНС.

**4.2. Биатлон.** У 25 биатлонисток (КМС, МС; средний возраст – 21,5 года) в июле (начало подготовительного периода), ноябре (конец подготовительного периода) и марте (конец соревновательного периода) значения ТР, АМНФ и HF%\* варьировали от 5228 до 7059 мс<sup>2</sup>, от 2730 до 2971 мс<sup>2</sup> и от 43,8 до 52 % соответственно [19]. Однако по данным других авторов [26], у 46 биатлонистов (КМС, МС; 18–25 лет) ТР, АМНФ и HF%\* зависели от типа регуляции сердечной деятельности: при центральном типе регуляции ( $n = 21$ ) их значения составили 2681 мс<sup>2</sup>, 803 мс<sup>2</sup> и 29,9 % соответственно, а при автономном типе ( $n = 25$ ) – 5735 мс<sup>2</sup>, 1302 мс<sup>2</sup> и 22,7 % соответственно.

**4.3. Плавание.** У 8–9-летних пловцов значения ТР, АМНФ и HF%\* составили 3227 мс<sup>2</sup>, 529 мс<sup>2</sup> и 16,4 %, а у 14–15-летних – 4536 мс<sup>2</sup>, 1267 мс<sup>2</sup> и 27,9 % [28]; у 18–19-летних – 4546 мс<sup>2</sup>, 1936 мс<sup>2</sup> и 42,5 %\* [9]; у 18–23-летних –

3310 мс<sup>2</sup>, 920 мс<sup>2</sup> и 27,8 % [17] соответственно. Однако при исследовании 50 пловцов (средний возраст – 15,5 года) установлено [11], что TP, AMHF и HF%\* зависят от типа регуляции сердечной деятельности – у симпатикотоников их значения составили 1173 мс<sup>2</sup>, 322 мс<sup>2</sup> и 27,4 %, у нормотоников – 4234 мс<sup>2</sup>, 1764 мс<sup>2</sup> и 41,6 %\*, а у ваготоников – 10 370 мс<sup>2</sup>, 8714 мс<sup>2</sup> и 84 %\* соответственно.

**4.4. Игровые виды спорта (хоккей, волейбол, гандбол, футбол, баскетбол).** У 22 волейболистов (18–21 год) значения TP, AMHF и HF%\* составили 4405 мс<sup>2</sup>, 979 мс<sup>2</sup> и 22,2 % [20] соответственно; у 14–15-летних хоккеистов – 5347 мс<sup>2</sup>, 2367 мс<sup>2</sup> и 44,2 % [13]; у 18-летних хоккеистов – 8649 мс<sup>2</sup>, 2724 мс<sup>2</sup> и 31,4 % [9]. У 150 мужчин (16–40 лет), занимающихся игровыми видами спорта, значение HF% равнялось 41 % [10]. Обследуя 22 гандболистов (I взрослый разряд, КМС, МС; средний возраст – 20,3 года, стаж – 8–14 лет) 6 раз в течение годичного цикла, О.Н. Кудря [12] установила, что значения TP, AMHF и HF% варьировали у них от 2781 до 8015 мс<sup>2</sup>; от 1417 до 3289 мс<sup>2</sup> и от 24,8 до 37,6 % соответственно.

**4.5. Единоборства (греко-римская борьба, тхэквондо, джиу-джитсу).** У 33 борцов греко-римского стиля (18–23 года) значения TP, AMHF и HF% составили 4668 мс<sup>2</sup>, 2012 мс<sup>2</sup> и 43,1 % соответственно [17]. У высококвалифицированных тхэквондистов (средний возраст – 23,5 года), членов сборной команды России, значения TP, AMHF и HF% варьировали от 5506 до 20 918 мс<sup>2</sup>, от 2065 до 13 068 мс<sup>2</sup> и от 37,5 до 62,4 % для мужчин ( $n = 7$ ) и от 3035 до 16 739 мс<sup>2</sup>, от 782 до 10 871 мс<sup>2</sup> и от 25,7 до 64,9 % для женщин ( $n = 7$ ) соответственно [21]. Таким образом, вне зависимости от пола обследуемых указанные показатели имели высокую вариативность. У 25-летних мужчин ( $n = 18$ ), занимающихся бразильским джиу-джитсу, значения TP, AMHF и HF% составили 3283 мс<sup>2</sup>, 1005 мс<sup>2</sup> и 28,0 % соответственно [15]. У 350 мужчин (16–40 лет), занимающихся единоборствами, HF% равнялось 41,9 % [10].

**4.6. Другие виды спорта.** У 23 мужчин (17–28 лет), занимающихся пулевой стрельбой, значения TP, AMHF и HF% составили 4475 мс<sup>2</sup>, 1766 мс<sup>2</sup> и 35,1 % соответственно [23], а у 18-летних тяжелоатлетов – 2871 мс<sup>2</sup>, 903 мс<sup>2</sup> и 31,4 %\* [9].

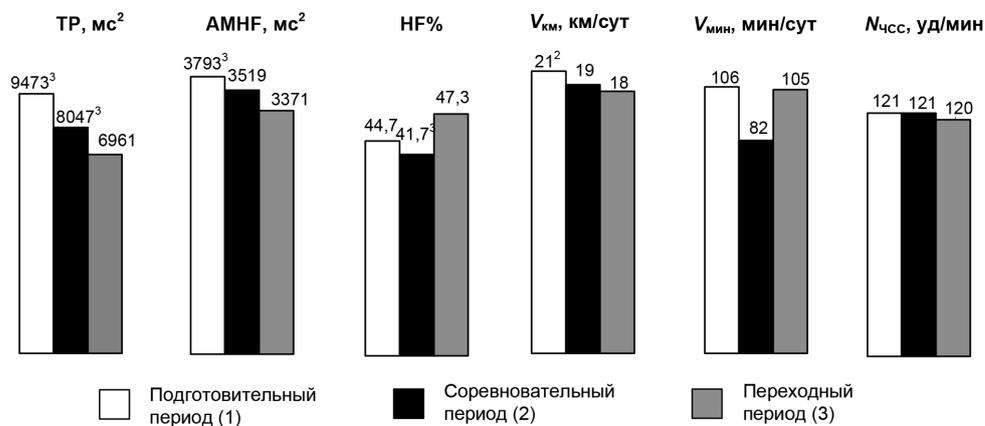
**4.7. Обобщение.** Итак, высокие значения TP, AMHF и HF% свойственны спортсменам, тренирующимся на выносливость [5, 8, 17, 19, 27]. Среди них лидируют лыжники-гонщики [5, 8, 17] и биатлонисты [19]. Для спортсменов, занимающихся единоборствами [15, 17, 21], тяжелой атлетикой [9] или другими видами спорта [18, 23], характерны более низкие значения TP, AMHF и HF%. Но даже в одном и том же виде спорта может наблюдаться выраженный разброс значений исследуемых показателей, что, вероятно, зависит от степени тренированности и этапа подготовки, о чем детальнее сообщается в следующем разделе.

**5. Значения TP, AMHF, HF% в зависимости от периода годичного цикла и характера тренировочных нагрузок.** В годичном тренировочном цикле принято выделять подготовительный, соревновательный и переходный периоды [30]. Коллектив авторов [31] отмечает, что самые высокие значения TP, AMHF и HF% у лыжников характерны для завершения подготовительного периода, но в момент приближения к ответственному старту данные показатели могут снижаться [1, 29, 32]. Так, при обследовании 25 биатлонисток (КМС, МС; средний возраст – 21,5 года) в июле (начало подготовительного периода), ноябре (конец подготовительного периода и начало соревновательного) и марте (завершение соревновательного периода) установлено [19], что значения TP составили 5868, 5228 и 7059 мс<sup>2</sup> с; AMHF – 2971, 2730 и 2730 мс<sup>2</sup>, а HF%\* – 50,0; 52,0 и 43,8 % соответственно. Авторы делают вывод, что TP и AMHF относительно стабильны, в то время как HF% снижается к моменту завершения соревновательного периода; это объясняется развитием физического и психологического утомления, что компенсаторно активизирует СО АНС. У элитных волейболисток показатель HF% сни-

жается в предматчевый день и сохраняется на этом уровне в день матча [33], что, по нашему мнению, обусловлено активацией СО АНС. Обследуя 22 гандболистов (I взрослый разряд, КМС, МС; средний возраст – 20,3 года, спортивный стаж – 8–14 лет), при 6-кратной регистрации КИГ (в начале и конце подготовительного периода; в начале и конце 1-го круга игр; в начале и конце 2-го круга игр) О.Н. Кудря [12] зафиксировала следующие значения: ТР – 2781, 4664, 5275, 8015, 4431 и 3926 мс<sup>2</sup> соответственно; АМНФ – 6905, 1627, 1987, 3289, 1558 и 1417 мс<sup>2</sup>, а НФ% – 24,8; 34,8; 37,6; 41,0; 35,1 и 36,1 %. Автор сделала вывод, что в подготовительный период и в первой половине соревновательного происходит достоверный рост ТР, АМНФ и НФ%, что свидетельствует о повышении тренированности спортсменов и активности ПО АНС. В то же время во 2-м круге соревнований отмечено снижение всех трех показателей, что объясняется развитием хронического утомления и компенсаторным повышением активности СО АНС.

Мы установили, что у элитного лыжника-гонщика К.Д. ТР, АМНФ и НФ% варьируют в течение всего годичного цикла (методика этого исследования описана в [4, 5, 29]). Действительно, медиана ТР менялась на протяжении спортивного сезона (от 5754 до 11 099 мс<sup>2</sup>), в т. ч. повышалась в подготовительный (до 9473 мс<sup>2</sup>), сохранялась высокой в соревновательный (8047 мс<sup>2</sup>) и снижалась в переходный (6961 мс<sup>2</sup>) периоды (рис. 1). В подготовительный и переходный периоды медиана ТР претерпевала колебания от месяца к месяцу, в то время как в соревновательный период она была относительно стабильной. Расчет коэффициента Спирмена показал, что ТР находится в прямой зависимости от объема тренировочной нагрузки, выраженного длиной маршрута за день тренировки ( $V_{км}$ ), а также от интенсивности тренировочной нагрузки ( $N_{чсс}$ ), оцениваемой по величине рабочего пульса (уд/мин) в процессе тренировки.

Мы установили (рис. 1), что медиана АМНФ у спортсмена К.Д. также менялась на протя-

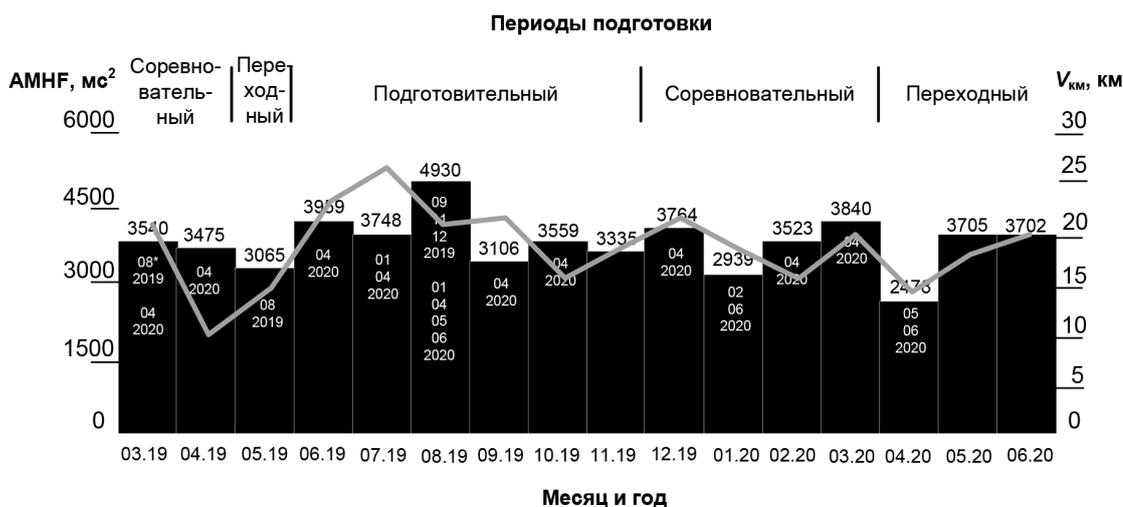


**Рис. 1.** Динамика медиан ТР, АМНФ и НФ%, а также объема тренировочных нагрузок, выраженного в километрах пройденного пути в сутки ( $V_{км}$ ) или минутах тренировки в сутки ( $V_{мин}$ ), и ее интенсивности, оцениваемой по величине рабочего пульса ( $N_{чсс}$ ), в подготовительный, соревновательный и переходный периоды у элитного лыжника-гонщика К.Д. (цифры в индексе означают, что различие с соответствующим периодом статистически значимо,  $p < 0,05$ )

**Fig. 1.** Dynamics of the median values of TP, HFAP and HF%, as well as of the training load volume in kilometers per day ( $V_{км}$ ) or minutes of training per day ( $V_{мин}$ ), and its intensity, evaluated by the “working” pulse ( $N_{чсс}$ ), during the preparatory, competitive and transition phases in elite cross-country skier Kataev (index numbers mean that the difference from the corresponding phase is statistically significant,  $p < 0.05$ )

жении годового сезона (от 2478 до 4930 мс<sup>2</sup>), в т. ч. повышалась в подготовительный (3793 мс<sup>2</sup>), сохранялась высокой в соревновательный (3519 мс<sup>2</sup>) и снижалась в переходный (3371 мс<sup>2</sup>) периоды. При этом во все три периода между отдельными месяцами выявлены статистически значимые различия (рис. 2).

дународного класса) на протяжении подготовительного и соревновательного периодов медианы TP, AMHF и HF% примерно такие же, как у спортсмена К.Д. При этом в соревновательный период медианы TP, AMHF и HF% были статистически значимо ( $p < 0,05$ ) ниже, чем в подготовительный (7864 мс<sup>2</sup>, 3077 мс<sup>2</sup> и 37,2 %



**Рис. 2.** Динамика медиан AMHF (столбцы) и объема ( $V_{км}$ ) тренировочной нагрузки (линейный график) элитного лыжника-гонщика К.Д. (числа внутри столбцов отражают месяцы, от которых данный месяц статистически значимо (критерий Манна–Уитни,  $p < 0,05$ ) отличается по значениям AMHF)

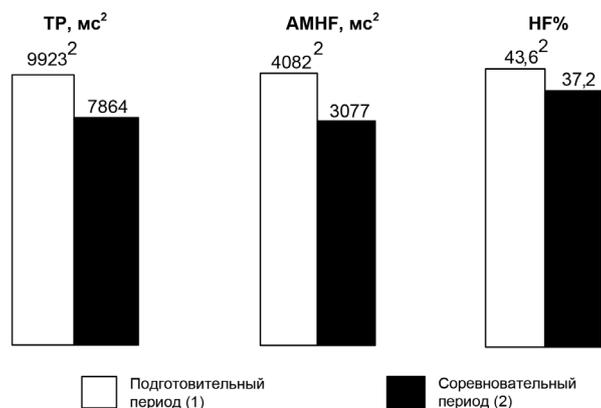
**Fig. 2.** Dynamics of the median values of HFAP (columns) and volume ( $V_{км}$ ) of the training load (line graph) in elite cross-country skier Kataev (numbers inside the columns reflect the months from which this month is statistically significantly (according to the Mann–Whitney  $U$  test,  $p < 0.05$ ) different in terms of HFAP values)

Медиана HF% у К.Д. также менялась на протяжении спортивного сезона (от 34,1 до 53,4 %). В подготовительный период она составляла 44,7 %, незначительно снижалась в соревновательный (41,7 %) и статистически значимо повышалась в переходный (47,3 %) (рис. 1). При этом между отдельными месяцами подготовительного и соревновательного периодов имелись статистически значимые различия, а в переходный период таких различий не обнаружено.

На рис. 3 также показано, что у 8 членов сборной команды Республики Татарстан по лыжным гонкам (6 МС и 2 мастера спорта России меж-

против 9923 мс<sup>2</sup>, 4082 мс<sup>2</sup> и 43,6 % соответственно). Это снижение мы объясняем возрастанием влияния СО АНС в соревновательный период (для которого характерно формирование чувства тревожности [34]), что обнаруживается даже в условиях покоя.

В целом, результаты наших исследований согласуются с данными литературы, согласно которым в подготовительный период у лыжников-гонщиков наблюдаются высокие значения TP и AMHF [1, 24, 31, 32] и HF% [19, 24, 33], а в соревновательный они частично снижаются [1, 32]. Это говорит о том, что в подготовитель-



**Рис. 3.** Динамика медиан TP, AMHF и HF% в подготовительный и соревновательный периоды у 8 лыжников-гонщиков сборной команды Республики Татарстан (цифры в индексе означают, что различия с соревновательным периодом статистически значимы по критерию Манна–Уитни,  $p < 0,05$ )

**Fig. 3.** Dynamics of the median values of TP, HFAP and HF% in the preparatory and competitive phases in 8 skiers of the Tatarstan national team (index numbers mean that the differences from the competitive phase are statistically significant according to the Mann–Whitney  $U$  test,  $p < 0.05$ )

ный период удельный вклад ПО АНС в общую регуляцию работы сердца постепенно возрастает под влиянием тренировок на выносливость, а в соревновательный – снижается, что, возможно, обусловлено повышением активности СО АНС, происходящим в ответ на формирование чувства тревожности, которое уменьшается в переходный период, как у спортсмена К.Д. (см. рис. 1). Не исключено, что чем дольше спортсмен находится в данном эмоциональном состоянии, тем сильнее снижение HF% в соревновательный период.

**6. Динамика значений TP, AMHF и HF% на УТС.** У лыжников указанные показатели могут изменяться в течение одного микро-, мезо-, макроцикла. Так, Ф.Б. Литвин и соавт. обнаружили, что у 18–25-летних лыжников-гонщиков (МС) медиана TP в начале УТС составляла 11 258 мс<sup>2</sup>, а по окончании – 12 779 мс<sup>2</sup>, медиана AMHF – 7263 и 3391 мс<sup>2</sup> соответственно, а медиана HF% – 64,5 и 26,5 % [25]; авторы считают снижение AMHF и HF%

следствием развития перетренированности (утомления) и компенсаторного повышения активности СО АНС. У 20 лыжников-гонщиков (20–22 года) до начала УТС и после их завершения TP составили 3399 и 3320 мс<sup>2</sup>, AMHF – 1159 и 1017 мс<sup>2</sup>, а HF% – 34,1 и 30,5 % соответственно, т. е. значимо не менялись [24]. По нашим данным, у спортсмена К.Д. даже на протяжении одного месяца каждого периода происходят статистически значимые волнообразные изменения медиан TP, AMHF (рис. 2) и HF%, которые являются следствием изменения объема тренировочных нагрузок.

**7. Значения TP, AMHF и HF% у спортсменов в зависимости от типа вегетативной регуляции сердечной деятельности.** Ряд исследователей считают, что у спортсменов TP, AMHF и HF% существенно зависят от типа регуляции сердечной деятельности [11, 14, 16, 22, 26]. В частности, на основании значений стресс-индекса (SI) и абсолютной мощности VLF-волн (AMVLF) постулируется наличие 4 типов [16, 22] спортсменов: I и II типы – это лица с умеренным ( $SI > 100$  у. е.,  $AMVLF > 240$  мс<sup>2</sup>) или выраженным ( $SI > 100$  у. е.,  $AMVLF < 240$  мс<sup>2</sup>) преобладанием центральной (симпатической) регуляции, а III и IV типы – с умеренным ( $SI = 30–100$  у. е.,  $AMVLF > 240$  мс<sup>2</sup>) или выраженным ( $SI < 30$  у. е.,  $AMVLF > 500$  мс<sup>2</sup>) преобладанием автономной (парасимпатической) регуляции. Так, при исследовании 46 биатлонистов (КМС, МС; 18–25 лет) установлено [26], что при центральном типе регуляции ( $n = 21$ ) значения TP, AMHF и HF%\* составили 2681 мс<sup>2</sup>, 803 мс<sup>2</sup> и 29,9 % соответственно, а при автономном типе ( $n = 25$ ) – 5735 мс<sup>2</sup>, 1302 мс<sup>2</sup> и 22,7 %. Для 34 лыжников-гонщиков (17–22 лет) вследствие наличия 4 типов регуляции была характерна высокая вариация значений TP (от 1515 до 14 486 мс<sup>2</sup>) и AMHF (от 417 до 4066 мс<sup>2</sup>), в то время как значения HF% оставались стабильными и варьировали в незначительных пределах (от 27,5 %\* до 28 %\*) [22]. Другим вариантом классификации спортсменов является выделение симпатикотоников, ваготоников и нормото-

ников, а критерием такого деления можно считать значения TP, AMHF и HF% – чем они выше, тем выше вероятность ваготонии [11, 14]. Так, при обследовании 50 пловцов (средний возраст – 15,5 года) выявлено [11], что у симпатикотоников значения TP, AMHF и HF%\* составили 1173 мс<sup>2</sup>, 322 мс<sup>2</sup> и 27,4 % соответственно, у нормотоников – 4234 мс<sup>2</sup>, 1764 мс<sup>2</sup> и 41,6 %, а у ваготоников – 10 370 мс<sup>2</sup>, 8714 мс<sup>2</sup> и 84 %. Для юных лыжников-гонщиков 10 и 11 лет ( $n = 32$ ) установлено [14], что у симпатикотоников ( $n = 6$ ) значения TP, AMHF и HF%\* составили 1798 мс<sup>2</sup>, 625 мс<sup>2</sup> и 34 % соответственно, у нормотоников ( $n = 14$ ) – 5621 мс<sup>2</sup>, 2845 мс<sup>2</sup> и 50 %\*, а у ваготоников ( $n = 12$ ) – 19 028 мс<sup>2</sup>, 13 160 мс<sup>2</sup> и 69 %\*.

**Закключение.** Считается, что AMHF отражает процесс адаптации к физическим нагрузкам и стрессовым факторам [1, 31] и коррелирует с уровнем тренированности и спортивным результатом, главным образом в тех спортивных дисциплинах, где требуется выносливость [35]. Анализ литературы позволяет утверждать, что при высокой двигательной активности, т. е. при занятии многими видами спорта аэробной направленности, возрастает степень влияния ПО АНС на деятельность сердца, это выражается в повышении средних значений или медиан TP [13, 20], AMHF (см. [13, 20, 27] и др.) и HF% [13], хотя имеются сведения о снижении значений HF% [20]. Такая же тенденция наблюдается при повышении мастерства у юных спортсменов [6, 13, 28]. Можно утверждать, что при тренировках на выносливость (лыжные гонки и др.) отсутствие роста анализируемых показателей в ходе тренировочного процесса говорит о его неэффективности [1, 12, 25, 28, 35], а существенное падение этих показателей отражает формирование хронического утомления, т. е. перетренированности [22, 36], в связи с чем происходит активация СО АНС.

Установлено, что даже у представителей одного вида спорта наблюдается нестабильность значений TP, AMHF и HF%, которая зависит от этапа годичного цикла подготовки. В частности, показано, что у элитных лыжни-

ков в подготовительный период наблюдается волнообразное изменение значений TP и AMHF [1, 4, 5, 24, 31, 32] и HF% [5, 19, 24, 33]. В соревновательный период значения TP, AMHF и HF% могут снижаться [1, 5, 32], что расценивается нами и другими авторами [5, 29, 34] как следствие формирования эмоционального стресса, вызванного тревожным состоянием накануне соревнований. Вероятно, чем выше уровень предстартовой тревожности, тем значительнее снижение этих показателей. Однако данное утверждение требует дополнительных доказательств. Установлено, что значения TP, AMHF и HF могут изменяться на протяжении одного UTC, в т. ч. в связи с утомлением спортсмена [25] и, вероятно, скоростью процессов восстановления после очередной тренировки. Поэтому оценка динамики показателей ВСР является перспективным методом контроля эффективности тренировочного и восстановительных процессов.

По мнению ряда авторов, на TP, AMHF и HF% влияет не вид спортивной специализации, не уровень тренированности и наличие эмоционального стресса, а тип регуляции сердечной деятельности [11, 14, 16, 22, 25], в т. ч. врожденная степень влияния СО и ПО АНС на деятельность сердца. Но это положение требует более убедительных доказательств. Не исключено, что выбор вида спорта определяется первыми успехами юного спортсмена, что, возможно, обусловлено врожденными особенностями регуляции сердечной деятельности, в которой участвуют не только ПО и СО АНС, но и ряд БАВ, в т. ч. эндогенные антиоксиданты (например, аскорбиновая кислота), свободные аминокислоты (гистидин, триптофан, тирозин, дофамин, серотонин), простагландины типа ПГФ<sub>2α</sub>, ПГЕ<sub>2</sub>, оксид азота, ненеурональный ацетилхолин, мелатонин и другие вещества, которые, как показано в литературе [37], способствуют жизнеспособности кардиомиоцитов в условиях больших по объему и интенсивности тренировок на выносливость и сохранению высокой эффективности активации адренорецепторов и М-холинорецепторов миокарда.

В связи с дискуссией о типах регуляции сердечной деятельности и ее влиянии на показатели ВСР у спортсменов, мы выдвигаем гипотезу о формировании у лыжников-гонщиков и представителей других видов спорта, требующих большой выносливости, так называемой антиапоптической системы, компонентом которой являются как минимум перечисленные выше БАВ. Мы не исключаем, что тип регуляции сердечной деятельности зависит от компонентов антиапоптической системы миокарда, состав которой во многом может быть индивидуален, в т. ч. с учетом возможных генетических

мутаций. Вероятно, природные (врожденные) качества антиапоптической системы миокарда у людей различаются и во многом определяют успешность спортивной карьеры и мотивацию к занятиям теми видами спорта, где требуется высокая выносливость. В то же время мы полагаем, что общие закономерности зависимости ТР, АМНФ и HF% от вида спортивной специализации, уровня спортивного мастерства, периодов тренировочного макроцикла, объема и интенсивности тренировочного занятия будут характерны для спортсмена независимо от типа регуляции сердечной деятельности.

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

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

**Вклад авторов:** Катаев Д.А. – регистрация КИГ в полевых условиях, анализ ее параметров, написание статьи, анализ литературы; Циркин В.И. – руководство научной работой, анализ литературы, работа над статьей; Кишкина В.В. – проведение суточного мониторинга ЭКГ 60 подростков; Трухин А.Н., Трухина С.И. – научное редактирование, оформление статьи и необходимой документации.

**Authors' contributions:** D.A. Kataev recorded cardiointervalograms in the field and analysed their parameters, as well as wrote the manuscript and analysed literature; V.I. Tsirkin supervised the research, analysed literature and worked on the manuscript; V.V. Kishkina conducted daily ECG monitoring of 60 adolescents; A.N. Trukhin and S.I. Trukhina performed scientific editing and formatting of the manuscript, as well as prepared the necessary documentation.

## Список литературы

1. Гаврилова Е.А. Спорт, стресс, варибельность: моногр. М.: Sport, 2015. 167 с.
2. Catai A.M., Pastre C.M., Godoy M.F., da Silva E., de Medeiros Takahashi A.C., Vanderlei L.C.M. Heart Rate Variability: Are You Using It Properly? Standardisation Check List of Procedures // Braz. J. Phys. Ther. 2020. Vol. 24, № 2. P. 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2019.02.006>
3. Perek S., Raz-Pasteur A. Heart Rate Variability: The Age-Old Tool Still Remains Current // Harefuah. 2021. Vol. 160, № 8. P. 533–536.
4. Катаев Д.А., Циркин В.И., Кишкина В.В., Трухина С.И., Трухин А.Н. Природа общей мощности спектра и очень низкочастотных волн кардиоинтервалограммы с позиций адаптации организма человека к двигательной активности (обзор) // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 1. С. 95–107. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z134>
5. Катаев Д.А., Циркин В.И., Завалин Н.С., Морозова М.А., Трухин А.Н., Трухина С.И. Динамика ТР, HF-, LF- и VLF-волн кардиоинтервалограммы (в условиях клиностаза) элитного лыжника-гонщика в подготовительном, соревновательном и переходном периодах в зависимости от объема и интенсивности тренировочных нагрузок // Физиология человека. 2023. Т. 49, № 5. С. 87–100.
6. Михайлов В.М. Варибельность ритма сердца (новый взгляд на старую парадигму). Иваново: Нейрософт, 2017. 516 с.
7. Shaffer F., Ginsberg J.P. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. Review // Front. Public Health. 2017. Vol. 5. Art. № 258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>

8. Белова Е.Л., Румянцева Н.В. Адаптация к условиям ортостатической пробы у юных спортсменов в зависимости от особенностей тренировочного процесса // Уч. зап. ун-та им. П.Ф. Лесгафта. 2008. № 3(37). С. 21–24.
9. Кудря О.Н. Влияние физических нагрузок разной направленности на вариабельность ритма сердца у спортсменов // Бюл. сиб. медицины. 2009. Т. 8, № 1. Р. 36–42.
10. Иванова Н.В. Оценка функционального состояния кардиореспираторной системы спортсменов с различной спецификой мышечной деятельности в соревновательном периоде подготовки // Вестн. спортив. науки. 2011. № 1. С. 64–68.
11. Русанов В.Б. Типологические особенности вегетативной регуляции ритма сердца подростков в условиях различной двигательной активности // Вестн. Челябин. гос. пед. ун-та. 2011. № 6. С. 313–324.
12. Кудря О.Н. Оценка функционального состояния и физической подготовленности спортсменов по показателям вариабельности сердечного ритма // Вестн. Новосиб. гос. пед. ун-та. 2014. № 1(17). С. 185–195.
13. Шангареева Г.Н. Показатели вариабельности сердечного ритма у юных хоккеистов олимпийского резерва // Мед. вестн. Башкортостана. 2014. Т. 9, № 1. С. 49–52.
14. Ефремова Р.И., Стицин А.П., Воронина Г.А. Реактивность регуляторных систем юных лыжников в зависимости от типа вегетативной регуляции // Вят. мед. вестн. 2015. № 4(48). С. 15–18.
15. Крылова И.Ф., Балтабаев Ф.Е., Новиченко А.О., Куликов В.Ю., Пиковская Н.Б. Анализ параметров кардиоинтервалограммы у спортсменов, занимающихся бразильским джиу-джитцу в процессе тренировки // Медицина и образование в Сибири. 2015. № 3. Ст. № 86.
16. Шлык Н.И. Экспресс-оценка функциональной готовности организма спортсменов к тренировочной и соревновательной деятельности (по данным анализа вариабельности сердечного ритма) // Наука и спорт: современ. тенденции. 2015. Т. 9, № 4(9). С. 5–15.
17. Викулов А.Д., Бочаров М.В., Каунина Д.В., Бойков В.Л. Регуляция сердечной деятельности у спортсменов высокой квалификации // Вестн. спортив. науки. 2017. № 2. С. 31–36.
18. Власенко Р.Я., Балашова А.Д., Лесько А.Ю. Изучение кардиоритма профессиональных спортсменов с учетом их личностных особенностей при выполнении стандартного нагрузочного теста PWC<sub>170</sub> // Вестн. Новгород. гос. ун-та. 2021. № 1(122). С. 104–107. [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.1\(122\).104-107](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.1(122).104-107)
19. Кальсина В.В., Кудря О.Н., Реуцкая Е.А. Оценка функционального состояния биатлонисток высокой квалификации по показателям вариабельности ритма сердца // Уч. зап. ун-та им. П.Ф. Лесгафта. 2021. № 8(198). С. 111–118. <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2021.8.p111-118>
20. Литовченко О.Г., Максимова А.С., Чирков А.А. Особенности вариабельности сердечного ритма у молодых спортсменов-волейболистов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры // Современ. вопр. биомедицины. 2021. Т. 5, № 4(17). Ст. № 18. [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2021\\_05\\_04\\_18](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2021_05_04_18)
21. Мищенко И.А., Волынская Е.В., Коробова С.А. Мониторинг функционального состояния тхэквондистов по показателям вариабельности сердечного ритма в предсоревновательном микроцикле // Человек. Спорт. Медицина. 2021. Т. 21, № 2. С. 42–50.
22. Шлык Н.И. Нормативы вариационного размаха кардиоинтервалов в покое и ортостазе при разных типах регуляции у лыжников-гонщиков в тренировочном процессе // Наука и спорт: современ. тенденции. 2021. Т. 9, № 4. С. 35–50. <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2021-9-4-35-50>
23. Корепанов А.Л., Бобрик Ю.В., Титаренко А.А., Пономарев В.А. Динамика показателей вариабельности сердечного ритма в процессе тренинга внимания у спортсменов-стрелков высокой квалификации // Теория и практика физ. культуры. 2022. № 4. С. 54–56.
24. Рудь Е.А., Кудря О.Н. Показатели вариабельности сердечного ритма лыжников-гонщиков в условиях учебно-тренировочных сборов при использовании транскраниальной электростимуляции // Современ. вопр. биомедицины. 2022. Т. 6, № 1(18). [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2022\\_06\\_01\\_25](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_01_25)
25. Литвин Ф.Б., Аносов И.П., Асямолов П.О., Васильева Г.В., Мартынов С.В., Жигало В.Я. Сердечный ритм и система микроциркуляции у лыжников в предсоревновательном периоде спортивной подготовки // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер.: Биология. Наука о земле. 2012. № 1. С. 67–74.
26. Литвин Ф.Б., Брук Т.М., Терехов П.А., Осипова Н.В. Особенности анаэробной работоспособности биатлонистов в зависимости от типа вегетативной регуляции сердечного ритма // Журн. мед.-биол. исследований. 2020. Т. 8, № 4. С. 368–377. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-2020>
27. Kaltsatou A., Kouidi E., Fotiou D., Deligiannis P. The Use of Pupillometry in the Assessment of Cardiac Autonomic Function in Elite Different Type Trained Athletes // Eur. J. Appl. Physiol. 2011. Vol. 111, № 9. P. 2079–2087. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1836-0>

28. Брынцева Е.В., Гаврилова Е.А., Загородный Г.М., Чурганов О.А., Белодедова М.Д. Прогноз успешности пловцов-юниоров на основе оценки вариабельности сердечного ритма // Приклад. спортив. наука. 2020. № 2(12). С. 61–69.

29. Катаев Д.А., Циркин В.И., Завалин Н.С., Морозова М.А., Трухин А.Н., Трухина С.И. Динамика ТР- и HF-волн кардиоинтервалограммы лыжника-гонщика в подготовительном, соревновательном и переходном периодах в зависимости от объема и интенсивности тренировочных нагрузок // Вестн. спортив. науки. 2023. № 1. С. 46–54.

30. Миссина С.С., Адодин Н.В., Крючков А.С., Мякинченко Е.Б. Модели периодизации нагрузок силовой направленности в мезоциклах подготовки лыжников-гонщиков высокого класса // Пед.-психол. и мед.-биол. проблемы физ. культуры и спорта. 2022. Т. 17, № 3. С. 23–30.

31. Daniłowicz-Szymanowicz L., Figura-Chmielewska M., Raczak A., Szwoch M., Ratkowski W. The Assessment of Influence of Long-Term Exercise Training on Autonomic Nervous System Activity in Young Athletes Preparing for Competitions // Pol. Merkur. Lekarski. 2011. Vol. 30, № 175. P. 19–25.

32. Cervantes Blásquez J.C., Rodas Font G., Capdevila Ortís L. Heart-Rate Variability and Precompetitive Anxiety in Swimmers // Psicothema. 2009. Vol. 21, № 4. P. 531–536.

33. D'Ascenzi F., Alvino F., Natali B.M., Cameli M., Palmitesta P., Boschetti G., Bonifazi M., Mondillo S. Precompetitive Assessment of Heart Rate Variability in Elite Female Athletes During Play Offs // Clin. Physiol. Funct. Imaging. 2014. Vol. 34, № 3. P. 230–236. <https://doi.org/10.1111/cpf.12088>

34. Palazzolo J. Anxiety and Performance // Encephale. 2020. Vol. 46, № 2. P. 158–161. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2019.07.008>

35. Корягина Ю.В., Нопин С.В., Абуталимова С.М., Тер-Акопов Г.Н. Вегетативная регуляция сердечного ритма высококвалифицированных лыжников-гонщиков в условиях тренировки в среднегорье // Вопр. курортологии, физиотерапии и лечеб. физ. культуры. 2021. Т. 98, № 3-2. С. 98. <https://doi.org/10.17116/kurort20219803221>

36. Hedelin R., Wiklund U., Bjerle P., Henriksson-Larsén K. Pre- and Post-Season Heart Rate Variability in Adolescent Cross-Country Skiers // Scand. J. Med. Sci. Sports. 2020. Vol. 10, № 5. P. 298–303. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2000.010005298.x>

37. Циркин В.И., Трухин А.Н., Трухина С.И. Холин- и моноаминергические транмиттерные системы в норме и патологии: моногр. Киров: Вят. гос. ун-т, 2020. 296 с.

## References

- Gavrilova E.A. *Sport, stress, variabel'nost'* [Sport, Stress, Variability]. Moscow, 2015. 167 p.
- Catai A.M., Pastre C.M., de Godoy M.F., da Silva E., de Medeiros Takahashi A.C., Vanderlei L.C.M. Heart Rate Variability: Are You Using It Properly? Standardisation Check List of Procedures. *Braz. J. Phys. Ther.*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2019.02.006>
- Perek S., Raz-Pasteur A. Heart Rate Variability: The Age-Old Tool Still Remains Current. *Harefuah*, 2021, vol. 160, no. 8, pp. 533–536.
- Kataev D.A., Tsirkin V.I., Kishkina V.V., Trukhina S.I., Trukhin A.N. The Nature of Total Power and Very Low Frequency Waves on the Interval Electrocardiogram from the Standpoint of the Human Body's Adaptation to Motor Activity (Review). *J. Med. Biol. Res.*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 95–107. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z134>
- Kataev D.A., Tsirkin V.I., Zavalin N.S., Morozova M.A., Trukhin A.N., Trukhina S.I. Dynamics of TP, HF-, LF-, and VLF-Waves of the Cardiointervalogram (in Clinostasis Conditions) of an Elite Ski Racer in the Preparatory, Competition, and Transition Periods Depending on the Volume and Intensity of Training Loads. *Hum. Physiol.*, 2023, vol. 49, no. 5, pp. 87–100. <https://doi.org/10.1134/S0362119723700408>
- Mikhaylov V.M. *Variabel'nost' ritma serdtsa (novyy vzglyad na staruyu paradigmu)* [Heart Rate Variability (a New Look at the Old Paradigm)]. Ivanovo, 2017. 516 p.
- Shaffer F., Ginsberg J.P. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. Review. *Front. Public Health*, 2017, vol. 5. Art. no. 258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
- Belova E.L., Rummyantseva N.V. Adaptatsiya k usloviyam ortostaticeskoy proby u yunyh sportmenov v zavisimosti ot osobennostey trenirovochnogo protsessa [Adaptation to Conditions of Orthostatic Tests of Young Sportsmen Depending on Features of Training Process]. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*, 2008, no. 3, pp. 21–24.
- Kudrya O.N. Vliyanie fizicheskikh nagruzok raznoy napravlenosti na variabel'nost' ritma serdtsa u sportmenov [The Influence of the Different Direction Physical Tensions for Heart Rate Variability of the Sportsmen]. *Byulleten' sibirskoy meditsiny*, 2009, vol. 8, no. 1, pp. 36–42.

10. Ivanova N.V. Otsenka funktsional'nogo sostoyaniya kardiorespiratornoy sistemy sportsmenov s razlichnoy spetsifikoy myshechnoy deyatelnosti v sorevnovatel'nom periode podgotovki [Evaluation of Cardiorespiratory Functional State in Athletes with Different Regimens of Muscular Activity During Competition Stage of Training]. *Vestnik sportivnoy nauki*, 2011, no. 1, pp. 64–68.

11. Rusanov V.B. Tipologicheskie osobennosti vegetativnoy regulyatsii ritma serdtsa podrostkov v usloviyakh razlichnoy dvigatel'noy aktivnosti [Typological Characteristics of Teenagers' Heart Rhythm Vegetative Regulation During Different Physical Activity]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*, 2011, no. 6, pp. 313–324.

12. Kudrya O.N. Otsenka funktsional'nogo sostoyaniya i fizicheskoy podgotovlennosti sportsmenov po pokazatelyam variabel'nosti serdechnogo ritma [Evaluation of Functional State and Physical Preparedness of Athletes on Indicators of the Heart Rate Variability]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*, 2014, no. 1, pp. 185–195.

13. Shangareeva G.N. Pokazateli variabel'nosti serdechnogo ritma u yunyh khokkeistov olimpiyskogo rezerva [Heart Rate Variability Indices of Young Hockey Players of Olympic Reserve]. *Meditsinskiy vestnik Bashkortostana*, 2014, vol. 9, no. 1, pp. 49–52.

14. Efremova R.I., Spitsin A.P., Voronina G.A. Reaktivnost' regulyatornykh sistem yunyh lyzhnikov v zavisimosti ot tipa vegetativnoy regulyatsii [Reactivity of Young Skiers' Regulatory System in Different Types of Vegetative Regulation]. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik*, 2015, no. 4, pp. 15–18.

15. Krylova I.F., Baltabaev F.E., Novichenko A.O., Kulikov V.Yu., Pikovskaya N.B. Analiz parametrov kardiointervalogrammy u sportsmenov, zanimayushchikhsya brazil'skim dzhiu-dzhitsu v protsesse trenirovki [Analysis of Cardiointervalography Parameters at Brazilian Jujutsu Sportsmen During Training]. *Meditsina i obrazovanie v Sibiri*, 2015, no. 3. Art. no. 86.

16. Shlyk N.I. Ekspress-otsenka funktsional'noy gotovnosti organizma sportsmenov k trenirovochnoy i sorevnovatel'noy deyatelnosti (po dannym analiza variabel'nosti serdechnogo ritma) [Express-Evaluation of the Functional Readiness of the Organism of Athletes for Training and Competitive Activity (According to the Analysis of Heart Rate Variability)]. *Nauka i sport: sovremennye tendentsii*, 2015, vol. 9, no. 4, pp. 5–15.

17. Vikulov A.D., Bocharov M.V., Kaunina D.V., Boykov V.L. Regulyatsiya serdechnoy deyatelnosti u sportsmenov vysokoy kvalifikatsii [Regulation of Cardiac Activity in Highly Qualified Athletes]. *Vestnik sportivnoy nauki*, 2017, no. 2, pp. 31–36.

18. Vlasenko R.Ya., Balashova A.D., Les'ko A.Yu. The Study of the Heart Rate Among Professional Athletes, Taking into Account Their Personal Characteristics When Performing the PWC170 Standard Exercise Test. *Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, no. 1, pp. 104–107 (in Russ.). [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.1\(122\).104-107](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.1(122).104-107)

19. Kal'sina V.V., Kudrya O.N., Reutskaya E.A. Otsenka funktsional'nogo sostoyaniya biatlonistok vysokoy kvalifikatsii po pokazatelyam variabel'nosti ritma serdtsa [Assessment of the Functional State of Highly Qualified Biathletes by Indicators of Heart Rate Variability]. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*, 2021, no. 8, pp. 111–118. <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2021.8.p111-118>

20. Litovchenko O.G., Maksimova A.S., Chirkov A.A. Osobennosti variabel'nosti serdechnogo ritma u molodykh sportsmenov-voleybolistov Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga – Yugry [Features of Heart Rate Variability in Young Volleyball Players of Khanty-Mansijsk Autonomous Okrug – Yugra]. *Sovremennye voprosy biomeditsiny*, 2021, vol. 5, no. 4. Art. no. 18. [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2021\\_05\\_04\\_18](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2021_05_04_18)

21. Mishchenko I.A., Volynskaya E.V., Korobova S.A. Functional State Monitoring in Taekwondo Athletes by Means of Heart Rate Variability in the Pre-Competition Period. *Hum. Sport Med.*, 2021, vol. 21, no. 2, pp. 42–50 (in Russ.).

22. Shlyk N.I. Standards of the Variational Range of Cardiac Intervals at Rest and During an Orthostatic Challenge with Different Types of Regulation in Ski Racers in the Training Process. *Sci. Sport Curr. Trends*, 2021, vol. 9, no. 4, pp. 35–50 (in Russ.). <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2021-9-4-35-50>

23. Korepanov A.L., Bobrik Yu.V., Titarenko A.A., Ponomarev V.A. Dinamika pokazateley variabel'nosti serdechnogo ritma v protsesse treninga vnimaniya u sportsmenov-strelkov vysokoy kvalifikatsii [Dynamics of Heart Rate Variability Indicators in the Process of Attention Training in Athletes-Highly Qualified Shooters]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, 2022, no. 4, pp. 54–56.

24. Rul' E.A., Kudrya O.N. Indicators of Heart Rate Variability of Ski Racers in the Conditions of Training Camps Using Transcranial Electrical Stimulation. *Mod. Iss. Biomed.*, 2022, vol. 6, no. 1 (in Russ.). [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2022\\_06\\_01\\_25](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_01_25)

25. Litvin F.B., Anosov I.P., Asyamolov P.O., Vasil'eva G.V., Martynov S.V., Zhigalo V.Ya. Serdechnyy ritm i sistema mikrotsirkulyatsii u lyzhnikov v pedsorevnovatel'nom periode sportivnoy podgotovki [Heart Rhythm and Microcirculation System in Skiers During the Precompetition Period of Sports Training]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser.: Biologiya. Nauki o zemle*, 2012, no. 1, pp. 67–74.

26. Litvin F.B., Bruk T.M., Terekhov P.A., Osipova N.V. Anaerobic Capacity in Biathletes Depending on the Type of Autonomic Heart Rate Regulation. *J. Med. Biol. Res.*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 368–377. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z029>

27. Kaltsatou A., Kouidi E., Fotiou D., Deligiannis P. The Use of Pupillometry in the Assessment of Cardiac Autonomic Function in Elite Different Type Trained Athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2011, vol. 111, no. 9, pp. 2079–2087. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1836-0>

28. Bryntseva E.V., Gavrilova E.A., Zagorodnyy G.M., Churganov O.A., Belodedova M.D. Prognoz uspesnosti plovtsov-yuniorov na osnove otsenki variabel'nosti serdechnogo ritma [Prognosis of the Success of Junior Swimmers Based on an Assessment of Heart Rate Variability]. *Prikladnaya sportivnaya nauka*, 2020, no. 2, pp. 61–69.

29. Kataev D.A., Tsirkin V.I., Zavalin N.S., Morozova M.A., Trukhin A.N., Trukhina S.I. Dinamika TP- i HF-voln kardiointervalogrammy lyzhnika-gonshchika v podgotovitel'nom, sorevnovatel'nom i perekhodnom periodakh v zavisimosti ot ob'ema i intensivnosti trenirovochnykh nagruzok [Dynamics of TP- and HF-Waves of a Ski Racer's Cardiac Intervalogram in the Preparatory, Competitive and Transitional Periods, Depending on the Volume and Intensity of Training Loads]. *Vestnik sportivnoy nauki*, 2023, no. 1, pp. 46–54.

30. Missina S.S., Adodin N.V., Kryuchkov A.S., Myakinchenko E.B. The Models of Strength-Oriented Loads Periodization in Mesocycles of Training High-Class Racing Skiers. *Russ. J. Phys. Educ. Sport*, 2022, vol. 17, no. 3, pp. 23–30 (in Russ.).

31. Daniłowicz-Szymanowicz L., Figura-Chmielewska M., Raczak A., Szwoch M., Ratkowski W. The Assessment of Influence of Long-Term Exercise Training on Autonomic Nervous System Activity in Young Athletes Preparing for Competitions. *Pol. Merkur. Lekarski*, 2011, vol. 30, no. 175, pp. 19–25.

32. Cervantes Blásquez J.C., Rodas Font G., Capdevila Ortís L. Heart-Rate Variability and Precompetitive Anxiety in Swimmers. *Psicothema*, 2009, vol. 21, no. 4, pp. 531–536.

33. D'Ascenzi F., Alvino F., Natali B.M., Cameli M., Palmitesta P., Boschetti G., Bonifazi M., Mondillo S. Precompetitive Assessment of Heart Rate Variability in Elite Female Athletes During Play Offs. *Clin. Physiol. Funct. Imaging*, 2014, vol. 34, no. 3, pp. 230–236. <https://doi.org/10.1111/cpf.12088>

34. Palazzolo J. Anxiety and Performance. *Encephale*, 2020, vol. 46, no. 2, pp. 158–161. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2019.07.008>

35. Koryagina Yu.V., Nopin S.V., Abutalimova S.M., Ter-Akopov G.N. Vegetativnaya regulyatsiya serdechnogo ritma vysokokvalifitsirovannykh lyzhnikov-gonshchikov v usloviyakh trenirovki v srednegor'e [Autonomic Regulation of Heart Rate in Elite Cross-Country Skiers During Training in Middle Altitudes]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoy fizicheskoy kul'tury*, 2021, vol. 98, no. 3-2, p. 98. <https://doi.org/10.17116/kurort20219803221>

36. Hedelin R., Wiklund U., Bjerle P., Henriksson-Larsén K. Pre- and Post-Season Heart Rate Variability in Adolescent Cross-Country Skiers. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 2020, vol. 10, no. 5, pp. 298–303. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2000.010005298.x>

37. Tsirkin V.I., Trukhin A.N., Trukhina S.I. *Kholin- i monoaminergicheskie transmitternye sistemy v norme i patologii* [Cholinergic and Monoaminergic Transmitter Systems in Health and Disease]. Kirov, 2020. 296 p.

*Поступила в редакцию 05.05.2023 / Одобрена после рецензирования 06.12.2023 / Принята к публикации 25.01.2024.  
Submitted 5 May 2023 / Approved after reviewing 6 December 2023 / Accepted for publication 25 January 2024.*



## Жизненный путь и научное наследие Анатолия Владимировича Грибанова



27 июля 2024 года основатель «Журнала медико-биологических исследований» Анатолий Владимирович Грибанов мог бы отпраздновать свой 78-й день рождения, но 13 сентября 2023 года его не стало. Весь коллектив журнала хотел бы почтить память коллеги и вдохновителя.

Анатолий Владимирович родился 27 июля 1946 года в г. Архангельске. В 1963 году окончил архангельскую среднюю школу № 44 (ныне № 39). В том же году поступил на лечебный факультет Архангельского государственного медицинского института (АГМИ; ныне – Северный государственный медицинский университет).

Получив диплом врача-лечебника, он с 1969 года работал судовым врачом теплохода

«Поной» Северного морского пароходства, а затем (с 1970 года) занимал должность заведующего отделением в Архангельском областном врачебно-физкультурном диспансере.

В 1980 году А.В. Грибанов стал заместителем председателя Архангельской областной организации Республиканского научно-медицинского общества по лечебной физкультуре и спортивной медицине, членом научно-методического совета комитета по физической культуре и спорту при Архангельском областном исполнительном комитете.

В 1976 году Анатолий Владимирович стал ассистентом кафедры физического воспитания и лечебной физкультуры АГМИ.

---

---

В марте 1983 года он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Влияние занятий спортом различной направленности на адаптацию детей к условиям Севера» в Центральном институте усовершенствования врачей (Москва), и в августе того же года решением Высшей аттестационной комиссии Союза Советских Социалистических Республик (СССР) ему была присуждена ученая степень кандидата медицинских наук.

С октября 1983 года он занимался научно-педагогической работой в Архангельском государственном педагогическом институте имени М.В. Ломоносова (АГПИ; позднее – Поморский государственный университет (ПГУ)), прошел путь от преподавателя до профессора, заведующего кафедрой, директора института, проректора.

В ноябре 1991 года в АГМИ Анатолий Владимирович защитил докторскую диссертацию на тему «Динамика кровообращения у школьников в условиях Европейского Севера». В ней, как отметил руководитель лаборатории возрастной физиологии Научно-исследовательского института нормальной физиологии имени П.К. Анохина Академии медицинских наук СССР, профессор Е.А. Аджимолаев, «...получен целый ряд новых и интересных фактов, давших понятную картину состояния сердечно-сосудистой системы детей и подростков. Впервые, в условиях Европейского Севера, проведено комплексное и синхронное исследование деятельности сердечно-сосудистой системы в различных ее звеньях как в центральном, так и периферическом, определены и изучены возрастные периоды, характеризующие этапы развития и возможности этой системы у детей и подростков от 7 до 16 лет обоего пола, впервые в возрастном аспекте получены данные о влиянии климатических и географических факторов на кровообращение у детей и подростков школьного возраста, особенно важным является факт выявления наиболее чувствительных возрастных периодов для этих воздействий».

20 марта 1992 года решением Высшей аттестационной комиссии А.В. Грибанову была

присуждена ученая степень доктора медицинских наук, а 30 июня того же года присвоено ученое звание профессора.

1 ноября 1993 года Анатолий Владимирович возглавил Институт развития ребенка, в создании которого сыграл немаловажную роль. В 2011 году после вхождения ПГУ в состав Северного (Арктического) федерального университета это подразделение было переименовано в Институт медико-биологических исследований. Особое внимание ученый уделял изучению особенностей процессов старения у северян, адаптации человека к условиям Севера и Арктики. Благодаря его трудам возникает и активно функционирует Поморская научная школа возрастной физиологии профессора А.В. Грибанова.

Научный коллектив, которым руководил Анатолий Владимирович, исследовал физиологические системы у детей и подростков Севера; поведенческое реагирование человека на условия Севера; вегетативный гомеостаз и ортостатическую резистентность; мозговую гемодинамику при употреблении летучих растворителей; энергетическое обеспечение мышечных нагрузок; изменения гемодинамики при локальных холодовых воздействиях; хронофизиологические изменения у студентов; структурно-функциональное состояние сердца у школьников; энергетическое состояние головного мозга при старении; особенности биоэлектрической активности мозга в различные возрастные периоды и сезоны года у школьников Европейского Севера России и др. Отдельным направлением явилось изучение синдрома дефицита внимания с гиперактивностью у детей.

Под руководством Анатолия Владимировича выполнено 17 крупных научных и научно-внедренческих проектов, получивших поддержку целевых и ведомственных программ Министерства науки и образования Российской Федерации, Российской академии образования, а также гранты ведущих российских научных фондов.

По его инициативе и под его руководством были открыты и успешно функционировали

---

---

аспирантура, докторантура и докторский диссертационный совет по специальностям физиология (с 1995 года) и психофизиология (с 2001 года), ставшие лидерами по числу и уровню успешных защит на Европейском Севере России.

Работы по возрастной и экологической физиологии, исследования в области спортивной физиологии, клинической физиологии и психофизиологии продолжали оставаться в кругу интересов профессора Грибанова.

С 2003 года А.В. Грибанов вошел в состав головного научного совета «Биологические науки и технологии» Министерства образования и науки РФ. В 2005 году в качестве председателя и сопредседателя участвовал в работе Архангельского регионального отделения общества физиологов Российской Федерации имени И.П. Павлова. Кроме того, он был председателем проблемной комиссии по медико-биологическим наукам ПГУ, членом редколлегии журнала «Вестник Поморского университета», а с 2010 года – главным редактором серии «Медико-биологические науки» (с 1 января 2017 года – «Журнал медико-биологических исследований»), членом редакционного совета журнала «Экология человека». С 1991 по 2005 год он являлся членом, затем заместителем председателя докторского диссертационного совета при Северном государственном медицинском университете, действительным членом трех общественных академий: Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы (с 1997 года), Российской академии естественных наук (с 2004 года), Академии полярной медицины и экстремальной экологии человека (с 2014 года).

А.В. Грибанов – автор около 500 научных публикаций, в т. ч. 13 монографий, 2 учебных

пособий, 100 публикаций в изданиях, индексируемых в международных системах цитирования Scopus и Web of Science, более 300 публикаций на портале eLIBRARY.RU, из них более 290 включены в Российский индекс научного цитирования, обладатель 2 патентов Российской Федерации на изобретения: «Способ оценки энергетического состояния головного мозга детей младшего школьного возраста, проживающих в условиях Европейского Севера» (2005) и «Способ оценки тревожности у детей» (2016); 27 свидетельств о государственной регистрации баз данных. Под его научным руководством было защищено 7 докторских и 38 кандидатских диссертаций.

Многолетние исследования профессора Грибанова нашли отражение в фундаментальной научной работе «Церебральный энергообмен как маркер адаптивных реакций человека в природно-климатических условиях Арктической зоны РФ», опубликованной в 2018 году, в которой церебральный энергообмен впервые характеризовался в таком качестве – как маркер адаптивных реакций ЦНС, а перестройка энергетических процессов в ЦНС при адаптации человека к условиям Арктики связывалась с понятием «синдром адаптационного профицита церебрального энергообмена», указывалось также, что величина этого профицита может зависеть от «фазы адаптации» и «биосоциальной платы» за нее.

В мае 2023 года был издан сборник «Избранные труды профессора А.В. Грибанова», открывший книжную серию «Наследники Ломоносова». В нем представлены 33 работы, опубликованные в ведущих российских научных журналах и посвященные вопросам здоровья населения на Севере и в Арктике от детского до пожилого возраста.

*СТАРЦЕВА Лариса Федоровна*, кандидат биологических наук, доцент, ведущий специалист-эксперт управления инспектирования производства лекарственных средств Государственного института лекарственных средств и надлежащих практик, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9928-5362>, [LFSTARCEVA@mail.ru](mailto:LFSTARCEVA@mail.ru)

---

**ЖУРАВЛЕВ Павел Сергеевич**, кандидат исторических наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник Федерального исследовательского центра  
комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова  
Уральского отделения Российской академии наук,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9011-640X>

**ПАНКОВ Михаил Николаевич**, кандидат медицинских наук, доцент,  
доцент кафедры гигиены и медицинской экологии  
Северного государственного медицинского университета,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3293-5751>, [pankovmru@gmail.com](mailto:pankovmru@gmail.com)

**КОЖЕВНИКОВА Ирина Сергеевна**, кандидат биологических наук,  
заведующий лабораторией, старший научный сотрудник  
Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики  
имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук,  
доцент кафедры биологии человека и биотехнических систем  
Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9465>, [kogevnikovais@yandex.ru](mailto:kogevnikovais@yandex.ru)

---

---

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

**«Журнал медико-биологических исследований» содержит публикации по основным направлениям научно-исследовательской работы в области биологических, медико-биологических наук, клинической и профилактической медицины.**

### *Общие требования*

Тексты представляются в электронном виде. Для этого необходимо зайти на сайт журнала <https://vestnikmed.ru> и, нажав на кнопку «Отправить материал», перейти на редакционно-издательскую платформу, куда можно будет после регистрации загрузить статью и сопроводительные документы. Необходимо указать отрасль науки и специальность (шифр и название), по которым выполнено научное исследование.

Электронный вариант статьи выполняется в текстовом редакторе Microsoft Word и сохраняется с расширением \*.doc. В имени файла указываются фамилия, инициалы автора.

### *Параметры страницы*

Формат А4. Поля: правое, левое – 25 мм; верхнее, нижнее – 20 мм.

### *Форматирование основного текста*

Абзацный отступ – 10 мм. Межстрочный интервал – полуторный. Порядковые номера страниц проставляются посередине верхнего поля страницы арабскими цифрами.

### *Шрифт*

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

### *Объем статьи*

Максимальный объем статей: научных статей – 10–15 страниц, обзорных статей – до 20 страниц, кратких сообщений – 4–6 страниц.

### *Сведения об авторе*

Указываются на русском и английском языках фамилия, имя, отчество автора (полностью); ученая степень, звание, должность и место работы (кафедра, институт, университет). Общее количество научных публикаций, в т. ч. отдельно количество монографий; рабочий адрес с почтовым индексом; тел./факсы (служебный, домашний, мобильный), e-mail.

### *ORCID*

В сведениях об авторах также необходимо указать международный авторский идентификатор ORCID в формате интерактивной ссылки <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>. Если у автора нет номера ORCID, его необходимо получить, зарегистрировавшись на ресурсе orcid.org. В профиле обязательно должна быть указана минимальная информация: место работы, ученая степень, ученое звание, должность.

### *Индекс УДК*

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

### *Заглавие*

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

<b>Аннотация</b>	<p>Предоставляется на русском и английском языках. Аннотация должна быть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– информативной (не содержать общих фраз);</li> <li>– оригинальной;</li> <li>– содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);</li> <li>– структурированной (содержать те же разделы, что и статья);</li> <li>– компактной (укладываться в объем от 200 до 250 слов).</li> </ul> <p>Авторы статей в разделах «Научная жизнь» и «Критика и библиография» предоставляют аннотацию объемом 50–100 слов.</p>
<b>Ключевые слова</b>	<p>После аннотации указывается до 6–8 ключевых слов (словосочетаний), несущих в тексте основную смысловую нагрузку.</p>
<b>Примечания и комментарии</b>	<p>Примечания, комментарии, ссылки на 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>
<b>Библиографические ссылки</b>	<p>Библиографические ссылки на использованную литературу оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008 (п. 7 «Затекстовая библиографическая ссылка»).</p> <p>– Подпункт 7.4.1 – ссылка на текст.</p> <p><i>Например</i>, в тексте: Общий список справочников по терминологии, охватывающий время не позднее середины XX века, дает работа библиографа И.М. Кауфмана [59];</p> <p>в списке литературы: 59. <i>Кауфман И.М.</i> Терминологические словари: библиография. М., 1961.</p> <p>– Подпункт 7.4.2 – ссылка на фрагмент текста.</p> <p><i>Например</i>, в тексте: [10, с. 81], [10, с. 106] и т. д.;</p> <p>в списке литературы: 10. <i>Бердяев Н.А.</i> Смысл истории. М., 1990. 175 с.</p>
<b>Рисунки, схемы, диаграммы</b>	<p>Принимается не более 4 рисунков (черно-белых). Рисунки, схемы, диаграммы приводятся в тексте статьи и предоставляются отдельным файлом. Схемы выполняются с использованием штриховой заливки. Электронную версию рисунка следует сохранять в форматах *.tiff, *.tif (Grayscale – Оттенки серого, 300 dpi). Иллюстрации должны быть четкими. В тексте статьи следует дать ссылку на конкретный рисунок, например (<i>рис. 2</i>). На рисунках должно быть минимальное количество слов и обозначений. Под рисунком необходимо разместить порядковый номер, подпись и объяснение значений всех кривых, цифр, букв и прочих условных обозначений.</p>

---

---

### **Таблицы**

Таблиц должно быть не более 3. Каждую таблицу следует снабжать порядковым номером и заголовком. Все графы в таблицах должны также иметь тематические заголовки. Сокращение слов допускается только в соответствии с требованиями ГОСТ 7.0.12–2011 (касается русских слов), 7.11–2004 (касается слов на иностранных европейских языках). Таблицы должны быть предоставлены в текстовом редакторе Microsoft Word и пронумерованы по порядку. Одновременное использование таблиц и графиков (рисунков) для изложения одних и тех же результатов не допускается. Размерность всех физических величин следует указывать в системе единиц СИ.

### **Формулы**

Математические и физические формулы (только формулы!) выполняются в редакторе MS Equation 3.0. Переменные в тексте набираются в обычном текстовом режиме.

- Решение о публикации статьи принимается редколлегией журнала. Электронные варианты отредактированного текста авторам не высылаются, присланные материалы не возвращаются.
  - Все статьи отправляются на независимую экспертизу и публикуются только в случае положительной рецензии. Редакция оставляет за собой право производить необходимые уточнения и сокращения.
  - Статьи публикуются на бесплатной основе.
  - Для отправки статьи воспользуйтесь кнопкой «Отправить материал» на сайте журнала <https://vestnikmed.ru>
- Тел.: (8182) 21-61-21; e-mail: [vestnik@narfu.ru](mailto:vestnik@narfu.ru); [vestnik\\_med@narfu.ru](mailto:vestnik_med@narfu.ru).
- Редакция принимает предварительные заявки на приобретение номеров журнала.

### **На электронную версию журнала можно подписаться через каталоги:**

«Урал-Пресс» [http://www.ural-press.ru/catalog/97266/8652104/?sphrase\\_id=328738](http://www.ural-press.ru/catalog/97266/8652104/?sphrase_id=328738)

«Пресса по подписке» [https://www.akc.ru/itm/z\\_hurnal-mediko-biologic\\_heskih-issledovaniy/](https://www.akc.ru/itm/z_hurnal-mediko-biologic_heskih-issledovaniy/)

Свободная цена.