

ISSN 2223-2524 (Print)

ISSN 2587-9014 (Online)

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2>



# Спортивная Медицина:

наука и практика



*Sports  
Medicine:*

research and practice

T. 14 №2

2024



## ЦЕНТР МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ СЕЧЕНОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Самое современное оборудование  
Лучшие специалисты в области реабилитации  
Круглосуточный стационар с палатами класса люкс  
Безбарьерная среда для маломобильных пациентов  
Полный цикл реабилитации в одном здании



ул. Большая Пироговская, д. 2, стр. 9  
+7 (977) 860-50-03  
[www.sechenov.rehab](http://www.sechenov.rehab)





СЕЧЕНОВСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



КЛИНИКА ЛУЖНИКИ  
спортивная медицина

#### УЧРЕДИТЕЛИ:

ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)  
119991, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2  
Автономная некоммерческая организация «Клиника Спортивной Медицины-Лужники»  
119048, Москва, ул. Лужники, д. 24  
Ачкасов Евгений Евгеньевич  
121309, Москва, 1-й Волоколамский проезд, д. 15/16

# Спортивная медицина: наука и практика

## научно-практический журнал

#### ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Назначение журнала «Спортивная медицина: наука и практика» — обеспечение спортивных врачей и других специалистов в области спортивной медицины (врачи сборных команд и клубов, врачебно-спортивных диспансеров, фармакологов, кардиологов, травматологов, психологов, физиотерапевтов, специалистов функциональной диагностики и т.д.) информацией об отечественном и зарубежном опыте и научных достижениях в сфере спортивной медицины, антидопингового обеспечения спорта и реабилитационных программ для спортсменов.

#### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**АЧКАСОВ Евгений Евгеньевич** — проф., д.м.н., зав. каф. спортивной медицины и медицинской реабилитации, директор Клиники медицинской реабилитации Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), член Наблюдательного совета РАА «РУСАДА» (Россия, Москва).

#### ЗАМЕСТИТЕЛИ

##### ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

**Поляев Б.А.** — проф., д.м.н., зав. каф. реабилитации и спортивной медицины РНИМУ им. Н.И. Пирогова, главный специалист по спортивной медицине Минздрава России (Россия, Москва)

**Медведев И.Б.** — проф., д.м.н.

#### НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР

**Ханферьян Р.А.** — проф., д.м.н., профессор каф. иммунологии и аллергологии РУДН (Россия, Москва)

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Асанов А.Ю.** — проф., д.м.н., проф. каф. медицинской генетики Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), член Европейского общества генетики человека (ESHG) (Россия, Москва)

**Бурчер Мартин** — проф., д.м.н., глава секции спортивной медицины Института спортивных наук Университета Инсбрука (Австрия, Инсбрук)

**Глазачев О.С.** — проф., д.м.н., профессор каф. нормальной физиологии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) (Россия, Москва)

**Дидур М.Д.** — проф., д.м.н., директор Института мозга человека им. Н.П. Бехтерева РАН (Россия, Санкт-Петербург)

**Каркищенко В.Н.** — проф., д.м.н., директор Научного центра биомедицинских технологий ФМБА России (Россия, Москва)

**Касрадзе П.А.** — проф., д.м.н., директор департамента спортивной медицины и медицинской реабилитации Центральной Университетской клиники и зав. каф. спортивной медицины и медицинской реабилитации Тбилисского государственного медицинского университета (Грузия, Тбилиси)

**Касымова Г.П.** — проф., д.м.н., зав. каф. спортивной медицины и медицинской реабилитации института постдипломного образования Казахского Национального медицинского университета им. С.Д. Асфендиярова (Казахстан, Алматы)

**Королев А.В.** — проф., д.м.н., профессор кафедры травматологии и ортопедии РУДН, руководитель клиники спортивной травматологии Европейского медицинского центра (Россия, Москва)

**Макаров Л.М.** — проф., д.м.н., руководитель Центра синкопальных состояний и сердечных аритмий Научно-клинического центра детей и подростков ФМБА России (Россия, Москва)

**Николенко В.Н.** — проф., д.м.н., зав. каф. анатомии человека Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) (Россия, Москва)

**Морганс Райланд** — проф., доктор философии, университет Центрального Ланкашира (Великобритания, Престон)

**Оганесян А.С.** — проф., д.б.н.

**Осадчук М.А.** — проф., д.м.н., зав. каф. поликлинической терапии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) (Россия, Москва)

**Парастаев С.А.** — проф., д.м.н., профессор каф. реабилитации и спортивной медицины РНИМУ им. Н.И. Пирогова (Россия, Москва)

**Пиголкин Ю.И.** — проф., д.м.н., зав. каф. судебной медицины Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) (Россия, Москва)

**Прохорович Е.А.** — проф., д.м.н., профессор каф. терапии, клинической фармакологии и скорой медицинской помощи МГМСУ им. А.И. Евдокимова

**Пузин С.Н.** — акад. РАН, проф., д.м.н., зав. каф. медико-социальной экспертизы и гериатрии РМАНПО (Россия, Москва)

**Середа А.П.** — д.м.н., заместитель директора ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Россия, Санкт-Петербург)

**Смоленский А.В.** — проф., д.м.н., директор НИИ спортивной медицины, зав. каф. спортивной медицины РГУФКСМиТ (ГЦОЛИФК) (Россия, Москва)

**Суста Дэвид** — доктор наук, спортивный врач, ведущий научный сотрудник Центра профилактической медицины Городского Университета Дублина (Ирландия, Дублин)

**Токаев Э.С.** — проф., д.т.н., ген. директор ЗАО Инновационная компания «АКАДЕМИЯ-Т» (Россия, Москва)



СЕЧЕНОВСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



КЛИНИКА ЛУЖНИКИ  
СПОРТИВНАЯ МЕДИЦИНА

## Founded by:

Sechenov First Moscow State Medical University  
(Sechenov University)  
8-2, Trubetskaya str., Moscow, 119991, Russia  
Luzhniki Sports Medicine Clinic  
24, Luzhniki str., Moscow, 119048, Russia  
Evgeny E. Achkasov  
15/16, pr-d 1-j Volokolamskij,  
Moscow, 121309, Russia

# Sports Medicine: Research and Practice

research and practical journal

## FOCUS AND SCOPE

"Sports medicine: research and practice" journal provides information for physicians (team physicians, prophylactic centers doctors, pharmacists, cardiologists, traumatologists, psychologists, physiotherapists, functional diagnosticians) based on native and foreign experience and scientific achievements in sports medicine, doping studies and rehabilitation programs for athletes.

## EDITOR-IN-CHIEF

**Evgeny Achkasov** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Head of the Department of Sports Medicine and Medical Rehabilitation, Director of the Clinic of Medical Rehabilitation of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Member of the Supervisory Board of the Russian Anti-Doping Agency RUSADA. (Moscow, Russia)

## ASSOCIATE EDITORS

**Boris Polyayev** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Head of the Department of Exercise Therapy, Sports Medicine and Recreation Therapy of the Pirogov Russian National Research Medical University, Senior Expert (Sports Medicine) of the Ministry of Health of the Russian Federation (Moscow, Russia)

**Igor Medvedev** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof.

## SCIENTIFIC EDITOR

**Roman Khanferyan** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Professor of the Department of Immunology and Allergology of The Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University) (Moscow, Russia)

## EDITORIAL BOARD

**Aly Asanov** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Head of the Department of Clinical Genetics of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Member of the European Society of Human Genetics (ESHG) (Moscow, Russia)

**Martin Burtcher** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Head of Sports Medicine Section of the Institute of Sports Science of the University of Innsbruck (Innsbruck, Austria)

**Oleg Glazachev** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Professor of the Department of Normal Physiology of the Sechenov

First Moscow State Medical University (Sechenov University) (Moscow, Russia)

**Mikhail Didur** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Director of the Bekhtereva Institute of Human Brain of the Russian Academy of Sciences (Saint-Petersburg, Russia)

**Vladislav Karkishchenko** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Director of the Research Centre of Biomedical Technologies of the Federal Medical and Biological Agency of Russia (Moscow, Russia)

**Pavel Kasradze** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Director of Sports Medicine and Rehabilitation at the Central University Hospital, Head of the Department of Sports Medicine and Medical Rehabilitation of the Tbilisi State Medical University (Tbilisi, Georgia)

**Gulnara Kasymova** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Head of the Department of Sports Medicine and Medical Rehabilitation of the Institute of Postgraduate Education of the Asfendiyarov Kazakh National Medical University (Almaty, Kazakhstan)

**Andrey Korolev** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Professor of the Traumatology and Orthopedics Department of the RUDN University, Head of the Sports Traumatology Clinic of the European Medical Center (Moscow, Russia)

**Leonid Makarov** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Head of the Center for Syncope and Cardiac Arrhythmias of the Scientific and Clinical Center for Children and Adolescents of the Federal Medical and Biological Agency of Russia (Moscow, Russia)

**Vladimir Nikolenko** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Head of the Department of Human Anatomy of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University) (Moscow, Russia)

**Ryland Morgans** – Ph.D., Prof., University of Central Lancashire (Preston, UK)

**Areg Hovhannisyan** – Ph.D. (Biology), Prof.

**Mikhail Osadchuk** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof.,

Head of the Department of Ambulatory Therapy of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University) (Moscow, Russia)

**Sergey Parastaev** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Professor of the Department of Rehabilitation and Sports Medicine of the Pirogov Russian National Research Medical University (Moscow, Russia)

**Yury Pigolkin** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Head of the Department of Forensic Medicine of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University) (Moscow, Russia)

**Elena Prohorovich** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Professor of the Department of Therapy, Clinical Pharmacology and Emergency Medicine of the A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry (Moscow, Russia)

**Sergey Puzin** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Medical and Social Expertise and Geriatrics of the Russian Medical Academy of Postgraduate Education (Moscow, Russia)

**Andrey Sereida** – M.D., D.Sc. (Medicine), Professor of the Department of Restorative Medicine, Physical Therapy and Sports Medicine (Balneology and Physiotherapy) of the Institute of Advanced Training of the Federal Medical and Biological Agency of Russia (Moscow, Russia)

**Andrey Smolenskiy** – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Director of the Research Institute of Sports Medicine, Head of the Department of Sports Medicine of the Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism (Moscow, Russia)

**Daive Susta** – M.D., Doctor of Sports Medicine, Principal Researcher of Center for Preventive Medicine of the Dublin City University (Dublin, Ireland)

**Enver Tokaev** – D.Sc. (Technics), Prof., CEO of the «ACADEMY-T» CJSC Innovative Company

**РУБРИКИ ЖУРНАЛА:**

- Антидопинговое обеспечение
- Биомедицинские технологии
- Детский и юношеский спорт
- Заболевания спортсменов
- Неотложные состояния
- Организация медицины спорта
- Паралимпийский спорт
- Реабилитация
- Социология и педагогика в спорте
- Спортивная генетика
- Спортивная гигиена
- Спортивное питание
- Спортивная психология
- Спортивная травматология
- Фармакологическая поддержка
- Физиология и биохимия спорта
- Функциональная диагностика
- Новости спортивной медицины

**ВИДЫ ПУБЛИКУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ:**

- Оригинальные статьи
- Обзоры литературы
- Лекции
- Клинические наблюдения, случаи из практики
- Комментарии специалистов

**Издатель:**

Некоммерческое партнерство «Национальный электронно-информационный консорциум» (НП «НЭИКОН») 115114, Москва, ул. Летниковская, д. 4, стр. 5, офис 2.4 тел./факс: +7 (499) 754-99-94 <https://neicon.ru/>

**Заведующий редакцией:**

**БЕЗУГЛОВ Эдуард Николаевич** — к.м.н., доцент кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовского университета), председатель медицинского комитета РФС, руководитель медицинского штаба ПФК «ЦСКА», заведующий лабораторией спорта высших достижений Сеченовского университета. E-mail: [bezuglov\\_e\\_n@staff.sechenov.ru](mailto:bezuglov_e_n@staff.sechenov.ru)

**Редакция:**

119435, Россия, Москва, Большая Пироговская улица, 2, стр. 9

**Типография:**

ООО «Издательство "Трида"» 170034, Россия, Тверь, пр-т Чайковского, 9, оф. 514

**Сайт:**

[smjournal.ru](http://smjournal.ru)  
[neicon.ru](http://neicon.ru)

Подписано в печать 15.12.2024

Формат 60x90/8

Тираж 1000 экз.

Цена договорная

Периодическое печатное издание «Спортивная медицина: наука и практика» зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, Выписка из реестра зарегистрированных средств массовой информации по состоянию на 31.05.2019 г. серия ПИ № ФС77-75872 от «30» мая 2019 г.

Журнал включен ВАК в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Плата за публикацию статей в журнале с аспирантов не взимается.

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License. Присланные материалы не возвращаются. Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции. Редакция не несет ответственности за достоверность рекламной информации.

Журнал издается с 2011 года

Периодичность — 4 выпуска в год

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» — 90998

© Спортивная медицина: наука и практика, оформление, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

### Физиология и биохимия спорта

- П.А. Терехов, Т.М. Брук, Е.А. Киндюхин, О.С. Глазачев**  
Показатели вариабельности сердечного ритма у профессиональных футболистов при различных режимах анаэробного тестирования в динамике подготовительного периода ..... 5
- Йоханнес Бурчер, О.С. Глазачев, Мартин Копп, Мартин Бурчер**  
Эффекты интервальных гипоксических экспозиций и интервальных гипоксических тренировок на переносимость физических нагрузок (нарративный обзор) ..... 16
- А.З. Даутова, Ф.А. Мавлиев, Д.А. Дрожецкий, А.А. Зверев, А.С. Назаренко**  
Оценка функционального состояния организма высококвалифицированных пловцов на основе анализа корреляций и динамики показателей морфологического состава крови после нагрузочного тестирования ..... 24
- Ю.И. Корюкалов, М.С. Лапшин, М.В. Кондашевская, А.С. Бахарева, Е.Ю. Савиных**  
Влияние состояния микробиома кишечника на работоспособность спортсменов циклических видов спорта по показателям эргометрического тестирования ..... 34

### Спортивная травматология

- Э.Н. Безуглов, В.Ю. Хайтин, О.А. Этемад, Е.О. Лебедеко, А.П. Гринченко, А.М. Филимонова**  
Актуальные классификации мышечных травм: преимущества и недостатки ..... 45

### Заболевания спортсменов

- Е.А. Турова, Е.А. Теняева, В.А. Бадтиева, Е.О. Оконкво, Ю.М. Иванова**  
Влияние новой коронавирусной инфекции на эндокринную систему и физическую работоспособность спортсменов ..... 58
- М.В. Петрова, А.А. Спасский, Б. А. Поляев, А.А. Михайлов**  
Кардиомиопатия такоцубо у спортсменов ..... 68

Журнал включен в российские и международные библиотечные и реферативные базы данных:

Scopus

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА  
eLIBRARY.RU

ULRICHSWEB™  
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

РУКОНТ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ РЕСУРС

INFOBASE INDEX

Crossref

SIE  
Scientific Indexing Services

INDEX COPERNICUS  
INTERNATIONAL

**FEATURED TOPICS:**

- Doping Studies
- Biomedical Technologies
- Children and Youth Sports
- Sports Diseases
- Prehospital Care and Emergency Medicine
- Sports Medicine Management
- Paralympic Sports
- Rehabilitation
- Sports Sociology and Pedagogics
- Sports Genetics
- Sports Hygiene
- Sports Supplements
- Sports Psychology
- Sports Traumatology
- Sports Pharmacology
- Sports Physiology and Biochemistry
- Functional Testing
- Sports Medicine News

**TYPES OF PUBLISHED MATERIALS:**

- Original Research
- Articles Review
- Lectures
- Clinical Cases
- Editorials

**Publisher:**

Nonprofit Partnership "National Electronic Information Consortium" (NEICON)

4, bldng 5, of. 2.4, Letnikovskaya str., Moscow, 115114, Russia

tel./fax: +7 (499) 754-99-94

<https://neicon.ru/>

**Deputy editor:**

**BEZUGLOV Eduard Nikolaevich** — M.D., C.Sc. (Medicine), Associate Professor of the Department of Sports Medicine and Medical Rehabilitation, Head of the High Performance Sports Laboratory of the Sechenov First Moscow State Medical University, Chairman of the Medical Committee of the Russian Football Union, Head of the Medical Department of PFC CSKA, E-mail: [bezuglov\\_e\\_n@staff.sechenov.ru](mailto:bezuglov_e_n@staff.sechenov.ru)

**Editorial Office:**

2-9, Bolshaya Pirogovskaya str., Moscow, 119435, Russia

**Printed by**

Publishing House Triada, Ltd.

9, office 514, Tchaikovsky ave., Tver, 170034, Russia

**Websites:**

[smjournal.ru](http://smjournal.ru)

[neicon.ru](http://neicon.ru)

Published: 15 December 2024

60x90/8 Format

1000 Copies

Media Outlet Registration Certificate PI № FS77-75872, May 30, 2019.

The Journal is included in the list of Russian reviewed scientific journals of the Higher Attestation Commission for publication of main results of Ph.D. and D.Sc. research.

There is no publication fee for postgraduate students.

Content is distributed under Creative Commons Attribution 4 License. Received papers and other materials are not subject to be returned. The authors view point may not coincide with editorial opinion. Editorial office is not responsible for accuracy of advertising information.

Published since 2011

4 issues per year

«Russian Press» catalog index — 90998

© Sports medicine: research and practice, layout, 2024

**CONTENTS**

**Sports Diseases**

**Sports Physiology and Biochemistry**

*Pavel A. Terekhov, Tatiana M. Brooke, Egor A. Kindyukhin, Oleg S. Glazachev*  
Heart rate variability indices in professional football players under various anaerobic testing modes in dynamics of the preparatory period . . . . . 5

*Johannes Burtscher, Oleg S. Glazachev, Martin Kopp, Martin Burtscher*  
Effects of intermittent hypoxia exposures and interval hypoxic training on exercise tolerance (narrative review) . . . . . 16

*Al'bina Z. Dautova, Fanis A. Mavliev, Dmitry A. Drozhetsky, Alexey A. Zverev, Andrey S. Nazarenko*  
Assessment of the functional state of the body of highly qualified swimmers based on the analysis of correlations and dynamics of indicators of the morphological composition of the blood after the stress test . . . . . 24

*Yuri I. Koryukalov, Maxim S. Lapshin, Marina V. Kondashevskaya, Anastasiya S. Bakhareva, Elena Yu. Savinik*  
The effect of the state of the intestinal microbiome on the performance of cyclical sports athletes according to ergometric testing indicators. . . . . 34

**Sports Traumatology**

*Eduard N. Bezuglov, Vladimir Yu. Khaitin, Omid A. Etemad, Evgeniy O. Lebedenko, Alesya P. Grinchenko, Anastasia M. Filimonova*  
Current classifications of muscle injuries: strengths and limitations . . . . . 45

**Sports Diseases**

*Elena A. Turova, Elena A. Tenyaeva, Victoria A. Badtieva, Emmanuella O. Okonkwo, Iuliia M. Ivanova*  
The impact of the new coronavirus infection on the endocrine system and physical performance of athletes . . . . . 58

*Marina V. Petrova, Andrey A. Spassky, Boris A. Polyayev, Alexey A. Mihaylov*  
Takotsubo cardiomyopathy in athletes . . . . . 68

The Journal is included in Russian and International Library and Abstract Databases:



I N T E R N A T I O N A L



## Показатели вариабельности сердечного ритма у профессиональных футболистов при различных режимах анаэробного тестирования в динамике подготовительного периода

П.А. Терехов<sup>1\*</sup>, Т.М. Брук<sup>1</sup>, Е.А. Киндюхин<sup>1</sup>, О.С. Глазачев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет спорта», Смоленск, Россия

<sup>2</sup> ФГАУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** изучить динамику работоспособности и ее регуляторного нейровегетативного обеспечения у профессиональных футболистов при различных режимах анаэробного энергообеспечения на этапах подготовительного периода.

**Материалы и методы:** В проспективном исследовании приняли участие 16 спортсменов мужского пола 18–20 лет из числа членов сборной команды Смоленского государственного университета спорта по футболу на специально-подготовительном этапе тренировочно-соревновательного цикла. Спортсмены выполняли анаэробные тесты продолжительностью 6, 15 и 45 секунд, направленных на оценку скоростно-силовых способностей, максимальной алактатной мощности (МАМ) и гликолитической выносливости, соответственно на велоэргометре Ergomedic 894E «Mopark» в модернизированном варианте. Оценка функционального состояния атлетов в динамике тестов проводили путем регистрации показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР) с применением устройства «Варикард 2.6».

**Результаты:** Исходные значения анаэробной работоспособности у квалифицированных футболистов находились при проведении всех трех тестов на высоком уровне и соответствовали их квалификации. Интенсивные тренировочные факторы подготовительного периода отразились в потенцировании их специальной работоспособности. В то же время наименее «тренируемыми» в динамике подготовительного периода, но наиболее устойчивыми и менее «затратными» в нейровегетативном обеспечении мышечной деятельности оказались скоростно-силовые способности. При оценке динамики изменений МАМ и гликолитической выносливости у футболистов отмечены более значимые приросты значений соответствующих индикаторов ВСР, максимально выраженные к завершению специально-подготовительного периода. Однако такой прогресс в показателях анаэробной работоспособности сопровождался негативной динамикой в показателях ВСР, что можно оценить как перенапряжение автономной регуляции, начальные признаки перетренированности.

**Заключение:** Наиболее сложным в плане напряжения автономной регуляции признан 45-секундный анаэробный тест, в течение которого происходит переключение метаболизма на гликолиз. Полученные результаты доказывают обоснованность модификаций тренировочных режимов футболистов на подготовительном этапе, направленных на оптимизацию нагрузок алактатной и гликолитической направленности и улучшение результатов спортивного тестирования с сохранением адекватного функционального состояния молодых спортсменов.

**Ключевые слова:** футбол, молодые футболисты анаэробная работоспособность, максимальная частота движений, относительная мощность, коэффициент выносливости, вариабельность сердечного ритма, нейровегетативное обеспечение

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Терехов П.А., Брук Т.М., Киндюхин Е.А., Глазачев О.С. Динамика работоспособности и ее автономного обеспечения у профессиональных футболистов при различных режимах анаэробного энергообеспечения на этапах подготовительного периода. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(2):5–15. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.7>

Поступила в редакцию: 29.07.2024

Принята к публикации: 19.11.2024

Online first: 03.12.2024

Опубликована: 15.12.2024.

\* Автор, ответственный за переписку

# Heart rate variability indices in professional football players under various anaerobic testing modes in dynamics of the preparatory period

Pavel A. Terekhov<sup>1,\*</sup>, Tatiana M. Brooke<sup>1</sup>, Egor A. Kindyukhin<sup>1</sup>, Oleg S. Glazachev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Smolensk State University of Sports, Smolensk, Russia

<sup>2</sup> I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

## ABSTRACT

**Objective:** to study the dynamics of performance and its regulatory neurovegetative support in professional football players under various anaerobic energy supply regimes at the stages of the preparatory period.

**Materials and methods:** in a prospective study, 16 male athletes aged 18–20 years, first sports category, the main squad of the Smolensk State University of Sports football team at a special preparatory stage of the training and competition cycle were examined. Athletes performed anaerobic tests lasting 6, 15, and 45 seconds to assess, respectively, speed-strength abilities, maximum alactic power and glycolytic endurance on a modernized version of the Ergonomic 894E “Monark” bicycle ergometer. The functional state of athletes in the dynamics of the tests was assessed by diagnosing heart rate variability indicators using the “Varicard 2.6” device.

**Results:** the initial values of anaerobic performance in qualified football players were high during all three tests and corresponded to their qualification. Intensive training factors of the preparatory period were reflected in the potentiation of their special performance. At the same time, the least “trainable” in the dynamics of the preparatory period, but the most stable and less “costly” in the neurovegetative provision of muscle activity were speed-strength abilities. With the transition to the test assessment of the dynamics of maximum alactic power (MAP) and glycolytic endurance in football players, more significant increases in the values of the corresponding indicators were noted, most pronounced by the end of the special preparatory period. However, such progress in anaerobic performance indicators was accompanied by negative dynamics in HRV indicators (a significant decrease in HF values, the most pronounced increase in LF, LF / HF, VLF), which can be assessed as an overstrain of autonomic regulation, initial signs of overtraining.

**Conclusion:** the most difficult in terms of the tension of autonomous regulation is recognized as a 45-second anaerobic test, during which the metabolism switches to glycolysis. The obtained results prove the validity of modifications of training regimes of football players at the preparatory stage, aimed at optimizing/reducing the loads of alactate and glycolytic orientation in favor of aerobic training, in order to “bring out” athletes to the best test sports results while maintaining an adequate functional state.

**Keywords:** anaerobic performance, maximum frequency of movements, relative power, endurance coefficient, heart rate variability, football players, neurovegetative support

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Terekhov P.A., Brooke T.M., Kindyukhin E.A., Glazachev O.S. Heart rate variability indices in professional football players under various anaerobic testing modes in dynamics of the preparatory period. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(2):5–15. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.7>

**Received:** 29 July 2024

**Accepted:** 19 November 2024

**Online first:** 3 December 2024

**Published:** 15 December 2024

\*Corresponding author

## 1. Введение

Одним из важнейших аспектов развития современного спорта является пополнение эмпирической базы результатов научных исследований с целью качественного медико-биологического обеспечения деятельности спортсменов [1, 2]. Подготовительный период в годичном цикле важен для поступательного выхода спортсменов на пик оптимальной готовности к предстоящему соревновательному сезону. При этом важной в прогностическом плане является адекватная организация тренировочного процесса, не сопровождающаяся перегрузкой организма спортсмена и развития признаков перетренированности.

Имеющиеся технологии и методы, в частности устройства и программы анализа показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР), широко применяются в спортивной физиологии и медицине и позволяют неинвазивно анализировать динамику изменений компенсаторных механизмов нейрогуморальной регуляции функций [3, 4], а также разрабатывать критерии

распознавания функциональных состояний, пограничных между нормой и патологией, в случае неадекватных спортивных нагрузок [5–7].

Анализ динамики маркеров ВСР, особенно при кратковременных, но значительных анаэробных нагрузках, позволяет оценить особенности автономной регуляции в различные периоды учебно-тренировочного процесса, определять отклонения при функциональном тестировании, которые могут быть признаками донозологических состояний, в частности у представителей игровых видов спорта, в том числе у профессиональных футболистов [8–10].

В то же время исследований, в которых функциональный мониторинг проводился в динамике тренировочного процесса при выполнении нагрузочных тестов разной направленности и интенсивности, в доступной литературе встречается крайне мало [11, 12].

С другой стороны, для подготовки спортсменов игровых видов (футбол, волейбол, гандбол и др.) актуальной

в настоящее время является объективизация количественной регистрации анаэробных способностей, реализуемых на портативном и удобном для практикующих специалистов программном оборудовании. К тому же даже в иностранной литературе существует дефицит данных, в которых были бы описаны комплексные тесты их диагностики с учетом длительности испытаний [13–15].

**Цель исследования** — изучить динамику работоспособности и ее регуляторного нейровегетативного обеспечения у молодых футболистов при различных режимах анаэробного энергообеспечения на начальном и завершающем этапах подготовительного периода тренировочно-соревновательного цикла.

## 2. Материалы и методы

В проспективном исследовании приняли участие 16 молодых футболистов в возрасте 18–20 лет из основного состава сборной ФГБОУ ВО «СГУС» по футболу на специально-подготовительном (февраль — апрель 2024 года) этапе подготовки к чемпионату «Союз Федераций футбола «Центр». Участники имели непрерывный стаж занятий футболом в среднем  $13,5 \pm 0,5$  года и участвовали в тренировках 4–6 раз в неделю. Масса тела атлетов в начале исследования составляла  $75,97 \pm 3,25$  кг, а рост —  $176,4 \pm 4,15$  см соответственно, и достоверно данные параметры не изменялись по ходу эксперимента.

Учет игровых амплуа не проводился, поскольку защитники ( $n = 6$ ), полузащитники ( $n = 6$ ) и нападающие ( $n = 4$ ), участвовавшие в эксперименте, тренировались по единому плану в рамках анализируемого периода, за исключением вратарей, у которых была отдельная программа подготовки с персональным тренером.

Скоростно-силовые (6-секундный силовой тест) способности, параметры максимальной алактатной мощности (МAM) (15-секундный тест предельной интенсивности) и гликолитическая выносливость (45-секундный продолжительный тест) оценивались у каждого спортсмена в начале и конце подготовительного периода. Велоэргометрическое тестирование проводилось последовательно в трех указанных тестах в отмеченном порядке с 15-минутным интервалом между ними на велоэргометре Ergomedic 894E («Monark») в модернизированном варианте с добавлением отечественного программного обеспечения для регистрации анаэробных кондиций спортсменов. Для повышения точности регистрации в колесе были прорезаны четыре вспомогательных отверстия под углом 0, 90, 180 и 270 °С установкой над ними оптических датчиков движения, звуковой сигнал с которых передавался на системно-цифровой блок, соединенный с ноутбуком (погрешность измерения не превышала 0,01 %). Для качественной оценки динамики анализируемых параметров были разработаны авторские программные интерфейсы.

В 6-секундном тесте учитывались максимальная частота движений ( $F_{\max}$ , об/мин), время достижения

максимальной частоты движений, равное 70 % от максимально возможной ( $t-70\%$ , с), максимальная (пиковая) мощность ( $W_{\max}$ , Вт), относительная мощность ( $W_{\text{отн.}}$ , Вт/кг) и градиент прироста мощности во время выполнения первого движения на велоэргометре ( $J$ , Вт/с).

Оценки МAM (15-секундный тест) и гликолитической выносливости (45-секундный тест) спортсменов осуществлялась посредством регистрации показателей объема выполненной работы ( $A$ , Дж), максимальной (пиковой) мощности ( $W_{\max}$ , Вт), относительной мощности ( $W_{\text{отн.}}$ , Вт/кг), коэффициента выносливости (КВ, усл. ед.) и темпа — количества оборотов колеса велоэргометра.

Для оценки динамики вегетативного обеспечения интенсивной мышечной деятельности до и после каждого из трех тестов на начальных и заключительных этапах специально-подготовительного периода проводили регистрацию кардиоинтервалограммы (КИГ) с использованием устройства «Варикард 2.6» с отечественным программным обеспечением «Иским-6» (Россия, Рязань, эпоха регистрации 300 с) с последующим анализом принятых амплитудно-частотных и спектральных характеристик variability сердечного ритма (ВСР). Запись КИГ проводилась при положении спортсмена полулежа в кресле, после наиболее продолжительной (45 секунд) пробы — спустя минуту периода восстановления, следуя принятым рекомендациям [5, 7]. Для анализа учитывались общая мощность спектра ВСР ( $TP$ ,  $mc^2$ ), мощность высоко-, низко- и очень низкочастотной области спектра ( $HF$  и  $LF$ ,  $VLF$   $mc^2$ ), отражающих активность парасимпатического отдела, симпато-парасимпатического барорефлекторного контроля и центральных гипоталамических механизмов регуляции соответственно, индекс вагосимпатического равновесия ( $LF/HF$ , усл. ед.), среднеквадратичное различие между длительностью соседних R–R-интервалов ( $RMSSD$ ,  $mc^2$ ), доля соседних синусовых интервалов R–R, которые различаются более чем на 50 мс ( $pNN50$ , %). Последние два из указанных показателя в большей степени отражают парасимпатическую активность в регуляции ритма сердца.

Данное исследование было одобрено этическим комитетом Смоленского государственного университета спорта (протокол № 5 от 22.01.2024 г.).

Статистическая обработка материала проведена с помощью пакета программы «IBM SPSS Statistics 19», для Windows (StatSoft, Inc., USA). Проверка на нормальность и гомогенность распределения данных проводилась с применением критерия Шапиро — Уилка (Shapiro — Wilk's  $W$ -test). Для количественных показателей, имеющих нормальное распределение, проводился расчет средних арифметических ( $M$ ) и стандартных отклонений ( $SD$ ). Для величин в нормально распределенных совокупностях рассчитывался  $t$ -критерий Стьюдента. При отсутствии нормального распределения вычисляли медиану ( $Me$ ) с межквартильным диапазоном ( $IQR$ ), нижний и верхний квартили (25 %

и 75%) (Me [Q25–Q75]), рассчитывался *T*-критерий Вилкоксона. Для выявления динамики изменения изученных характеристик рассчитывался относительный сдвиг, или «взвешенная дельта» ( $\Delta\epsilon = x_1 - x_2 / x_1 \times 100\%$ ), где  $x_1$  — исходное значение показателя,  $x_2$  — в конце подготовительного периода (таблицы 1 и 2) или после выполнения теста (таблицы 3–5).

### 3. Результаты

В течение трехмесячного подготовительного периода футболисты каждую неделю выполняли пять тренировок длительностью около двух часов.

В понедельник занятия проходили в крытом легкоатлетическом комплексе, осуществлялась преимущественно силовая работа с отягощениями для повышения кондиций мышц нижних конечностей. Во вторник тренировка проходила на футбольном поле и включала в себя бег в разных зонах интенсивности в сочетании работой с мячами. В среду тренировка проводилась в крытом легкоатлетическом комплексе и включала в себя прыжки через барьеры, махи, направленные на укрепление приводящих мышц бедра, круговую тренировку, а после завершения основной части выполнялся бег в умеренном темпе. В четверг и пятницу занятия проходили на футбольном поле, и во время них осуществлялась преимущественно специфическая работа на совершенствование технико-тактической подготовленности, применялись игровые упражнения (держание мяча, «квадраты», дриблинг). В субботу проводилась двусторонняя или товарищеская игра, а воскресенье всегда было выходным. Представленная модельная схема недельного микроцикла по дням реализовывалась в течение всего подготовительного периода, в последующих тренировках изменялось лишь соотношение обозначенных выше специальных упражнений и игровых комплексов с акцентированным воздействием на смену ведущих групп мышц, задействованных на предыдущем занятии. Таким образом, в тренировочном режиме атлетов доминировали околопредельные нагрузки (80–90% от максимума).

При исходном тестировании значения регистрируемых показателей в 6-секундном тесте у футболистов находились на относительно высоком уровне в сравнении с другими исследованиями [16, 17]. Так, предельная частота силовой работы составила  $172 \pm 4$  об/мин, время ее пиковой амплитуды — 2,003 с (Me [IQR]: 2,003 [1923,1; 2080,2]), а результирующая мощность —  $903 \pm 11$  Вт (табл. 1). В конце подготовительного периода отмечен значимый прирост значений как мощностных, так и временных показателей. То есть установлен существенный прирост работоспособности атлетов при алактатном тестировании и адекватности этой нагрузки в избранной практике оценки спортивной деятельности футболистов.

Значения параметров МАМ и гликолитической выносливости в начале подготовительного периода

у обследуемых также соответствовали диапазонам высокого уровня относительно известных исследований [18, 19] (табл. 2).

В конце подготовительного периода зафиксирован значимый прирост результативности тренировочного процесса как в объеме выполняемой нагрузки, так и в мощности, значениях коэффициента выносливости и темпе педалирования.

Что касается индикаторов гликолитической выносливости в 45-секундном тесте, то их диапазон (по собственному десятилетнему опыту тестирования на данной комплексной велоэргометрической установке атлетов других специализаций — волейбол, баскетбол, фехтование и др.), соответствовал высокому уровню в объеме как произведенной работы, так и мощности. В конце подготовительного периода был зафиксирован значимый прирост результативности как в объеме, так и мощности выполняемой работы (от 4 до 15%), коэффициенте выносливости и темпе выполняемой нагрузки (3–9%).

Таким образом, при сравнительном анализе результатов велоэргометрического тестирования в трех тестах выявлены наименьшие приросты значений индикаторов скоростно-силовых способностей атлетов (в 6-секундном тесте), но высокие адаптивные возможности футболистов к условиям бескислородного энергообеспечения мышц при алактатном и гликолитическом режимах тестирования. Более того, тренировочные факторы подготовительного периода позитивно отразились в потенцировании специальной работоспособности квалифицированных футболистов по результатам специальных анаэробных тестов длительностью 15 и 45 секунд.

В то же время в динамике показателей вегетативно-го обеспечения выполнения тестовых нагрузок в начале и в конце подготовительного периода (с интервалом в 3,5 месяца) выявлены существенные различия.

При исходном выполнении 6-секундного теста у всех футболистов отмечен незначительный прирост значений частоты сердечных сокращений (ЧСС) при значимом снижении индикаторов парасимпатической активности (HF, RMSSD) и умеренном повышении значений LF (симпато-парасимпатический барорефлекторный контроль миокарда) и, соответственно, лишь тенденции к приросту индекса LF/HF (табл. 3).

В конце подготовительного периода выполнение того же теста с большей результативностью (производительностью) сопровождалось более значимым приростом значений ЧСС, достоверно большим снижением парасимпатического контроля ритма сердца, что проявлялось в существенно более выраженном снижении разницы значений показателей «до — после теста» HF, TP, RMSSD, pNN50. При этом значения LF, VLF, LF/HF повышались на значительно большую величину, чем при исходном тестировании (табл. 3).

При исходном тестировании характеристик МАМ у футболистов после 15-секундного теста, оцениваемого

Таблица 1

Динамика силовых способностей у футболистов по данным 6-секундного анаэробного теста в процессе наблюдения

Table 1

Dynamics of strength abilities in football players according to the 6-second anaerobic test during observation

Показатели / Indicators	Нагрузка, кг / Load, kg; ME, IQR	Fmax, об/мин / Frequency; rpm, M ± SD	t 70 %, с / time, sec; ME, IQR	Wmax, Вт / Power, watt; M ± SD	Wотн., Вт/кг / Power, watt / kg; ME, IQR	J, Вт/с / Gradient, W/s; M ± SD
6-секундный тест (силовые способности) / 6 Second Test (Strength Abilities)						
Исходный уровень / Baseline	5,45 (4,12; 6,67)	172 ± 4	2,003 (1,923; 2,080)	903 ± 11	11,64 (10,81; 12,35)	353 ± 7
В конце подготовительного периода / At the end of the preparatory period	5,15 (3,62; 6,54)	181 ± 5	1,801 (1,764; 1,832)	956 ± 13	12,43 (11,05; 13,73)	384 ± 9
p	0,425	0,043	0,035	0,041	0,039	0,037
Δ, начало — конец / Δ, beginning — end	-1,15 ± 0,20	+4,9 ± 1,5	-10,1 ± 2,5	+5,8 ± 1,7	+6,8 ± 1,9	+8,9 ± 2,2

Примечание: в таблице 2 указаны точные значения величины  $p$  — уровня значимости различий исходных значений по сравнению с концом подготовительного периода.

Note: the exact values  $p$ -value the level of significance of differences in baseline values compared to the end of the preparatory period are indicated in Table 2.

Таблица 2

Динамика индикаторов анаэробной мощности и гликолитической выносливости у футболистов по данным 15- и 45-секундных анаэробных тестов в процессе наблюдения

Table 2

Dynamics of indicators of anaerobic power and glycolytic endurance in football players according to 15-and 45-second anaerobic tests during observation

Показатели / Indicators	Нагрузка, кг / Load, kg; ME, IQR	A, Дж / A, J; M ± SD	W max, Вт / Power, watt; M ± SD	Wотн., Вт/кг / Power, watt / kg; ME, IQR	КВ, усл. ед. / KV, conven. units; ME, IQR	Темп / Pace; M ± SD
15-секундный тест (максимальная мощность) / 15 second test (maximum power)						
Исходный уровень / Baseline	3,95 (3,56; 4,24)	10345 ± 124	753 ± 15	8,93 (8,32; 9,51)	0,959 (0,941; 0,976)	37,1 ± 1,2
В конце подготовительного периода / At the end of the preparatory period	3,65 (3,14; 4,05)	11314 ± 156	815 ± 17	10,39 (9,67; 11,02)	0,985 (0,965; 1,001)	39,9 ± 1,4
p	0,516	0,018	0,036	0,016	0,043	0,038
Δ, начало — конец / Δ, beginning — end	-3,5 ± 0,4	+9,4 ± 2,3	+8,2 ± 2,1	+16,3 ± 2,8	+2,8 ± 0,9	+7,9 ± 1,7
45-сек. тест (гликолитическая выносливость) / 45 sec. test (glycolytic endurance)						
Исходный уровень / Baseline	2,25 (1,96; 2,45)	16434 ± 173	384 ± 12	4,75 (4,52; 4,95)	0,951 (0,965; 1,001)	111 ± 1,5
В конце подготовительного периода / At the end of the preparatory period	1,96 (1,81; 2,10)	18197 ± 193	441 ± 14	5,58 (5,31; 5,81)	0,977 (0,962; 0,987)	120 ± 2
p	0,585	0,017	0,016	0,015	0,041	0,034
Δ, начало — конец / Δ, beginning — end	-2,6 ± 0,3	+10,8 ± 2,5	+14,9 ± 2,9	+17,4 ± 3,1	+2,7 ± 0,8	+8,7 ± 2,2

Таблица 3

Динамика показателей ВСР у футболистов до и после 6-секундного анаэробного теста в процессе наблюдения

Table 3

## Dynamics of HRV indices in football players before and after a 6-second anaerobic test during observation

Показатели / Indicators	Начало подготовительного периода / Beginning of the preparatory period				Окончание подготовительного периода / End of the preparatory period			
	Исходно / Initially	После нагрузки / After load	<i>p</i>	$\Delta$ , до — после / Before — after	Исходно / Initially	После нагрузки / After load	<i>p</i>	$\Delta$ , до — после / Before — after
ЧСС / heart rate; <i>ME, IQR</i>	50,2 (46,5; 52,6)	57,42 (54,1; 60,2)	0,041	+14,1 ± 1,4	58,7 (54,3; 62,1)	68,9 (64,9; 71,1)	0,036	+17,3* ± 1,7
TP, мс <sup>2</sup> ; <i>M ± SD</i>	6680 ± 185	6021 ± 173	0,523	-9,2 ± 1,2	6414 ± 162	5623 ± 157	0,043	-12,6* ± 1,5
HF, мс <sup>2</sup> ; <i>M ± SD</i>	4456 ± 141	3280 ± 126	0,032	-25,2 ± 1,9	3723 ± 145	2445 ± 121	0,027	-34,3* ± 2,4
LF, мс <sup>2</sup> ; <i>M ± SD</i>	1618 ± 57	1935 ± 62	0,038	+17,2 ± 1,6	2018 ± 77	2431 ± 83	0,035	+22,6* ± 2,2
VLF, мс <sup>2</sup> ; <i>ME, IQR</i>	510 (465,6; 547,3)	605,5 (545,1; 651,3)	0,035	+18,7 ± 2,1	561 (520,6; 598,5)	691 (623,7; 752,2)	0,032	+23,2* ± 2,7
LF / HF, усл. ед.; <i>ME, IQR</i>	0,34 (0,29; 0,38)	0,55 (0,48; 0,61)	0,467	+61,7 ± 3,2	0,52 (0,46; 0,57)	0,92 (0,86; 0,96)	0,039	+76,9* ± 3,8
RMSSD, мс; <i>ME, IQR</i>	68,7 (65,5; 71,4)	52,1 (49,3; 54,2)	0,034	-24,2 ± 2,6	63,5 (59,8; 66,1)	42,8 (39,2; 44,9)	0,030	-32,5* ± 3,4
pNN50, %; <i>ME, IQR</i>	47,9 (44,7; 50,5)	36,7 (34,2; 38,1)	0,495	-23,3 ± 2,4	44,2 (42,5; 45,1)	30,1 (27,6; 32,1)	0,042	-31,9* ± 3,2

Примечание: здесь и далее в таблицах указаны точные значения величины *p* — уровень значимости различий «до-после» нагрузки на одном этапе тестирования; \* — между дельтами сдвигов показателей «до-после» соответствующего теста.

Note: here and further in the tables the exact values of the *p* — level of significance of the differences “before-after” of the load at one stage of testing are indicated; \* — between the deltas of the shifts of the indicators “before-after” of the corresponding test.

как промежуточный по длительности спринт, происходило значительное усиление симпато-адреналовых влияний в регуляции кардиоритма по данным динамики ЧСС; LF VLF; LF/HF при снижении значений индикаторов парасимпатического контроля — HF; RMSSD; pNN50 (табл. 4). Причем сдвиги значений этих показателей были выражены в большей степени, чем при выполнении 6-секундного теста.

В конце же подготовительного периода аналогичные по направленности сдвиги были существенно более выражены, при этом значения дельт — сдвигов показателей были достоверно выше по всем анализируемым индикаторам ВСР. Так, если при исходном тестировании прирост значений индекса симпато-парасимпатического баланса LF/HF составил около 100 %, но его средние значения после теста оставались в диапазоне умеренной ваготонии, то в конце подготовительного периода значения дельты LF/HF «до — после теста» составили +191,2 ± 12,5 %, а среднegrupповое значение индекса превышало 2 единицы, то есть соответствовало диапазону умеренной симпатикотонии, централизации управления сердечным ритмом.

В динамике же автономного обеспечения выполнения теста гликолитической направленности анаэробной работоспособности обнаружены максимально

выраженные различия. Так, у футболистов в начале подготовительного периода через минуту после 45-секундного теста при регистрации КИГ и анализе показателей ВСР отмечены значимый прирост ЧСС, снижение значений индикаторов вагусного контроля кардиоритма — HF, RMSSD, pNN50, общей мощности спектра ВСР — TP. При этом существенно повысились значения LF, VLF, а среднegrupповые значения индекса симпато-парасимпатического баланса LF/HF достигали максимальных значений в сравнении с аналогичными при начальном проведении 6-секундного и 15-секундного тестов (табл. 5). Таким образом, анализ результатов автономного контроля интенсивной мышечной деятельности в трех тестах выявил наибольшее напряжение регуляторных механизмов после выполнения работы анаэробно-гликолитического характера.

В конце подготовительного периода после аналогичного теста у футболистов были отмечены еще более выраженные (максимальные значения дельт) сдвиги большинства регистрируемых параметров ВСР — сохранялась значимая тахикардия (ЧСС в диапазоне 82–90 уд/мин), критическая парасимпатическая «депрессия» (снижение значений HF на 86,2 %, RMSSD — на 93,8 % и pNN50 — на 90,4 %) при значительном увеличении индикаторов барорефлекторной симпатической

Таблица 4

Динамика показателей ВСР у футболистов до и после 15-секундного анаэробного теста в процессе наблюдения

Table 4

Dynamics of HRV indices in football players before and after a 15-second anaerobic test during observation

Показатели / Indicators	Начало подготовительного периода / Beginning of the preparatory period				Окончание подготовительного периода / End of the preparatory period			
	Исходно / Initially	После нагрузки / After load	<i>p</i>	Δ, до — после / Before — after	Исходно / Initially	После нагрузки / After load	<i>p</i>	Δ, до — после / Before — after
ЧСС / heart rate; <i>ME, IQR</i>	53,9 (50,9; 56,4)	62,9 (58,3; 65,8)	0,035	+16,7 ± 1,9	60,7 (56,2; 63,9)	74,25 (68,7; 79,5)	0,030	+22,3* ± 2,7
TP, мс²; <i>M ± SD</i>	6225 ± 180	5451 ± 177	0,039	-12,8 ± 1,4	6018 ± 181	4944 ± 165	0,035	-18,1* ± 2,2
HF, мс²; <i>M ± SD</i>	3625 ± 137	2245 ± 131	0,025	-38,1 ± 3,2	3137 ± 135	1334 ± 126	0,012	-57,6* ± 4,2
LF, мс²; <i>M ± SD</i>	1954 ± 61	2361 ± 69	0,031	+20,7 ± 2,3	2230 ± 75	2786 ± 81	0,027	+24,9* ± 2,5
VLF, мс²; <i>ME, IQR</i>	556 (498,4; 603,7)	673 (546,1; 765,4)	0,034	+21,1 ± 2,2	592 (512,3; 663,7)	771 (642,4; 886,2)	0,024	+30,3* ± 3,1
LF / HF, усл. ед.; <i>ME, IQR</i>	0,49 (0,40; 0,57)	0,99 (0,86; 1,10)	0,043	+102,1 ± 9,3	0,68 (0,59; 0,75)	1,98 (1,87; 2,07)	0,040	+191,2* ± 12,5
RMSSD, мс; <i>ME, IQR</i>	59,8 (57,25; 61,46)	38,8 (35,4; 41,5)	0,029	-35,1 ± 3,9	53,7 (49,6; 56,8)	25,3 (20,7; 29,4)	0,016	-52,8* ± 5,6
pNN50, %; <i>ME, IQR</i>	40,2 (36,5; 43,1)	25,2 (22,3; 27,5)	0,027	-37,3 ± 3,7	34,7 (30,2; 38,3)	14,9 (10,1; 19,2)	0,014	-57,1* ± 4,8

активности и центральных регуляторных влияний — LF и VLF. Значения же индекса симпато-парасимпатического баланса возрастали более чем в семь раз, достигая среднegrupповых значений 6,69 усл. ед. (Me [IQR]: 6,69 [6,10; 7,06]), что может расцениваться как гиперсимпатикотония, максимальное напряжение автономного контроля кардиоритма [20].

#### 4. Дискуссия

Проблемы адекватной организации медико-биологического контроля, профилактики перенапряжения, развития синдрома перетренированности и допуска спортсменов к ответственным стартам сохраняют свою актуальность, поскольку нередки случаи преждевременного завершения профессиональной карьеры из-за скрытой сердечно-сосудистой, неврологической патологии, чрезмерных нагрузок и пр. [21]. Одним из важных направлений является функциональный мониторинг текущего состояния организма спортсменов на воздействие стандартных нагрузок, характерных для избранного вида спорта [17, 22, 23].

В работах последних лет представлены отдельные аспекты влияния длительного процесса тренировки на разных этапах тренировочно-соревновательного цикла у футболистов на параметры преимущественно аэробной работоспособности с фрагментарным учетом индикаторов их автономного обеспечения [24, 25].

Однако практика показывает, что интенсификация тренировочных воздействий часто приводит

к нарушению метаболизма, срыву процессов адаптации, развитию патологии, в частности кардиореспираторной системы [1, 20, 21]. Для своевременной коррекции учебно-тренировочного процесса у футболистов необходимо осуществлять мобилизацию скрытых резервов организма с развитием скоростно-силовых способностей, алактатной мощности и гликолитической выносливости, но с контролем «физиологической цены» достигаемых результатов, степени напряжения и вегетативных перестроек.

Полученные в ходе исследования результаты подтвердили исключительную ориентированность применяемого тренировочного процесса, характерного для подготовительного этапа, на достижение наивысшего результата при комплексном тестировании анаэробных возможностей в ущерб поддержанию функционального состояния и адекватной автономной регуляции. Результаты подчеркивают значимость анализа параметров ВСР для первичной профилактики признаков утомления и своевременной экспресс-диагностики перенапряжения у футболистов. Учитывая разработанные протоколы и стандарты применения методов анализа ВСР у спортсменов и высокую воспроизводимость результатов анализа автономной регуляции при применении тестирующих нагрузок умеренной интенсивности и продолжительности [2, 4, 7, 8], в исследовании оценивали динамику индикаторов автономной регуляции при дозированных нагрузках в различных режимах энергообеспечения.

Таблица 5

Динамика показателей ВСР у футболистов до и после 45-секундного анаэробного теста в процессе наблюдения

Table 5

Dynamics of HRV indices in football players before and after a 45-second anaerobic test during observation

Показатели / Indicators	Начало подготовительного периода / Beginning of the preparatory period				Окончание подготовительного периода / End of the preparatory period			
	Исходно / initially	После нагрузки / After load	<i>p</i>	$\Delta$ , до — после / Before — after	Исходно / initially	После нагрузки / After load	<i>p</i>	$\Delta$ , до — после / Before — after
ЧСС / heart rate; <i>ME, IQR</i>	61,9 (57,5; 65,2)	75,2 (71,3; 78,6)	0,017	+21,5 ± 2,6	63,7 (60,2; 66,7)	86,9 (82,4; 90,1)	0,014	+36,4** ± 3,9
TP, мс <sup>2</sup> ; <i>M ± SD</i>	5745 ± 172	4825 ± 181	0,032	-15,9 ± 1,7	5512 ± 164	4167 ± 151	0,028	-24,6* ± 2,5
HF, мс <sup>2</sup> ; <i>M ± SD</i>	2867 ± 140	1236 ± 96	0,012	-56,3 ± 4,6	2641 ± 134	421 ± 92	0,008	-86,2** ± 6,7
LF, мс <sup>2</sup> ; <i>M ± SD</i>	2214 ± 65	2801 ± 70	0,025	+26,5 ± 2,7	2196 ± 60	2935 ± 68	0,023	+33,8* ± 3,1
VLF, мс <sup>2</sup> ; <i>ME, IQR</i>	598 (514,1; 653,3)	736 (620,4; 825,2)	0,028	+23,1 ± 2,9	612 (570,1; 635,4)	769 (698,3; 814,1)	0,025	+25,6 ± 3,8
LF / HF, усл. ед.; <i>ME, IQR</i>	0,73 (0,65; 0,79)	2,13 (1,95; 2,23)	0,030	+191,7 ± 14,1	0,80 (0,72; 0,86)	6,69 (6,10; 7,06)	0,017	+736,3** ± 21,5
RMSSD, мс; <i>ME, IQR</i>	50,3 (47,72; 52,16)	24,3 (21,45; 26,70)	0,014	-51,7 ± 5,9	46,8 (43,85; 49,10)	2,9 (1,47; 4,15)	0,010	-93,8** ± 10,7
pNN50, %; <i>ME, IQR</i>	30,2 (27,61; 32,50)	15,5 (13,27; 17,14)	0,016	-48,6 ± 5,2	27,2 (25,12; 29,05)	2,6 (1,71; 3,28)	0,012	-90,4** ± 10,3

Исходные значения анаэробной работоспособности у квалифицированных футболистов находились при проведении всех трех тестов на высоком уровне, соответствовали их квалификации. Тренировочные факторы подготовительного периода отразились в потенцировании их специальной работоспособности. В то же время наименее «тренируемыми» (по степени прироста тестовых результатов «начало — конец») в динамике подготовительного периода, но наиболее устойчивыми, стабильными в вегетативном обеспечении мышечной деятельности оказались скоростно-силовые способности, анализируемые при проведении 6-секундного теста.

С переходом на тестовую оценку динамики МАМ и гликолитической выносливости у футболистов отмечены более значимые приросты значений соответствующих индикаторов к завершению специально-подготовительного периода. Однако такой прогресс показателей анаэробной работоспособности сопровождался негативной динамикой в индикаторах ВСР, что можно интерпретировать как выраженную парасимпатическую «депрессию» и чрезмерную симпато-адреналовую активацию с включением центральных, гипоталамических центров кардиоваскулярной регуляции, что является признаком перенапряжения при выполнении соответственно 15- и 45-секундных тестов [11, 14, 15].

Возможные причины наиболее интенсивного прироста функциональных показателей при тестовых нагрузках длительностью 15 и 45 секунд могут быть связаны

с различиями энергопотребления организма при их выполнении. Сложность выполнения нагрузки в данных временных интервалах объясняется неизбежным смещением энергетического «центра» от фосфагенно-креатинфосфатного к гликолитическому механизму. От эффективности этого перехода, очевидно, зависит результативность выполнения упражнений и, как следствие, гомеостатическая устойчивость функций в восстановительный период [10, 18]. Наиболее сложным в отношении напряжения автономной регуляции по результатам тестирования оказался 45-секундный анаэробный тест, в течение которого происходит переключение метаболизма на гликолиз. Выполнение этого теста в конце подготовительного периода сопровождалось чрезмерным напряжением автономной регуляции кардиореспираторных функций.

Полученные результаты доказывают обоснованность модификаций тренировочных режимов футболистов на подготовительном этапе, направленных на оптимизацию нагрузок алактатной и гликолитической направленности и улучшение результатов спортивных тестирований с сохранением адекватного функционального состояния [19, 22, 25].

### 5. Заключение

Тренировочный режим молодых футболистов, характерный для подготовительного этапа тренировочно-соревновательного цикла, оказался достаточно эффективным, что отразилось в значимом росте результатов

специальной работоспособности в трех анаэробных режимах — скоростно-силовом, максимальной алактатной мощности и гликолитическом. Однако при выполнении тестов оценки алактатной и гликолитической мощности в конце подготовительного периода выявлены признаки чрезмерного напряжения автономной регуляции

#### **Вклад авторов:**

**Терехов Павел Александрович** — написание текста статьи, научное редактирование, утверждение финальной версии статьи.

**Брук Татьяна Михайловна** — организация исследования.

**Киндюхин Егор Александрович** — анализ литературных источников, сбор и статистическая обработка данных.

**Глазачев Олег Станиславович** — концепция статьи, редактирование рукописи, экспертная оценка.

#### **Список литературы**

1. Фесюн А.Д., Датий А.В., Яковлев М.Ю., Черняховский О.Б. Оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы лиц, занимающихся физической культурой и спортом. Спортивная медицина: наука и практика. 2019;(9)2:68–72. <https://doi.org/10.17238/issn2223-2524.2019.2.68>
2. Чайников П.Н., Черкасова В.Г., Муравьев С.В., Кулеш А.М. Вариабельность ритма сердца спортсменов игровых видов спорта, получающих высшее образование, в начале тренировочного сезона. Спортивная медицина: наука и практика. 2020;(10)2:81–90. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.81>
3. Shaffer F, Ginsberg J.P. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Front. Public Health* 2017;5:258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
4. Botek M., Krejci J., McKune A. Sex differences in autonomic cardiac control and oxygen saturation response to short-term normobaric hypoxia and following recovery: effect of aerobic fitness. *Front. Endocrinol.* 2018;9:697. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00697>
5. Rave G., Fortrat J.-O., Dawson B., Carre F., Dupont G., Saeidi A., Boullousa D., Zouhal H. Heart rate recovery and heart rate variability: use and relevance in European professional soccer. *Int. J. Perform. Anal. Sport.* 2018;18(1):168–183. <https://doi.org/10.1080/24748668.2018.1460053>
6. Schmitt L., Regnard J., Coulmy N., Millet G.P. Influence of training load and altitude on HRV fatigue patterns in elite nordic skiers. *Int. J. Sports Med.* 2018;39(10):773–781. <https://doi.org/10.1055/a-0577-4429>
7. McNarry M.A., Michael J. Lewis. Heart rate variability reproducibility during exercise. *Physiol. Meas.* 2012;33(7):1123–1133. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/33/7/1123>
8. Bourdillon N., Schmitt L., Yazdani S., Vesin J.-M., Millet G.P. Minimal window duration for accurate HRV recording in athletes. *Front. Neurosci.* 2017;11:456. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00456>
9. Чиков А.Е., Медведев Д.С. Механизмы энергообеспечения мышечной деятельности при выполнении стандартизированных нагрузок спортсменов. Спортивная медицина: наука и практика. 2017;(7)2:19–24. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2017.2.19>
10. Хайтин В.Ю., Матвеев С.В., Гришин М.Ю. Уровень креатинфосфокиназы крови как критерий восстановления у профессиональных футболистов в соревновательном перио-

кардиореспираторных функций, что отражает начальные признаки перенапряжения после продолжительного цикла интенсивных тренировок и обуславливает необходимость коррекции структуры тренировок в сторону снижения нагрузок максимальной алактатной и гликолитической направленности.

#### **Authors' contributions:**

**Pavel A. Terekhov** — writing the text of the article, scientific editing, approval of the final version of the article.

**Tatiana M. Brooke** — organization of the study.

**Egor A. Kindyukhin** — analysis of literary sources, collection and statistical processing of data.

**Oleg S. Glazachev** — article concept, manuscript editing, expert review.

#### **Reference**

1. Fesyun A.D., Datiy A.V., Yakovlev M.Yu., Chernyakhovsky O.B. Assessment of the functional state of the cardiovascular system of individuals involved in physical education and sports. *Sports Medicine: Research and Practice.* 2019;(9)2:68–72. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2019.2.68>
2. Chainikov P.N., Cherkasova V.G., Muraviev S.V., Kulesh A.M. Heart rate variability in college-educated team sports athletes at the beginning of the training season. *Sports Medicine: Research and Practice.* 2020;10(2):81–90. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.81>
3. Shaffer F, Ginsberg J.P. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Front. Public Health* 2017;5:258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
4. Botek M., Krejci J., McKune A. Sex differences in autonomic cardiac control and oxygen saturation response to short-term normobaric hypoxia and following recovery: effect of aerobic fitness. *Front. Endocrinol.* 2018;9:697. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00697>
5. Rave G., Fortrat J.-O., Dawson B., Carre F., Dupont G., Saeidi A., Boullousa D., Zouhal H. Heart rate recovery and heart rate variability: use and relevance in European professional soccer. *Int. J. Perform. Anal. Sport.* 2018;18(1):168–183. <https://doi.org/10.1080/24748668.2018.1460053>
6. Schmitt L., Regnard J., Coulmy N., Millet G.P. Influence of training load and altitude on HRV fatigue patterns in elite nordic skiers. *Int. J. Sports Med.* 2018;39(10):773–781. <https://doi.org/10.1055/a-0577-4429>
7. McNarry M.A., Michael J. Lewis. Heart rate variability reproducibility during exercise. *Physiol. Meas.* 2012;33(7):1123–1133. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/33/7/1123>
8. Bourdillon N., Schmitt L., Yazdani S., Vesin J.-M., Millet G.P. Minimal window duration for accurate HRV recording in athletes. *Front. Neurosci.* 2017;11:456. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00456>
9. Chikov A.E., Medvedev D.S. Energy supply of athletes' muscles at the performance of standardized loads. *Sports Medicine: Research and Practice.* 2017;(7)2:19–24. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2017.2.19>
10. Khaitin V.Yu., Matveev S.V., Grishin M.Yu. The level of serum creatine phosphokinase as a criterion of recovery in professional soccer players during the competitive period. *Sports Medi-*

де. Спортивная медицина: наука и практика. 2018;(8)4:22–27. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2018.4.22>

11. Zupan M.F., Arata A.W., Dawson L.H., Wile A.L., Payn T.L., Hannon M.E. Wingate anaerobic test peak power and anaerobic capacity classifications for men and women intercollegiate athletes. *J. Strength Cond. Res.* 2009;23(9):2598–2604. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b1b21b>

12. Hirsch A., Bieleke M., Bertschinger R., Schüler J., Wolff W. Struggles and strategies in anaerobic and aerobic cycling tests: A mixed-method approach with a focus on tailored self-regulation strategies. *PLoS One.* 2021;16(10):e0259088. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259088>

13. Foster C., Rodriguez-Marroyo J.A., de Koning J.J. Monitoring training loads: the past, the present, and the future. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2017;12(Suppl 2):S22-S28. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0388>

14. Löllgen H., Leyk D. Exercise testing in sports medicine. *Dtsch. Arztebl. Int.* 2018; 115(24):409–416. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2018.0409>

15. Bergstrom H.C., Housh T.J., Zuniga J.M., Camic C.L., Traylor D.A., Schmidt R.J., Johnson G.O. A new single work bout test to estimate critical power and anaerobic work capacity. *J. Strength Cond. Res.* 2012;26(3):656–663. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822b7304>

16. Шамардин А.И. Оптимизация функциональной подготовленности футболистов. Москва: Мир и Образование; 2010.

17. Юрьев Е.М. Оценка физической и функциональной подготовленности футболистов массовых спортивных разрядов. Вестник Новосибирского государственного университета. 2017;4(2):230–232.

18. Chan H.C., Fong D.T., Lee J.W., Yau Q.K., Yung P.S., Chan K.M. Power and endurance in Hong Kong professional football players. *Asia Pac. J. Sports Med. Arthrosc. Rehabil. Technol.* 2016;5:1–5. <https://doi.org/10.1016/j.asmart.2016.05.001>

19. Nobari H., Gorouhi A., Mallo J., Lozano D., Prieto-González P., Mainer-Pardos E. Variations in cumulative workload and anaerobic power in adolescent elite male football players: associations with biological maturation. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 2023;15(1):11. <https://doi.org/10.1186/s13102-023-00623-5>

20. Гаврилова Е.А., Ларинцева О.С. Факторы риска внезапной сердечной смерти спортсменов на разных этапах спортивной подготовки по данным кардиологического обследования. Спортивная медицина: наука и практика. 2018;8(2):33–36. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2018.2.33>

21. Макаров Л.М., Комолятова В.Н., Аксенова Н.В. Анализ причин отводов от занятий спортом юных элитных спортсменов. Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2020;65(6):65–71. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-6-65-71>

22. Безуглов Э.Н., Красножан Ю.А., Стукалов Е.А., Российский С.А., Ярдосвили А.Э., Усманова Э.М. Мониторинг функционального состояния футболистов высокой квалификации в течении соревновательного сезона. Вестник спортивной науки. 2011;(3):25–30.

23. Иорданская Ф.А., Абрамова Т.Ф., Цепкова Н.К., Бучина Е.В., Малкин Р.В. Мониторинг функциональной подготовленности высококвалифицированных спортсменов и совершенствование программного обеспечения в процессе тренировочных мероприятий. Вестник спортивной науки. 2018;(5):37–44.

*cine: Research and Practice.* 2018;(8)4:22–27. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2018.4.22>

11. Zupan M.F., Arata A.W., Dawson L.H., Wile A.L., Payn T.L., Hannon M.E. Wingate anaerobic test peak power and anaerobic capacity classifications for men and women intercollegiate athletes. *J. Strength Cond. Res.* 2009;23(9):2598–2604. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b1b21b>

12. Hirsch A., Bieleke M., Bertschinger R., Schüler J., Wolff W. Struggles and strategies in anaerobic and aerobic cycling tests: A mixed-method approach with a focus on tailored self-regulation strategies. *PLoS One.* 2021;16(10):e0259088. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259088>

13. Foster C., Rodriguez-Marroyo J.A., de Koning J.J. Monitoring training loads: the past, the present, and the future. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2017;12(Suppl 2):S22-S28. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0388>

14. Löllgen H., Leyk D. Exercise testing in sports medicine. *Dtsch. Arztebl. Int.* 2018; 115(24):409–416. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2018.0409>

15. Bergstrom H.C., Housh T.J., Zuniga J.M., Camic C.L., Traylor D.A., Schmidt R.J., Johnson G.O. A new single work bout test to estimate critical power and anaerobic work capacity. *J. Strength Cond. Res.* 2012;26(3):656–663. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822b7304>

16. Shamardin A.I. Optimizing the functional readiness of football players. Moscow: Mir i Obrazovanie Publ.; 2010. (In Russ.).

17. Jur'ev E.M. Assessment of physical and functional readiness of football players in mass sports. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta = Vestnik Novosibirsk State University.* 2017;4(2):230–232. (In Russ.).

18. Chan H.C., Fong D.T., Lee J.W., Yau Q.K., Yung P.S., Chan K.M. Power and endurance in Hong Kong professional football players. *Asia Pac. J. Sports Med. Arthrosc. Rehabil. Technol.* 2016;5:1–5. <https://doi.org/10.1016/j.asmart.2016.05.001>

19. Nobari H., Gorouhi A., Mallo J., Lozano D., Prieto-González P., Mainer-Pardos E. Variations in cumulative workload and anaerobic power in adolescent elite male football players: associations with biological maturation. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 2023;15(1):11. <https://doi.org/10.1186/s13102-023-00623-5>

20. Gavrilova E.A., Larintseva O.S. Sudden cardiac death risk factors in athletes at different sports training stages according to cardiac examination. *Sports Medicine: Research and Practice.* 2018;8(2):33–36. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn2223-2524.2018.2.33>

21. Makarov L.M., Komolyatova V.N., Aksyonova N.V. Analysis of Reasons to Withdraw the Young Elite Athletes from Sports. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii = Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics.* 2021;65(6):65–71. (In Russ.). <http://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-6-65-71>

22. Bezuglov E.N., Krasnozhan Yu.A., Stukalov E.A., Rossiyskiy S.A., Yardosvili A.E., Usmanova E.M. Professional football player's state monitoring during the competitions. *Sports Science Bulletin.* 2011;(3):25–30. (In Russ.).

23. Iordanskaya F.A., Abramova T.F., Tsepikova N.K., Buchina E.V., Malkin R.V. Monitoring of functional fitness of elite athletes and improvement of the programs in the process of training activity. *Sports Science Bulletin.* 2018;(5):37–44. (In Russ.).

24. Давлетмуратов С.Р. Физическая работоспособность в годичном цикле подготовительного периода подготовки квалифицированных футболистов. *Fan-Sportga*. 2020; (3):10–13.

25. Селуянов В.Н., Сарсания С.К., Сарсания К.С., Стукалов Б.А. Минимизация нагрузок гликолитической направленности — суть инновационной технологии физической подготовки футболистов. *Вестник спортивной науки*. 2006;(2):7–13.

24. Davletmuratov S.R. Physical performance in the annual cycle of the preparatory period of training of qualified football players. *Fan-Sportga*. 2020;(3):10–13. (In Russ.).

25. Seluyanov V.N., Sarsaniya S.K., Sarsaniya K.S., Stukalov B.A. Minimizing glycolytic loads is the essence of innovative technology for physical training of football players. *Sports Science Bulletin*. 2006;(2):7–13. (In Russ.).

#### Информация об авторах:

**Терехов Павел Александрович\***, д.б.н., доцент, ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет спорта» (СГУС), Россия, 214018, Смоленск, проспект Гагарина, 23. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7820-9942>; <https://orcid.org/0000-0003-3579-6048> (+7 (904) 366-29-99, [terechov\\_86@mail.ru](mailto:terechov_86@mail.ru))

**Брук Татьяна Михайловна**, д.б.н., профессор, зав. кафедрой биологических дисциплин, ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет спорта» (СГУС), Россия, 214018, Смоленск, проспект Гагарина, 23. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1023-6642>

**Киндюхин Егор Александрович**, аспирант ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет спорта» (СГУС), Россия, 214018, Смоленск, проспект Гагарина, 23. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1048-4296>

**Глазачев Олег Станиславович**, д.м.н., профессор, профессор кафедры нормальной физиологии ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 125009, Москва, ул. Моховая, 11, стр. 4, офис 31, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9960-6608>

#### Information about the authors:

**Pavel A. Terekhov\***, D.Sc. (Biology), Assoc. Prof., Smolensk State University of Sports, 23 Gagarin Avenue, Smolensk, 214018, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7820-9942>; <https://orcid.org/0000-0003-3579-6048> (+7 (904) 3662999, [terechov\\_86@mail.ru](mailto:terechov_86@mail.ru))

**Tatiana M. Brooke**, D.Sc. (Biology), Prof., head of the department of biological disciplines, 23 Gagarin Avenue, Smolensk, 214018, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1023-6642>

**Egor A. Kindyukhin**, graduate student of the Smolensk State University of Sports (SSUS), 23 Gagarin Avenue, Smolensk, 214018, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1048-4296>

**Oleg S. Glazachev**, M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Professor of the department of normal physiology of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, 11, building 4, office 31 Mokhovaya str., Moscow, 125009, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9960-6608>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.5>

УДК: 612.063

Тип статьи: Обзоры литературы / Articles Review



## Effects of intermittent hypoxia exposures and interval hypoxic training on exercise tolerance (narrative review)

Johannes Burtscher<sup>1</sup>, Oleg S. Glazachev<sup>2\*</sup>, Martin Kopp<sup>1</sup>, Martin Burtscher<sup>3</sup>

<sup>1</sup> University of Lausanne, Lausanne, Switzerland

<sup>2</sup> First Moscow Sechenov Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

<sup>3</sup> Innsbruck University, Innsbruck, Austria

### ABSTRACT

The ability to perform steady-state submaximal exercise at a certain intensity (exercise tolerance) predicts endurance performance in athletes, but also the quality of life and the capability to perform daily living activities in older people and patients suffering from chronic diseases. Improvements in exercise tolerance following exercise training are well established but may also occur or be enhanced as a consequence of adaptations to other stimuli, e.g., repeated exposures to real or simulated altitude. Adaptive responses (i.e., beneficially impacting exercise tolerance) depend on the type and extent of hypoxia stimuli, in particular, whether they are applied during exercise (intermittent hypoxia training, IHT) or at rest (intermittent hypoxia exposure, IHE).

This brief review summarizes the evidence showing that IHT seems to elicit more pronounced effects on exercise tolerance than IHE. The most relevant adaptations to IHT are primarily provoked within the working skeletal muscles, whereas the rather small effects of IHE may include improved autonomic regulatory processes, endothelial function, cardioprotection, and increasing antioxidant capacity, all of which can probably be enhanced by combination with exercise (IHT). While IHE seems particularly suited for sedentary and elderly people or those suffering from chronic diseases, IHT will be more appropriate for young and already trained people. Thus, IHE is recommended for those with low exercise tolerance and can be followed up with exercise training in normoxia and finally with IHT.

**Keywords:** interval hypoxic training, interval hypoxic exposures, adaptation, hypoxic stimuli, physical performance

**For citation:** Kopp M., Glazachev O.S., Burtscher M., Burtscher J. Effects of intermittent hypoxia exposure and training on exercise tolerance (narrative review). *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(2):16-23. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.5>

**Received:** 01 August 2024

**Accepted:** 06 November 2024

**Online first:** 13 December 2024

**Published:** 15 December 2024

\*Corresponding author

## Эффекты интервальных гипоксических экспозиций и интервальных гипоксических тренировок на переносимость физических нагрузок (нарративный обзор)

Йоханнес Бурчер<sup>1</sup>, О.С. Глазачев<sup>2\*</sup>, Мартин Копп<sup>3</sup>, Мартин Бурчер<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Университет Лозанны, Лозанна, Швейцария

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

<sup>3</sup> Университет Инсбрука, Инсбрук, Австрия

### РЕЗЮМЕ

Способность успешно выполнять повторяющиеся субмаксимальные физические нагрузки/упражнения с определенной интенсивностью (переносимость физических нагрузок) позволяет прогнозировать выносливость спортсменов, а также качество жизни и способность выполнять повседневные действия у пожилых людей и пациентов, страдающих хроническими заболеваниями. Повышение переносимости физических нагрузок после серии спортивных тренировок хорошо известно, однако эти эффекты могут потенцироваться при параллельной адаптации к другим стимулам, например повторным воздействиям реального или моделируемого среднегорья. Адаптивные реакции (т. е. благотворно влияющие на переносимость физических нагрузок) зависят от типа и степени гипоксических стимулов, в частности, применяются они во время физических нагрузок (интервальная гипоксическая тренировка, ИГТ) или в состоянии покоя (интервальные гипоксические экспозиции, ИГЭ).

В кратком обзоре обобщены доказательства, показывающие, что ИГТ, по-видимому, вызывает более выраженные эффекты на переносимость физических нагрузок, чем ИГЭ. Наиболее значимые эффекты адаптации к ИГТ в первую очередь провоцируются в рабочих скелетных мышцах, кроме того, небольшие эффекты ИГЭ могут включать улучшение автономных регуляторных процессов, эндотелиальной функции, кардиопротекцию и повышение мощности антиоксидантных механизмов, большинство из которых, вероятно, могут быть потенцированы применением гипоксических экспозиций в сочетании с физическими нагрузками (ИГТ). В то время как ИГЭ, по-видимому, особенно подходит для малоподвижных и пожилых людей или тех, кто страдает хроническими неинфекционными заболеваниями. Курсы ИГТ являются доказанно более эффективными для молодых тренированных людей, квалифицированных атлетов. Таким образом, процедуры ИГЭ рекомендуются для начала или вовлечения в занятия физическими упражнениями для людей с низкой переносимостью физических нагрузок. В дальнейшем их тренировочный режим может дополняться тренировками в нормоксии и, наконец, собственно процедурами ИГТ.

**Ключевые слова:** интервальные гипоксические тренировки, интервальные гипоксические экспозиции, адаптация, гипоксические стимулы, физическая работоспособность

**Для цитирования:** Бурчер Й., Глазачев О.С., Копп М., Бурчер М. Эффекты интервальных гипоксических экспозиций и интервальных гипоксических тренировок на переносимость физических нагрузок (нарративный обзор). *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(2):16–23. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.5>

**Поступила в редакцию:** 01.08.2024

**Принята к публикации:** 06.11.2024

**Online first:** 13.12.2024

**Опубликована:** 15.12.2024.

\* Автор, ответственный за переписку

## 1. Introduction

The ability to perform sustained exercise at a certain submaximal intensity is an indicator of the individual tolerance of exercise. This measure not only predicts endurance performance in athletes but also the quality of life and the capability to perform daily living activities in older people and patients [1]. Exercise tolerance is related to maximal aerobic capacity (maximal oxygen consumption,  $VO_{2max}$ ) and exercise efficiency, the amount of  $O_2$  needed to perform exercise at certain intensity. It decreases with detraining (e. g., bedrest) and increases with exercise training [2, 3]. Changes in exercise tolerance resulting from exercise training or any other appropriate intervention, e. g., exposures to different environmental conditions like terrestrial or simulated altitude, can be assessed by monitoring physiological steady-state responses (e. g., respiratory, cardiovascular, or metabolic) to a certain submaximal workload before and after the intervention. It is well-established that ventilatory demands (i. e., minute ventilation, VE) [4], heart rate (HR) [5], and blood lactate concentration [6] at a certain workload can all be reduced, e. g., by a 2–3-week period of exercise training [5]. While steady-state oxygen uptake ( $VO_2$ ) during submaximal exercise remains unchanged or slightly decreases (due to improved exercise efficiency), ventilatory changes consistently observed aside from VE are carbon dioxide output ( $VCO_2$ ), the respiratory exchange ratio ( $VCO_2/VO_2$ ), and  $VE/VO_2$  [4]. Depending on the type of training, training adaptations are primarily attributed to central (e. g., increased cardiac output associated with elevations in left ventricular mass, stroke volume, and circulating blood volume) [7–9] and peripheral (e. g., increases of oxidative enzyme capacity and capillary density of skeletal muscles) [9–11] factors. The question arises, whether and how adding a hypoxic stimulus to exercise, i. e., training at real or simulated altitude, may provide additional training effects, and if true, whether a hypoxic stimulus could be effective even without exercise.

Generally, when acutely exposed to submaximal exercise in hypoxia,  $VO_2$  and stroke volume seem to be rather unaffected at the same workload, but peripheral oxygen saturation

( $SpO_2$ ) decreases, and VE, HR, and cardiac output increase to compensate for the lower oxygen availability, associated with increased sympathetic nervous system activity, a more pronounced increase of lactate concentration in blood and rating of perceived exertion [12–15]. Thus, stress responses due to hypoxic stimuli may induce a variety of adaptations (e. g., involving skeletal muscle, cardiovascular, respiratory, and autonomic nervous systems) that could beneficially impact exercise tolerance. The adaptive responses depend on the type and extent of the hypoxia stimuli, and, in particular, whether repeated hypoxia stimuli are applied during exercise (intermittent hypoxia training, ИИТ); or at rest (intermittent hypoxia exposure, ИИЭ). This review focuses on the existing evidence of ИИТ and ИИЭ effects on exercise tolerance (primarily the ability to perform submaximal exercise in normoxia).

## 2. Intermittent hypoxia training (ИИТ)

Terrados and colleagues have conducted one of the first well designed experiments convincingly demonstrating beneficial effects elicited by ИИТ [16]. These researchers compared normobaric and hypobaric (simulated 2300 m) training effects by applying one-legged training (cycle ergometer), on submaximal exercise performance. Each leg was trained in normobaric or hypobaric conditions for 30 minutes 3–4 times per week over a 4-week period at an intensity corresponding to 65% of the one-legged maximal pre-training work capacity ( $W_{max}$ ). Submaximal exercise testing was performed before and after training at 80% of the pre-training  $W_{max}$  in normoxia. Submaximal exercise performance increased considerably in both legs from 28.3 ( $\pm$  10.4) min (pre-training) to 96.8 ( $\pm$  27.0) min (post-training) in the normobarically and to 116.8 ( $\pm$  40.4) min (post-training) in the hypobarically trained leg (significant changes between groups), which was associated with a lower HR response after training in hypoxia. The authors demonstrated that additional benefits from hypoxia stimulus were accompanied by elevated citrate synthase activity, a flux-generating enzyme in the carboxylic acid cycle (considered a marker

of aerobic capacity) [16]. This finding has been confirmed in later studies [17]. Consequently, IHT seems to promote the aerobic capacity of the working muscles and is associated with an improved ability to perform a prolonged submaximal exercise at lower cardiac stress (indicated by lower heart rates -HRs). In the following three decades, several hypoxia training paradigms have been introduced and developed. Their superior performance-enhancing efficacy compared to normoxic training has been summarized in a recent meta-analysis [18]. The authors report varying benefits (standardized mean differences (SMDs) ranging from 1.45 to 7.10) of all 7 hypoxic training paradigms (different combinations of exercise and hypoxia/normoxia exposures) (42 studies including 1246 individuals), whereby IHT (corresponding to “live low-train high”) was most promising among non-elite athletes.

As an example of IHT, Park and colleagues compared the effects of a 6-week normobaric and hypobaric training program on submaximal exercise responses in moderately trained swimmers. Participants performed 120-min training sessions (consisting of warm-up, continuous training on a treadmill, and interval training on a cycle ergometer, and cool down) 3 days per week in normoxia or hypobaric hypoxia (simulated altitude of 3000 m) [19]. The authors found improved 400-m trial performance only in the IHT group. Submaximal exercise testing (at the same intensity in normoxia) revealed reduced HRs and cardiac output independent of training in normoxia or hypoxia, but a decrease in  $\text{VO}_2$  was only observed after IHT [19]. Accordingly, a lesser arterio-venous oxygen difference during submaximal exercise and a larger reserve of oxygen extraction during maximal exercise (as indicated by the improved  $\text{VO}_{2\text{max}}$  after hypoxic training)[19] seems reasonable. The lower submaximal  $\text{VO}_2$  (during submaximal cycling) after IHT indicates improved exercise efficiency. This improvement may partially be explained by a higher amount of mitochondria in the working skeletal muscles and a faster ability to regenerate adenosine triphosphate (ATP) [20], induced by IHT [16, 21, 22].

Although both animal [21] and human studies [23] found that this kind of hypoxic training (IHT or “Live lower, train higher”) regimen may presumably promote mitochondrial biogenesis and angiogenesis in skeletal muscles, as well as associated performance benefits in normoxia, others did not [24, 25]. These discrepancies may be due to many reasons, e.g., differences in the training status of the study participants, the severity of hypoxia, type and intensity of exercise, training duration, regeneration, diet, etc. Training in hypoxia (e.g., between 2500 and 4500 m) at higher exercise intensities (i.e., > 75 % of the individual  $\text{VO}_{2\text{max}}$  or peak power output) may be the most promising approach [23, 26], possessing the potential to promote mitochondrial biogenesis, angiogenesis, and more efficient oxygen utilization due to a tighter coupling between energy utilization and production sites [17]. This approach seems reasonable, as the molecular mediators of high-intensity exercise and hypoxic responses overlap. The

shared mediators are for example involved in mitochondrial biogenesis and angiogenesis and include peroxisome proliferator-activated receptor gamma co-activator 1 $\alpha$ , hypoxia inducible factor 1- $\alpha$  (HIF1- $\alpha$ ), and vascular endothelial growth factor [27, 28]. However, the optimal dosing of both stimuli on an individual basis needs further investigation. In addition, several other mechanisms accompanied by the exercise and hypoxia intervention, including autonomic regulatory processes, and hematological, endothelial, myocardial, and metabolic adaptations may all play a role [28, 29].

Generally, sympathetic nervous system activity is increased during exercise (arising from central command, muscle metabo- and mechanoreceptors, and the involvement of baro- and chemoreceptors), which supports blood flow redistribution to working skeletal muscles [29]. Those mechanisms may be dysfunctional in sedentary and particularly in diseased individuals, where both IHT and IHE could restore proper functioning and improve exercise tolerance [30]. In addition, elevated hemoglobin levels contributing to improved oxygen transport capacity and exercise tolerance have been repeatedly found after IHT, and were associated with hypoxia-mediated stimulation of renal erythropoietin secretion, resulting in reduced plasma volume by osmosis, improved oxygen utilization of skeletal muscle, and maintained acid-base balance [31].

Moreover, hypoxia exposure effects on endothelial function, antioxidant defense, and cardio-protection [32–35] (see IHE effects below) may contribute to improvements in exercise tolerance as well. However, skeletal muscle adaptations seem to be the most important consequences of IHT, but may be more or less negligible in IHE.

One psychological aspect could be the influence of expectations or effort justification. As significantly more effort is required for IHT (as compared to exercising with comparable workloads in normoxia), it is possible that the performance-related output expectation of this intervention leads to better results. This is suggested by studies demonstrating increased therapeutic effectiveness, if greater effort was required [36]. With regard to IHT, we are not aware of any studies that have investigated the potential effects of expectation or effort justification. However, the greater and longer-lasting physical improvement of a 12-week long IHT (interval trainings in 17% oxygen conditions, as compared to the same training in normoxia) in untrained but healthy adult women may be explained by mental health effects [37]. These women reported increased self-perceived general health and vitality only after IHT [37], possibly reflecting greater satisfaction with their training due to the higher required effort in IHT.

### 3. Intermittent hypoxia exposure at rest (IHE)

As outlined above, it is well-established, that exercise training can improve exercise tolerance and some evidence suggests greater benefits when exercise is performed in hypoxic environmental conditions (natural or simulated, artificial). However, it is much less clear how IHE could increase exercise tolerance [38].

### 3.1. IHE in healthy individuals

In an early study, 28 healthy young men ( $n = 16$ ) and women ( $n = 12$ ) were randomly assigned to IHE (11 to 9 % oxygen) or normoxic (21 % oxygen) air breathing at rest (5 sessions per week over 4 weeks). Each session consisted of 3 to 7 cycles of 3–6 min hypoxic periods interspersed by 3–5 min lasting normoxic intervals [39]. Submaximal cardiopulmonary exercise tests, performed in normoxia before and after the breathing program, revealed significantly reduced heart rate responses to exercise after IHE and associated reduction in the rate-pressure product (HR x systolic blood pressure), an indirect measure of myocardial oxygen consumption. Reduced sympatho-adrenergic responses to exercise have been suggested to be responsible for the observed changes/adaptations. However, the exact underlying mechanisms of adaptation remain elusive.

Katayama and colleagues performed a controlled trial comparing IHE effects (simulated altitude of 4500 m for 90 min, 3 times a week for 3 weeks) on submaximal exercise performance compared to controls (40). The authors demonstrated improved 3000 m running times after hypoxia and reduced submaximal  $\text{VO}_2$ , indicating improved exercise efficiency [40]. However, it remains unclear whether this is a true improvement in exercise efficiency or only related to decreased cardiorespiratory costs and greater reliance on carbohydrates in resting conditions [41].

In a controlled experiment, including 18 healthy subjects, Mekjavic and colleagues added IHE (1 hour per day) to usual training in normoxia (1 hour per day, 5 days per week over 4 weeks) [42]. Both groups showed improved submaximal performance (constant power test) but intermittent hypoxia did not yield additional significant benefits on exercise tolerance. These findings indicate that the rather small effects of IHE are masked by those of exercise training and cannot be readily discerned. This assumption has been confirmed by a study comparing the effects of IHE between regularly exercising and sedentary groups of elderly men [35]. Improved exercise tolerance was associated with greater positive effects on hemodynamics and microvascular endothelial function only in blood lactate concentration, and rating of perceived exertion after IHE are usually not accompanied by ventilatory responses, which seem to remain unchanged or can even increase due to an elevated chemoreflex sensitivity induced by IHE [42]. However, IHE-induced chemoreflex sensitivity may be reduced when combined with endurance training [43]. Similar or even greater benefits outlined above, might be expected when IHE is applied in sedentary patients suffering from chronic diseases like coronary artery disease or chronic obstructive pulmonary disease.

The suggested impacts of IHT and/or IHE are depicted in figure.

### 3.2. IHE in patients suffering from chronic diseases

Several studies have tested the effects of a course of hypoxic exposures at rest on exercise tolerance in patients with various chronic pathologies. Improved exercise tolerance

was demonstrated in 16 males (50–70 years, with and without prior myocardial infarction) [44]. Subjects were randomly assigned to receive 15 sessions (within 3 weeks) of intermittent hypoxia or normoxia (sham breathing) at rest. Each session consisted of 3–5 hypoxic (14–10 % oxygen; normoxic air for controls) periods with 3-min normoxic intervals. Controls inhaled only normoxic air in the same way. Incremental cycle ergometry (in normoxia) was performed before and after the 3-week breathing intervention. After 3 weeks of IHE,  $\text{VO}_2$  peak had increased and was closely related to the arterial oxygen content (increase in hemoglobin concentration and lesser reduction in  $\text{SpO}_2$ ) ( $r = 0.9$ ,  $p < 0.001$ ) [44]. Submaximal exercise responses (cycling at 1 W/kg), i. e., HRs, systolic blood pressure, the rate-pressure product were all diminished after IHE (compared to controls, all  $p < 0.05$ ) [44]. Elevated hemoglobin levels and benefits on exercise tolerance have been reported from IHT protocols (see above) [31], but may even occur following IHE in these patients.

A similar clinical trial has been performed including patients suffering from mild chronic obstructive pulmonary diseases, also demonstrating improved exercise tolerance following IHE (12–15 %  $\text{O}_2$  for 3–5 min, interspersed by intervals of 3–5 min of normoxia, 5–9 episodes per day, for 15 days) [45]. Eighteen patients (randomized to IHE or sham breathing) performed incremental cycle spiro-ergometry (in normoxia) before and after the breathing program. After IHE, a 9.7 % increase in total exercise time and a 13 % increase in exercise time to the anaerobic threshold were observed (compared to 0 % and -7.8 % in the control group,  $p < 0.05$ ) [45]. Noteworthy, increases in the total exercise time were positively correlated to the elevated total hemoglobin mass ( $r = 0.59$ ,  $p < 0.05$ ), and the time to the anaerobic threshold was correlated with improved lung diffusion capacity for carbon monoxide ( $r = 0.48$ ,  $p < 0.05$ ) post-IHE [45]. These findings suggest that increased oxygen delivery to exercising muscles contributed to improved maximal and submaximal exercise performance after intermittent hypoxic exposures. Additionally, cardiovascular autonomic abnormalities in these patients (present at baseline) had normalized after the hypoxia intervention, which may also have contributed to the improved exercise tolerance [30], e. g., by effects on blood flow distribution (vasoconstriction in inactive muscle and vasodilation in working muscles by functional sympatholysis) [46]. Again, an increase in total hemoglobin mass and improvements in lung function parameters may have impacted exercise tolerance in patients with chronic obstructive pulmonary diseases.

More recently, in multimodal training programs, normoxic periods during IHE (3–5 sessions per week over 3–6 weeks) have been replaced by hyperoxic (e. g., 30–40 % oxygen) periods (intermittent hypoxia-hyperoxia exposure, IHHE), showing similar or even superior effects on physical and cognitive performance, associated with reduced cardio-metabolic risk factors in older patients suffering from cardiovascular and metabolic diseases [47–49].

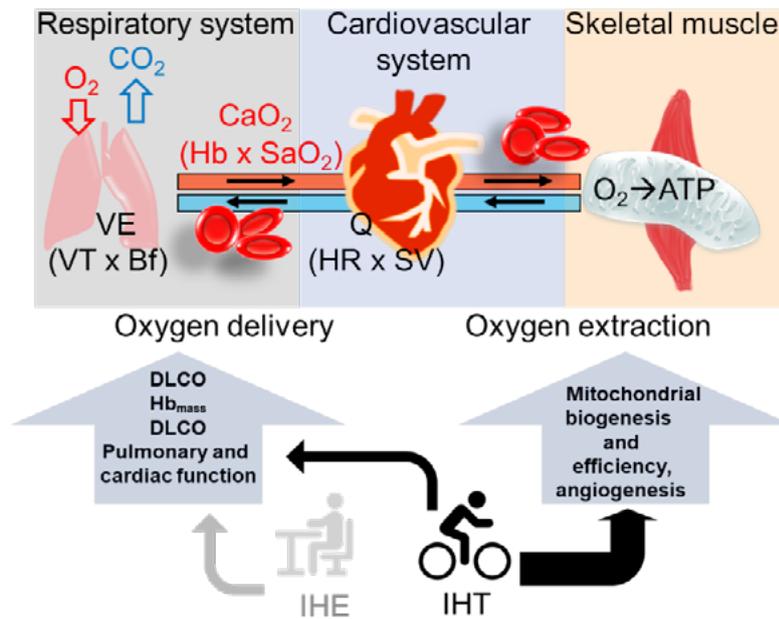


Fig. Suggested hypoxia effects of IHT and IHE on exercise tolerance by improving oxygen delivery and/or oxygen extraction in healthy individuals and patients suffering chronic diseases. IHT, intermittent hypoxic training; IHE, intermittent hypoxia exposure at rest; ATP, adenosine triphosphate; Bf, breathing frequency;  $\text{CaO}_2$ , arterial oxygen content; DLCO, lung diffusion capacity for carbon monoxide;  $\text{Hb}_{\text{mass}}$ , hemoglobin mass; HR, heart rate; Q, cardiac output; SV, stroke volume; VE, pulmonary minute ventilation; VT, tidal volume (the figure is original and composed by the authors). Рис. Предполагаемые гипоксические эффекты ИГТ и ИГЭ относительно переносимости физических нагрузок за счет улучшения доставки и/или извлечения кислорода у здоровых людей и пациентов, страдающих хроническими заболеваниями. ИГТ, интервальная гипоксическая тренировка; ИГЭ, интервальные гипоксические экспозиции в состоянии покоя; АТФ, аденозинтрифосфат; Bf, частота дыхания;  $\text{CaO}_2$ , содержание кислорода в артериальной крови; DLCO, диффузионная способность легких для оксида углерода;  $\text{Hb}_{\text{mass}}$ , масса гемоглобина; HR, частота сердечных сокращений; Q, сердечный выброс; SV, ударный объем; VE, минутная вентиляция легких; VT, дыхательный объем (рисунок оригинальный и составлен авторами).

However, it is necessary to reiterate the lack of convincing data on the positive effect of IHE on exercise tolerance and aerobic performance in professional athletes.

#### 4. Conclusion

Taking all the arguments presented together, we can conclude that IHT elicits more pronounced effects on exercise tolerance than IHE. While sedentary and elderly people or those suffering from chronic diseases may already benefit from IHE, IHT is more appropriate for young and trained people, professional athletes. Thus, intermittent hypoxic exposures at rest are well suited for those with low exercise tolerance and decreased fitness level, which can be followed by exercise training in normoxia and finally by IHT.

#### Author contributions:

**Burtscher Johannes** — writing the manuscript.

**Oleg S. Glazachev** — manuscript editing, adding literature sources.

**Kopp Martin** — collection of the relevant literature sources, processing the data.

**Burtscher Martin** — review conceptualization, review the manuscript.

Intermittent hypoxic exposures or intermittent hypoxic-hyperoxic exposures seems to induce specific small adaptations requiring only mild and well-tolerated hypoxic stress; it may improve autonomic regulatory processes, promote improvement of endothelial function and cardioprotection, increase antioxidant capacity, and provoke certain metabolic adaptations. Exercising in hypoxic environment (IHT) represents more pronounced metabolic and physical stress but accordingly also elicits more robust benefits at molecular, biochemical and systemic levels. The primary effects of IHT include adaptations within the skeletal muscle (such as the promotion of mitochondrial biogenesis and efficiency, and vascularization) as well as increasing the power of myocardial function and the stability of autonomic regulation, and require an exercise component in training modalities (see **Figure**).

#### Вклад авторов:

**Бурчер Йоханнес** — подготовка текста обзора.

**Глазачев Олег Станиславович** — анализ литературных источников, редактирование рукописи.

**Копп Мартин** — сбор релевантных литературных источников, подготовка текста рукописи.

**Бурчер Мартин** — концепция обзорной работы, общение результатов анализа литературных источников.

## References / Список литературы

1. **Burtscher M.** Exercise limitations by the oxygen delivery and utilization systems in aging and disease: coordinated adaptation and deadaptation of the lung-heart muscle axis - a mini-review. *Gerontology*. 2013;59(4):289–296. <https://doi.org/10.1159/000343990>
2. **Moore R.L., Thacker E.M., Kelley G.A., Musch T.I., Sinoway L.I., Foster V.L., et al.** Effect of training/detraining on submaximal exercise responses in humans. *J. Appl. Physiol.* (1985). 1987;63(5):1719–1724. <https://doi.org/10.1152/jap-1987.63.5.1719>
3. **Burtscher J., Strasser B., Burtscher M., Millet G.P.** The Impact of Training on the Loss of Cardiorespiratory Fitness in Aging Masters Endurance Athletes. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022;19(17):11050. <https://doi.org/10.3390/ijerph191711050>
4. **Davis J.A., Frank M.H., Whipp B.J., Wasserman K.** Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.* 1979;46(6):1039–1046. <https://doi.org/10.1152/jap-1979.46.6.1039>
5. **Hickson R.C., Hagberg J.M., Ehsani A.A., Holloszy J.O.** Time course of the adaptive responses of aerobic power and heart rate to training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1981;13(1):17–20. <https://doi.org/10.1249/00005768-198101000-00012>
6. **Hurley B.F., Hagberg J.M., Allen W.K., Seals D.R., Young J.C., Cuddihee R.W., Holloszy J.O.** Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.* 1984;56(5):1260–1264. <https://doi.org/10.1152/jap-1984.56.5.1260>
7. **Matsuo T., Saotome K., Seino S., Shimojo N., Matsushita A., Iemitsu M., et al.** Effects of a low-volume aerobic-type interval exercise on VO<sub>2</sub>max and cardiac mass. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2014;46(1):42–50. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3182a38da8>
8. **Vella C.A., Robergs R.A.** A review of the stroke volume response to upright exercise in healthy subjects. *Br. J. Sports Med.* 2005;39(4):190–195. <https://doi.org/10.1136/bjism.2004.013037>
9. **Rosenblat M.A., Granata C., Thomas S.G.** Effect of Interval Training on the Factors Influencing Maximal Oxygen Consumption: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2022;52(6):1329–1352. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01624-5>
10. **Burgomaster K.A., Heigenhauser G.J., Gibala M.J.** Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *J. Appl. Physiol.* (1985). 2006;100(6):2041–2047. <https://doi.org/10.1152/jap-physiol.01220.2005>
11. **Raleigh J.P., Giles M.D., Islam H., Nelms M., Bentley R.F., Jones J.H., et al.** Contribution of central and peripheral adaptations to changes in maximal oxygen uptake following 4 weeks of sprint interval training. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2018;43(10):1059–1068. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0864>
12. **Moon H.W., Sunoo S., Park H.Y., Lee D.J., Nam S.S.** Effects of various acute hypoxic conditions on metabolic parameters and cardiac function during exercise and recovery. *Springerplus*. 2016;5(1):1294. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2952-4>
13. **Burtscher M., Philadelphia M., Gatterer H., Burtscher J., Likar R.** Submaximal exercise testing at low altitude for prediction of exercise tolerance at high altitude. *J. Travel Med.* 2018;25(1). <https://doi.org/10.1093/jtm/tay011>
14. **Povea C., Schmitt L., Brugniaux J., Nicolet G., Richalet J.P., Fouillot J.P.** Effects of intermittent hypoxia on heart rate variability during rest and exercise. *High Alt. Med. Biol.* 2005;6(3):215–225. <https://doi.org/10.1089/ham.2005.6.215>
15. **Sharma A.P., Saunders P.U., Garvican-Lewis L.A., Clark B., Stanley J., Robertson E.Y., et al.** The Effect of Training at 2100-m Altitude on Running Speed and Session Rating of Perceived Exertion at Different Intensities in Elite Middle-Distance Runners. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2017;12 (Suppl 2):S2147–S2152. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0402>
16. **Terrados N., Jansson E., Sylvén C., Kaijser L.** Is hypoxia a stimulus for synthesis of oxidative enzymes and myoglobin? *J. Appl. Physiol.* (1985). 1990;68(6):2369–2372. <https://doi.org/10.1152/jap-1990.68.6.2369>
17. **Melissa L., MacDougall J.D., Tarnopolsky M.A., Cipriano N., Green H.J.** Skeletal muscle adaptations to training under normobaric hypoxic versus normoxic conditions. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1997;29(2): 238–243. <https://doi.org/10.1097/00005768-199702000-00012>
18. **Yu Q., Kong Z., Zou L., Chapman R., Shi Q., Nie J.** Comparative efficacy of various hypoxic training paradigms on maximal oxygen consumption: A systematic review and network meta-analysis. *J. Exerc. Sci. Fit.* 2023;21(4):366–375. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2023.09.001>
19. **Park H.Y., Jung W.S., Kim J., Hwang H., Lim K.** Efficacy of intermittent hypoxic training on hemodynamic function and exercise performance in competitive swimmers. *J. Exerc. Nutrition Biochem.* 2018;22(4):32–38. <https://doi.org/10.20463/jenb.2018.0028>
20. **Broskey N.T., Boss A., Fares E.J. et al.** Exercise efficiency relates with mitochondrial content and function in older adults. *Physiol. Rep.* 2015;3(6):e12418. <https://doi.org/10.14814/phy2.12418>
21. **Zhao Y.C., Guo W., Gao B.H.** Hypoxic training upregulates mitochondrial turnover and angiogenesis of skeletal muscle in mice. *Life Sci.* 2022;291:119340. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.119340>
22. **Ponsot E., Dufour S.P., Zoll J., Doutrelau S., N'Guessan B., Geny B. et al.** Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. II. Improvement of mitochondrial properties in skeletal muscle. *J. Appl Physiol* (1985). 2006;100(4):1249–1257. <https://doi.org/10.1152/jap-physiol.00361.2005>
23. **Geiser J., Vogt M., Billeter R., Zuleger C., Belforti F., Hoppeler H.** Training high--living low: changes of aerobic performance and muscle structure with training at simulated altitude. *Int. J. Sports Med.* 2001;22(8):579–585. <https://doi.org/10.1055/s-2001-18521>
24. **Robach P., Bonne T., Flück D., Bürgi S., Toigo M., Jacobs R.A. et al.** Hypoxic training: effect on mitochondrial function and aerobic performance in hypoxia. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2014;46(10):1936–1945. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000321>
25. **Bakkman L., Sahlin K., Holmberg H.C., Tonkonogi M.** Quantitative and qualitative adaptation of human skeletal muscle mitochondria to hypoxic compared with normoxic training at the same relative work rate. *Acta Physiol (Oxf)*. 2007;190(3):243–251. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2007.01683.x>
26. **Galvin H.M., Cooke K., Sumners D.P., Mileva K.N., Bowtell J.L.** Repeated sprint training in normobaric hypoxia. *Br. J. Sports Med.* 2013;47 (Suppl 1):i74–79. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092826>
27. **Arany Z., Foo S.Y., Ma Y., Ruas J.L., Bommi-Reddy A., Girnun G., et al.** HIF-independent regulation of VEGF and angiogenesis by the transcriptional coactivator PGC-1alpha. *Nature*. 2008;451(7181):1008–1012. <https://doi.org/10.1038/nature06613>
28. **Li J., Li Y., Atakan M.M., Kuang J., Hu Y., Bishop D.J., Yan X.** The Molecular Adaptive Responses of Skeletal Muscle to High-Intensity Exercise/Training and Hypoxia. *Antioxidants (Basel)*. 2020;9(8):656. <https://doi.org/10.3390/antiox9080656>

29. **Stickland M.K., Smith C.A., Soriano B.J., Dempsey J.A.** Sympathetic restraint of muscle blood flow during hypoxic exercise. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2009;296(5):R1538–1546. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.90918.2008>
30. **Haider T., Casucci G., Linser T., Faulhaber M., Gatterer H., Ott G., et al.** Interval hypoxic training improves autonomic cardiovascular and respiratory control in patients with mild chronic obstructive pulmonary disease. *J. Hypertens.* 2009;27(8):1648–1654. <https://doi.org/10.1097/hjh.0b013e32832c0018>
31. **Huang Z., Yang S., Li C., Xie X., Wang Y.** The effects of intermittent hypoxic training on the aerobic capacity of exercisers: a systematic review and meta-analysis. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation.* 2023;15(1):174. <https://doi.org/10.1186/s13102-023-00784-3>
32. **Gonchar O., Mankovska I.** Moderate hypoxia/hyperoxia attenuates acute hypoxia-induced oxidative damage and improves antioxidant defense in lung mitochondria. *Acta Physiol Hung.* 2012;99(4):436–446. <https://doi.org/10.1556/aphysiol.99.2012.4.8>
33. **Mallet R.T., Manukhina E.B., Ruelas S.S., Caffrey J.L., Downey H.F.** Cardioprotection by intermittent hypoxia conditioning: evidence, mechanisms, and therapeutic potential. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2018;315(2):H216–H232. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00060.2018>
34. **Manukhina E.B., Downey H.F., Shi X., Mallet R.T.** Intermittent hypoxia training protects cerebrovascular function in Alzheimer's disease. *Exp. Biol. Med.* (Maywood). 2016;241(12):1351–1363. <https://doi.org/10.1177/1535370216649060>
35. **Shatilo V.B., Korkushko O.V., Ischuk V.A., Downey H.F., Serebrovskaya T.V.** Effects of intermittent hypoxia training on exercise performance, hemodynamics, and ventilation in healthy senior men. *High Alt. Med. Biol.* 2008;9(1):43–52. <https://doi.org/10.1089/ham.2007.1053>
36. **Axson D., Cooper J.** Cognitive dissonance and psychotherapy: The role of effort justification in inducing weight loss. *J. Exp. Soc. Psychol.* 1985;21(2):149–160. [https://doi.org/10.1016/0022-1031\(85\)90012-5](https://doi.org/10.1016/0022-1031(85)90012-5)
37. **Camacho-Cardenosa A., Camacho-Cardenosa M., Burtcher J., Olivares P.R., Olcina G., Brazo-Sayavera J.** Intermittent Hypoxic Training Increases and Prolongs Exercise Benefits in Adult Untrained Women. *High Alt. Med. Biol.* 2024 May 8. <https://doi.org/10.1089/ham.2023.0127>
38. **Bernardi L.** Interval hypoxic training. In: **Roach R.C., Wagner P.D., Hackett P.H.** (eds). *Hypoxia: From Genes to the Bedside.* Boston, MA: Springer US; 2001, pp. 377–399. [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3401-0\\_25](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3401-0_25)
39. **Burtscher M., Tsvetkova A., Tkatchouk E., Brauchle G., Mitterbauer G., Gulyaeva N.** (eds), et al. Beneficial effects of short term hypoxia. In: *Proceedings of the 11th International Hypoxia Symposium* New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 1999, pp. 23–24.
40. **Katayama K., Matsuo H., Ishida K., Mori S., Miyamura M.** Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximal exercise efficiency. *High Alt. Med. Biol.* 2003;4(3):291–304. <https://doi.org/10.1089/152702903769192250>
41. **Burtscher M., Gatterer H., Faulhaber M., Gerstgrasser W., Schenk K.** Effects of intermittent hypoxia on running economy. *Int. J. Sports Med.* 2010;31(9):644–650. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1255067>
42. **Mekjavic I.B., Debevec T., Amon M., Keramidis M.E., Kounalakis S.N.** Intermittent normobaric hypoxic exposures at rest: effects on performance in normoxia and hypoxia. *Aviat. Space Environ. Med.* 2012;83(10):942–950. <https://doi.org/10.3357/asem.3332.2012>
43. **Miller A.J., Sauder C.L., Cauffman A.E., Blaha C.A., Leuenberger U.A.** Endurance training attenuates the increase in peripheral chemoreflex sensitivity with intermittent hypoxia. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2017;312(2):R223–R228. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00105.2016>
44. **Burtscher M., Pachinger O., Ehrenbourg I., Mitterbauer G., Faulhaber M.** et al. Intermittent hypoxia increases exercise tolerance in elderly men with and without coronary artery disease. *Int. J. Cardiol.* 2004;96(2):247–254. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2003.07.021>
45. **Burtscher M., Haider T., Domej W., Linser T., Gatterer H., Faulhaber M., et al.** Intermittent hypoxia increases exercise tolerance in patients at risk for or with mild COPD. *Respir. Physiol. Neurobiol.* 2009;165(1):97–103. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2008.10.012>
46. **Fu Q., Levine B.D.** Exercise and the autonomic nervous system. *Handb. Clin. Neurol.* 2013;117:147–160. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53491-0.00013-4>
47. **Bayer U., Likar R., Pinter G., Stettner H., Demschar S., Trummer B., et al.** Intermittent hypoxic-hyperoxic training on cognitive performance in geriatric patients. *Alzheimer's & Dementia: Translational Research & Clinical Interventions.* 2017;3(1):114–122. <https://doi.org/10.1016/j.trci.2017.01.002>
48. **Behrendt T., Bielitzki R., Behrens M., Glazachev O.S., Schega L.** Effects of Intermittent Hypoxia-Hyperoxia Exposure Prior to Aerobic Cycling Exercise on Physical and Cognitive Performance in Geriatric Patients-A Randomized Controlled Trial. *Front Physiol.* 2022;13:899096. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.899096>
49. **Behrendt T., Bielitzki R., Behrens M., Herold F., Schega L.** Effects of Intermittent Hypoxia-Hyperoxia on Performance- and Health-Related Outcomes in Humans: A Systematic Review. *Sports Med. Open.* 2022;8(1):70. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00450-x>

#### Information about the authors:

**Burtscher Johannes**, Institute of Sport Sciences, University of Lausanne, Batiment Synathlon, CH-1015, Lausanne, Switzerland (johannes.burtscher@unil.ch)

**Oleg S. Glazachev\***, Professor, Department of Normal Physiology, I.M. Sechenov First Moscow Medical University (Sechenov University), Trubetskaya Str. 8, bld.2, Moscow 119048, Russia (glazachev@mail.ru)

**Kopp Martin**, PhD, Professor, Department of Sport Sciences, Innsbruck University, Fürstenweg 1856, A-6020 Innsbruck, Austria (martin.burtscher@uibk.ac.at)

**Burtscher Martin**, PhD, Professor, Department of Sport Sciences, Innsbruck University, Fürstenweg 1856, A-6020 Innsbruck, Austria (martin.burtscher@uibk.ac.at)

#### Информация об авторах:

**Бурчер Йоханнес**, Институт спортивных наук, Университет Лозанны, ул. Батимент Синатлон СР-1015, Лозанна, Швейцария (martin.burtscher@uibk.ac.at)

**Глазачев Олег Станиславович\***, д.м.н., профессор кафедры нормальной физиологии ФГАУ ВО «Первый Московский медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), Россия, Москва 119048, ул.Трубецкая, 8, стр.2. SPIN-код: 6168-2110, Scopus ID 6603205182 (glazachev@mail.ru)

**Копп Мартин**, Профессор, кафедра спортивных наук, Университет Инсбрука, ул. Ферстенвег 1856, А-6020, Инсбрук, Австрия (martin.burtscher@uibk.ac.at)

**Бурчер Мартин**, Профессор, кафедра спортивных наук, Университет Инсбрука, ул. Ферстенвег 1856, А-6020, Инсбрук, Австрия (johannes.burtscher@unil.ch)

\* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.1>

УДК: 612.111:612.112:797.2

Тип статьи: Оригинальная статья/ Original Research



## Оценка функционального состояния организма высококвалифицированных пловцов на основе анализа корреляций и динамики показателей морфологического состава крови после нагрузочного тестирования

А.З. Даутова\*, Ф.А. Мавлиев, Д.А. Дрожецкий, А.А. Зверев, А.С. Назаренко

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма»,  
Казань, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель:** оценка связей и динамики гематологических показателей до и после нагрузочного тестирования у высококвалифицированных пловцов-спринтеров.

**Материалы и методы:** обследовано 16 высококвалифицированных пловцов мужского ( $n = 8$ ) и женского ( $n = 8$ ) пола в возрасте  $19,31 \pm 1,08$  года. У спортсменов проводили забор венозной крови до и после физической нагрузки. Оценивались основные эритроцитарные, лейкоцитарные и тромбоцитарные индексы на анализаторе Nihon Kohden MEK-7222 (Япония). В качестве физической нагрузки использовался ступенчато-возрастающий тест на эргометре до отказа. С помощью корреляционного анализа изучены взаимосвязи между показателями крови.

**Результаты:** установлено значительное варьирование гематологических показателей крови у спортсменов-пловцов как в покое, так и после физической нагрузки. Как у мужчин, так и у женщин с увеличением числа эритроцитов наблюдалось повышение гематокрита. При этом у женщин-спортсменок рост эритроцитарных показателей сопровождался снижением тромбоцитарных индексов. У пловцов-мужчин обнаружены обратные связи преимущественно только между лейкоцитарными индексами крови. У спортсменок количество прямых и обратных связей после нагрузочного тестирования сохранялось на том же уровне, что и в состоянии относительного покоя, тогда как у мужчин-пловцов после физической нагрузки уменьшалось количество прямых корреляций. Обратная зависимость между числом эритроцитов и их средним объемом как критерий наилучшей подготовленности спортсменов не обнаружена ни у женщин, ни у мужчин — пловцов.

**Заключение:** тренировочный эффект спортсменок проявлялся формированием различных взаимозависимостей между показателями крови, что свидетельствует о лучшей адаптации системы крови к тренировочным нагрузкам. Тогда как у мужчин-пловцов картина взаимосвязей указывает на наличие напряженности регуляторных механизмов.

**Ключевые слова:** гематология, гематологические индексы, адаптация, нагрузочное тестирование, пловцы

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания (НИОКТР 123100600294-2).

**Для цитирования:** Даутова А.З., Мавлиев Ф.А., Дрожецкий Д.А., Зверев А.А., Назаренко А.С. Оценка функционального состояния организма высококвалифицированных пловцов на основе анализа корреляций и динамики показателей морфологического состава крови после нагрузочного тестирования. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(2):24–33. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.1>

Поступила в редакцию: 01.06.2024

Принята к публикации: 26.07.2024

Online first: 08.10.2024

Опубликована: 15.12.2024.

\* Автор, ответственный за переписку

# Assessment of the functional state of the body of highly qualified swimmers based on the analysis of correlations and dynamics of indicators of the morphological composition of the blood after the stress test

Al'bina Z. Dautova\*, Fanis A. Mavliev, Dmitry A. Drozhetsky, Alexey A. Zverev, Andrey S. Nazarenko

Volga Region State University, Kazan, Russia

## ABSTRACT

**Objective:** to evaluate the interactions and dynamics of hematological parameters before and after exercise testing in high performance sprint swimmers.

**Materials and methods:** 16 male ( $n = 8$ ) and female ( $n = 8$ ) high-performance swimmers ( $19.31 \pm 1.08$  years) were studied. Venous blood samples were taken before and after exercise. Erythrocyte, leukocyte and platelet indices were assessed. Physical activity was a stepwise incremental test on an ergometer until failure.

**Results:** a significant variation in hematological blood parameters was found in the swimmers both at rest and after exercise. In both men and women an increase in haematocrit was observed with an increase in erythrocyte count. The increase in erythrocyte indices was accompanied by a decrease in platelet indices in female athletes. In males, inverse relationships were mainly found only between the leukocyte blood indices. In female athletes, the number of direct and feedback correlations after exercise remained at the same level as at rest, whereas in men the number of direct correlations decreased after exercise.

**Conclusion:** the training effect in females was manifested by the formation of several interdependencies between blood parameters, indicating a better adaptation of the blood system to the training load. In men, on the other hand, the pattern of relationships indicates the presence of tension in the regulatory mechanisms.

**Keywords:** hematology, hematologic indices, adaptation, stress testing, swimmers

**Acknowledgements:** The work was carried out as part of a government contract (№123100600294-2).

**For citation:** Dautova A.Z, Mavliev F.A., Drozhetsky D.A., Zverev A.A., Nazarenko A.S. Assessment of the functional state of the body of highly qualified swimmers based on the analysis of correlations and dynamics of indicators of the morphological composition of the blood after the stress test. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(2):24–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.1>

**Received:** 01 June 2024

**Accepted:** 26 July 2024

**Online first:** 08 October 2024

**Published:** 15 December 2024

\*Corresponding author

## 1. Введение

Система крови занимает одно из ведущих мест в энергетическом обеспечении мышечной деятельности, формировании различных путей и способов адаптации организма к действию физических нагрузок [1–5]. Параметры крови также используются для оценки состояния здоровья, выявления хронического стресса, воспаления, усталости или предотвращения травм у спортсменов [6].

Количественные показатели красной крови могут давать информацию о состоянии дыхательной функции крови и обеспеченности крови кислородом. К тому же эритроциты способствуют расширению кровеносных сосудов и усилению кровотока через работающие мышцы путем высвобождения аденозинтрифосфата (АТФ) и оксида азота (NO), а гемоглобин (Hb) поддерживает рН крови путем транспорта диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) и ионов водорода ( $\text{H}^+$ ) в форме ионов бикарбоната ( $\text{HCO}_3^-$ ) [7]. Изучение лейкоцитарного звена крови позволяет оценить переносимость тренировочных нагрузок и наличие перенапряжения иммунной системы [6, 8, 9], а также позволяет прогнозировать функциональный ответ организма спортсмена на физические нагрузки

[10]. Косвенную информацию о скорости кровотока можно получить, исследуя тромбоцитарное звено [11].

Однако на сегодня основные представления о диагностической значимости гематологических параметров в физиологии спортивной деятельности сводятся к тому, насколько они укладываются в диапазон нормальных для здоровых лиц величин, а их постнагрузочные сдвиги неоднозначны и объясняются в основном фазовыми перераспределительными реакциями [3, 4, 10].

Несмотря на то что влияние физических нагрузок на гематологические параметры в литературе описано достаточно подробно [1, 3, 4, 10, 12], исследований, посвященных изучению изменений гематологических показателей, вызванных физической нагрузкой, у квалифицированных пловцов-спринтеров в настоящее время, вероятнее всего, не существует. В связи с этим представляется актуальным изучение изменений параметров крови при выполнении упражнений возрастающей интенсивности у пловцов-спринтеров.

**Цель исследования:** оценка связей и динамики гематологических показателей до и после нагрузочно-го тестирования у высококвалифицированных пловцов-спринтеров.

## 2. Методы исследования

### Участники

В исследовании приняли участие 16 высококвалифицированных пловцов мужского ( $180,75 \pm 7,69$  см,  $70,62 \pm 8,50$  кг) и женского ( $176,37 \pm 5,29$  см,  $64,87 \pm 3,91$  кг) пола в возрасте  $19,31 \pm 1,08$  года, специализирующиеся на коротких дистанциях (50–100 м), являющихся призерами всероссийских соревнований и чемпионатов Российской Федерации. На момент обследования 15 спортсменов являлись мастерами спорта, один — кандидатом в мастера спорта.

Перед проведением нагрузочного тестирования и забора крови спортсмены проходили осмотр у спортивного врача. Критерием включения в обследование являлось отсутствие симптомов респираторных, хронических заболеваний в стадии обострения и других воспалительных процессов на момент осмотра. Также все испытуемые прошли ежегодный углубленный медицинский осмотр, по результатам которого были отнесены к I группе здоровья. Исследование проводилось на подготовительном этапе тренировочного цикла. У всех спортсменов еженедельный объем тренировок составлял  $74,6 \pm 2,96$  км/нед.<sup>-1</sup>. Обследуемые были проинформированы о целях и задачах исследования и подписали добровольное согласие на участие. Протокол исследования одобрен Этическим комитетом (протокол № 2, от 26.05.2023 г.).

### Гематологический анализ

Образцы крови получали методом пункции асептическим методом из вены локтевой ямки. Забор крови проводился натощак в утренние часы на следующий день после дня отдыха (без тренировок). Для гематологического исследования использовали пробирки Vacutainer (3 мл) с ЭДТА-К3 в качестве антикоагулянта. На автоматическом гематологическом анализаторе Nihon Kohden MEK-7222 (Япония) проводили оценку эритроцитарных, лейкоцитарных и тромбоцитарных индексов. Определяли число эритроцитов (RBC,  $10^{12}/л$ ), средний объем эритроцитов (MCV, фл), общее содержание гемоглобина (HGB, г/л), гематокрит (HCT, %), среднее содержание (MCH, пг) и концентрацию гемоглобина в клетке (MCHC, г/л), ширину распределения эритроцитов (RDW, %CV), число лейкоцитов (WBC,  $10^9/л$ ), абсолютное и относительное содержание нейтрофилов (NE,  $10^9/л$  и %), лимфоцитов (LY,  $10^9/л$  и %), моноцитов (MO,  $10^9/л$  и %), эозинофилов (EO,  $10^9/л$  и %), базофилов (BA,  $10^9/л$  и %), число тромбоцитов (PLT,  $10^9/л$ ), гематокрит (PCT, %), средний объем тромбоцитов (MPV, фл), ширину распределения тромбоцитов (PDW, %).

### Нагрузочное тестирование

Применялось нагрузочное тестирование с повышающейся нагрузкой: двухминутная разминка, тестовая нагрузка с динамикой возрастания 1 км/ч в минуту начиная с 7 км/ч. В конце проводилась двухминутная заминка.

Тестовый стенд представлял собой тредбан Cosmos Quasar и газоанализатор Metalyzer 3B (Германия).

### Статистический анализ

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета программ Microsoft Office Excel и Statistics 10.0 (StatSoft Inc., США). Количественные данные были проверены на нормальность распределения с помощью теста Шапиро — Уилка. Данные, имеющие нормальное распределение, были представлены в виде среднего значения ( $M$ ), стандартного отклонения ( $SD$ ), минимального (Min) и максимального (Max) значения. Данные, не подчиняющиеся законам нормального распределения, — в виде медианы ( $Me$ ) и границы процентов [Q1; Q4]. Также рассчитывался коэффициент вариации показателей.

Для выявления корреляций между гематологическими параметрами применяли ранговый коэффициент корреляции Спирмена ( $r$ ). Проверку статистических гипотез о статистической значимости различий средних величин осуществляли с использованием  $t$ -критерия Стьюдента для зависимых выборок и критерия Вилкоксона. Статистически значимыми считали различия при  $p < 0,05$ .

### 3. Результаты исследования

В состоянии относительного покоя у спортсменок средние значения и медиана показателей крови находились в пределах физиологической нормы (табл. 1). Однако у нескольких спортсменок значения некоторых гематологических параметров выходили за пределы референсного уровня, что, возможно, обусловлено неодинаковыми адаптационными возможностями организма к тренировочным нагрузкам. У всех спортсменок значение PDW было на уровне верхней границы нормы ( $17,7 \pm 0,33\%$ ) и у одной спортсменки выходило за пределы референсного уровня (18,3 фл), также у данной спортсменки наблюдался более низкий уровень HCT (34%). У одной из обследованных спортсменок была повышена концентрация гемоглобина в крови (148 г/л) (табл. 1).

После выполнения нагрузочного тестирования на эргометре у спортсменок наблюдалось повышение абсолютных показателей белой крови ( $p < 0,001$ ), количественных показателей красной крови ( $p < 0,01$ ), рост среднего объема тромбоцитов ( $p < 0,05$ ), величины гематокрита ( $p < 0,001$ ) и снижение относительного значения эозинофилов ( $p < 0,01$ ). Индивидуальный анализ гематологических индексов сразу после выполнения предельной физической нагрузки позволил установить, что у одной из обследованных спортсменок наблюдалось снижение эритроцитов, гемоглобина, гематокрита относительно уровня покоя на фоне повышения числа тромбоцитов, гематокрита и значительного повышения СОЭ (табл. 1).

Средние значения и медиана гематологических индексов у пловцов мужского пола находились в пределах

Таблица 1

Сравнительный анализ параметров крови у женщин-пловцов до и после ступенчато повышающейся нагрузки

Table 1

Comparative analysis of blood parameters in female swimmers before and after a gradually increasing exercise load

Показатель	До нагрузки				После нагрузки				Референсный диапазон
	M/Me	SD/Q1; Q2	Min	Max	M/Me	SD/Q1; Q2	Min	Max	
WBC (10 <sup>9</sup> /л)	<b>5,15*</b>	1,02	3,70	7,00	<b>10,20*</b>	2,61	7,10	13,90	4–9
NE (10 <sup>9</sup> /л)	<b>2,81*</b>	0,66	1,80	3,80	<b>5,18*</b>	1,74	3,60	9,10	1,7–7,7
LY (10 <sup>9</sup> /л)	<b>1,76*</b>	0,46	1,20	2,60	<b>3,90*</b>	1,66	2,60	7,40	0,4–4,4
MO (10 <sup>9</sup> /л)	<b>0,39*</b>	0,08	0,30	0,50	<b>0,86*</b>	0,31	0,50	1,30	0,0–0,8
EO (10 <sup>9</sup> /л)	0,10	0,10; 0,10	0,10	0,20	0,10	0,10; 0,15	0,10	0,30	0,0–0,6
BA (10 <sup>9</sup> /л)	0,10	0,05; 0,10	0,00	0,10	0,10	0,10; 0,15	0,10	0,20	0,0–0,2
NE (%)	54,90	51,65; 56,80	50,50	68,20	50,90	45,10; 57,95	34,30	66,50	42–74
LY (%)	33,94	5,07	23,40	39,20	37,83	9,18	26,10	53,60	18–40
MO (%)	7,19	1,37	5,00	8,70	8,5	2,10	5,80	11,60	0,0–11
EO (%)	<b>1,95*</b>	1,35; 2,10	1,20	4,60	<b>1,20*</b>	0,90; 1,45	0,80	3,70	0,0–6,0
BA (%)	1,13	0,47	0,50	2,10	1,11	0,26	0,80	1,50	0,0–1,0
RBC (10 <sup>12</sup> /л)	<b>4,24*</b>	0,30	3,92	4,71	<b>4,38*</b>	0,24	4,10	4,83	3,6–4,6
HGB (г/л)	<b>129,63*</b>	8,85	121,00	148,00	<b>135,00*</b>	5,61	128,00	145,00	120–147
HCT (%)	<b>36,91*</b>	2,23	34,00	41,10	<b>38,30*</b>	1,48	36,20	40,90	35,2–46,7
MCV (фл)	88,5	86,25; 89,80	78,60	90,70	88,70	86,75; 90,20	78,70	91,30	80–100
MCH (пг)	31,30	30,35; 31,80	26,50	31,90	31,50	30,50; 31,80	27,30	32,20	27,0–32,0
MCHC (г/л)	351,00	7,19	338,00	360,00	352,63	5,32	347,00	362,00	320–360
RDW (%CV)	12,80	12,55; 13,15	12,20	14,90	12,90	12,60; 13,40	12,30	14,90	10,0–16,5
PLT (10 <sup>9</sup> /л)	240,75	46,63	182,00	317,00	294,38	49,65	202,00	361,00	180–350
PCT (%)	<b>0,18*</b>	0,04	0,14	0,23	<b>0,23*</b>	0,04	0,19	0,27	0,19–0,40
MPV (фл)	<b>7,45*</b>	1,21	5,50	9,30	<b>7,78*</b>	1,33	5,60	9,60	5,0–10,0
PDW (%)	17,70	0,33	17,10	18,30	17,54	0,51	16,80	18,40	12,0–18,0
СОЭ (мм/ч)	<b>3,63*</b>	2,26	1,00	8,00	<b>11,75*</b>	5,23	4,00	19,00	0–20

Примечание: \* — статистически значимое изменение показателя после физической нагрузки,  $p < 0,05$ .

физиологической нормы (табл. 2). Но при этом минимальные и максимальные значения указывают на значительную вариацию некоторых параметров, в большей степени выраженные в отношении параметров белой крови. Наибольшая вариация установлена для абсолютного содержания BA (61,7%), относительного содержания EO (66,9%). У большинства спортсменов на уровне верхней границы нормы находились относительное содержание MO, EO и BA (11,1%, 6,3%, 1,4%) (табл. 2).

Для оценки взаимосвязи гематологических параметров в состоянии относительного покоя и после выполнения нагрузочного тестирования был проведен корреляционный анализ (рис. 1 и 2).

В прямой зависимости между собой в состоянии покоя у спортсменок находились WBC с абсолютным содержанием NE ( $p = 0,01$ ), LY ( $p = 0,03$ ) и MO ( $p = 0,03$ ),

величина HCT с RBC ( $p = 0,006$ ), содержанием HGB ( $p = 0,019$ ) и PCT ( $p = 0,039$ ), PCT с относительным содержанием LY ( $p = 0,01$ ), RBC ( $p = 0,009$ ) и HCT ( $p = 0,03$ ), а также MCV с MCH ( $p = 0,008$ ). В этой группе обратные взаимосвязи выявлялись между PDW с RBC ( $p = 0,01$ ), HCT ( $p = 0,02$ ) и PCT ( $p = 0,02$ ), RDW с MCH ( $p = 0,014$ ) и MCHC ( $p = 0,013$ ), а также относительным содержанием NE с LY ( $p = 0,001$ ) и PCT ( $p = 0,01$ ) (рис. 1 а).

После физической нагрузки картина взаимосвязи гематологических показателей у спортсменок меняется, но при этом суммарное количество прямых и обратных связей сохранялось прежним. В прямой зависимости между собой после физической нагрузки наиболее часто находились WBC с абсолютным содержанием NE ( $p = 0,04$ ), LY ( $p = 0,021$ ), MO ( $p = 0,021$ ), PLT ( $p = 0,028$ ) и СОЭ ( $p = 0,009$ ); СОЭ с абсолютным содержанием

Таблица 2

## Сравнительный анализ параметров крови у мужчин-пловцов до и после ступенчато повышающейся нагрузки

Table 2

## Comparative analysis of blood parameters in male swimmers before and after a gradually increasing exercise load

Показатель	До нагрузки				После нагрузки				Референсный диапазон
	M/Me	SD/Q1; Q2	Min	Max	M/Me	SD/Q1; Q2	Min	Max	
WBC (10 <sup>9</sup> /л)	<b>4,75*</b>	4,30; 5,85	4,10	13,30	<b>9,10*</b>	6,90;10,5	6,30	15,60	4–9
NE (10 <sup>9</sup> /л)	<b>2,35*</b>	2,0; 3,50	1,90	11,20	<b>3,95*</b>	3,0; 5,15	2,50	12,60	1,7–7,7
LY (10 <sup>9</sup> /л)	<b>1,64*</b>	0,39	1,20	2,30	<b>3,34*</b>	1,24	1,80	5,40	0,4–4,4
MO (10 <sup>9</sup> /л)	<b>0,45*</b>	0,17	0,20	0,80	<b>0,83*</b>	0,20	0,50	1,10	0,0–0,8
EO (10 <sup>9</sup> /л)	0,10	0,10; 0,15	0,10	0,30	0,20	0,10; 0,20	0,10	0,40	0,0–0,6
BA (10 <sup>9</sup> /л)	0,10	0,05; 0,10	0,00	0,10	0,10	0,10; 0,10	0,10	0,10	0,0–0,2
NE (%)	<b>55,79*</b>	14,01	42,90	84,10	<b>49,44*</b>	14,99	35,80	81,30	42–74
LY (%)	<b>32,51*</b>	12,03	9,10	44,10	<b>38,48*</b>	13,24	11,40	53,00	18–40
MO (%)	<b>8,00*</b>	1,75	5,70	11,10	<b>8,90*</b>	1,89	6,20	11,80	0,0–11
EO (%)	2,68	1,79	0,70	6,30	2,11	1,54	0,70	5,30	0,0–6,0
BA (%)	1,05	1,0; 1,30	0,10	1,40	1,20	0,80; 1,35	0,40	1,50	0,0–1,0
RBC (10 <sup>12</sup> /л)	4,93*	0,27	4,57	5,29	5,08*	0,30	4,56	5,42	4,1–5,2
HGB (г/л)	153,00	10,92*	138,00	173,00	157,88*	10,99	144,00	176,00	120–160
HCT (%)	43,13	2,73*	39,10	47,60	44,50*	2,76	40,40	48,50	40,0–50,0
MCV (фл)	87,45	2,04	84,40	90,00	87,60	1,89	85,10	90,00	80–100
MCH (пг)	31,01	0,93	29,80	32,70	31,09	1,05	29,30	32,70	27,0–32,0
MCHC (г/л)	354,50	5,61	343,00	363,00	354,50	6,23	344,00	363,00	320–360
RDW (%CV)	12,84	0,38	12,20	13,40	12,88	0,51	12,20	13,60	10,0–16,5
PLT (10 <sup>9</sup> /л)	189,50	36,02*	142,00	247,00	239,25*	56,97	156,00	307,00	180–350
PCT (%)	0,12	0,02*	0,10	0,15	0,17*	0,04	0,11	0,22	0,19–0,40
MPV (фл)	6,43	0,83*	5,30	7,80	6,93*	0,92	5,60	8,60	5,0–10,0
PDW (%)	17,51	0,46	17,00	18,40	17,74	0,32	17,30	18,30	12,0–18,0
СОЭ (мм/ч)	3,38	1,69*	1,00	6,00	9,13*	5,94	2,00	17,00	0–15

Примечание: \* — статистически значимое изменение показателя после физической нагрузки,  $p < 0,05$ .

LY ( $p = 0,004$ ) и MO ( $p = 0,018$ ), а также HCT с HGB ( $p = 0,0006$ ) и MCV с MCH ( $p = 0,03$ ). Наибольшее количество обратных связей было установлено между PLT с WBC ( $p = 0,01$ ) и абсолютным числом NE ( $p = 0,028$ ), PDW с содержанием HGB ( $p = 0,014$ ) и HCT ( $p = 0,015$ ), RDW с относительным содержанием MO ( $p = 0,0002$ ), а также BA ( $p = 0,04$ ) и MCHC ( $p = 0,008$ ) (рис. 1 б).

У мужчин-пловцов в состоянии относительного покоя наибольшее количество прямых связей установлено между абсолютным содержанием EO с относительным (EO%) ( $p = 0,025$ ), MCH ( $p = 0,025$ ) и MCHC ( $p = 0,021$ ), PCT ( $p = 0,039$ ) и СОЭ ( $p = 0,024$ ), RBC с абсолютным и относительным содержанием BA ( $p = 0,03$  и  $p = 0,037$  соответственно), HGB ( $p = 0,00006$ ), HCT ( $p = 0,00026$ ) и PCT ( $p = 0,028$ ), а также HGB с абсолютным числом BA ( $p = 0,028$ ), относительным содержанием MO ( $p = 0,044$ ),

RBC ( $p = 0,00006$ ), HCT ( $p = 0,0001$ ) и PCT ( $p = 0,012$ ). Обратные связи были обнаружены между NE% с абсолютным ( $p = 0,025$ ) и относительным содержанием LY ( $p = 0,001$ ), EO ( $p = 0,038$  и  $p = 0,01$  соответственно) и СОЭ ( $p = 0,048$ ), а также LY% с WBC ( $p = 0,04$ ), абсолютным содержанием NE ( $p = 0,019$ ), MO ( $p = 0,012$ ) и MCH с RDW ( $p = 0,031$ ) (рис. 2 а).

Картина взаимосвязей гематологических показателей после физической нагрузки у мужчин-пловцов не имела явно выраженных отличий от корреляций, наблюдаемых в покое. В то же время у них уменьшалось количество прямых связей между параметрами крови после физической нагрузки. Наибольшее количество прямых связей обнаруживалось между HGB с MO% ( $p = 0,028$ ), RBC ( $p = 0,028$ ), HCT ( $p = 0,00003$ ), PLT ( $p = 0,0008$ ) и PCT ( $p = 0,012$ ), PCT с абсолютным

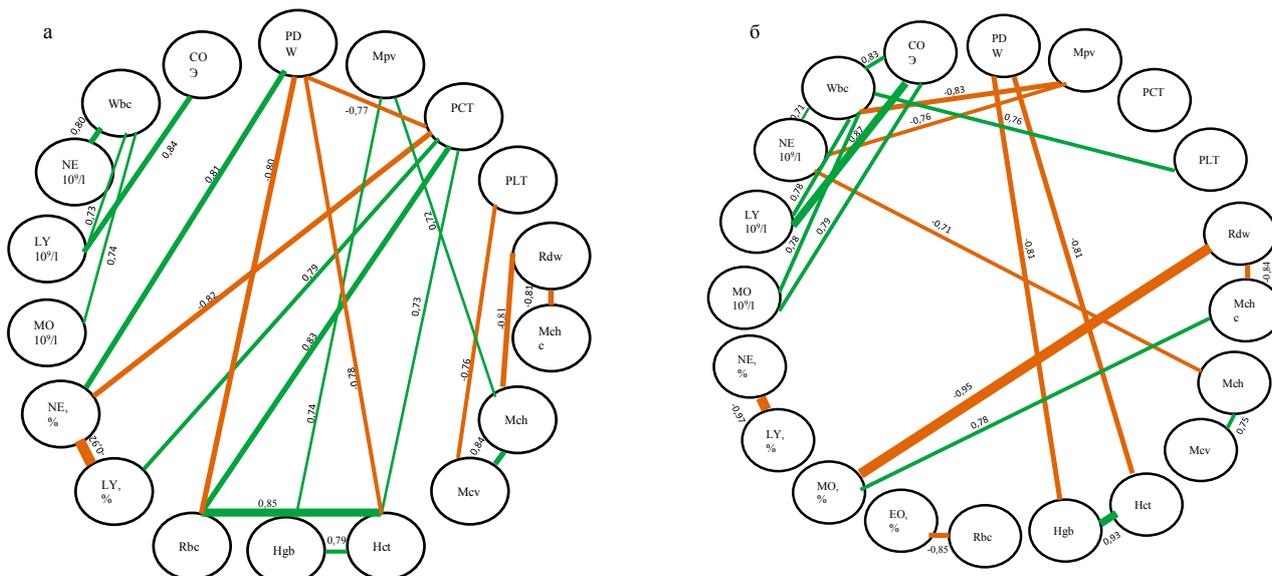


Рис. 1. Сетевое представление корреляционных связей между параметрами крови у женщин, занимающихся плаванием: а — в состоянии относительного покоя; б — после нагрузочного тестирования.

Примечание: цвет линий обозначает направление связи, толщина линий — силу корреляций:

- положительная взаимосвязь между параметрами;
- отрицательная взаимосвязь между параметрами.

На рисунке представлены только статистически значимые корреляции,  $p < 0,05$ .

Fig. 1. Network representation of correlations between blood parameters in women swimming: a — at relative rest; b — after exercise testing.

Note: the colour of the lines is an indication of the direction of the correlation, and the thickness of the lines an indication of the strength of the correlation:

- positive correlation between parameters;
- negative relationship between parameters.

Figure shows only statistically significant correlations,  $p < 0.05$ .

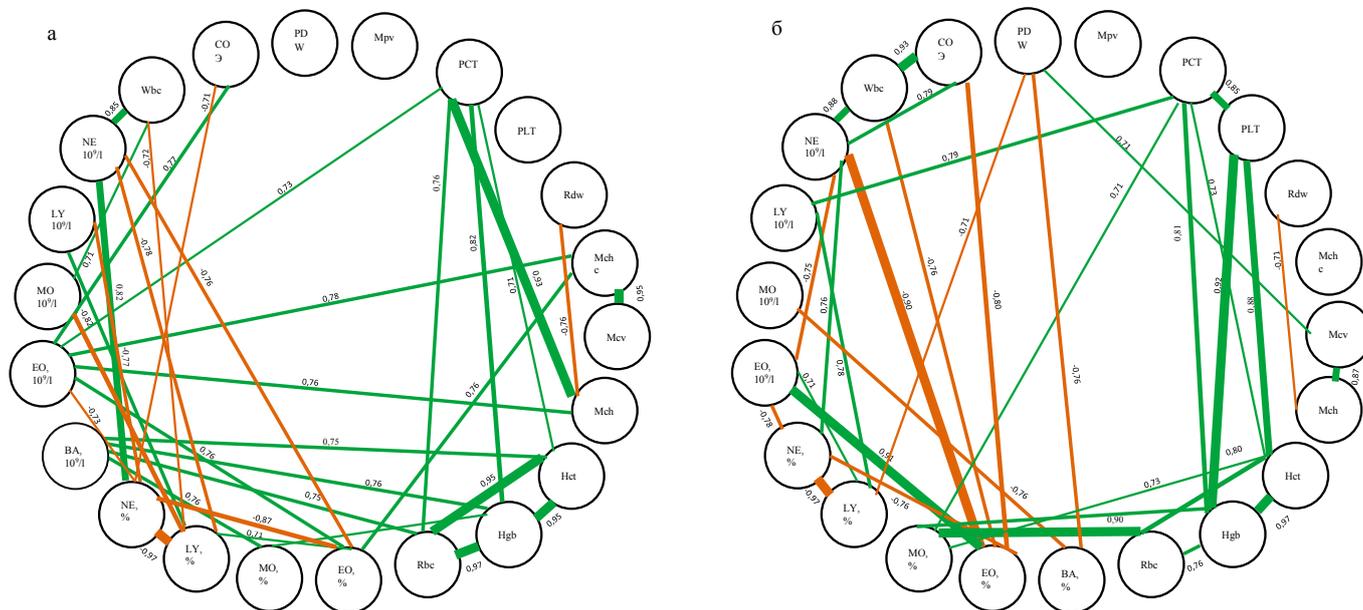


Рис. 2. Сетевое представление корреляционных связей между параметрами крови у мужчин-пловцов: а — в состоянии относительного покоя; б — после ступенчато повышающейся нагрузки.

Примечание: цвет линий обозначает направление связи, толщина линий обозначает силу корреляций:

- положительная взаимосвязь между исследуемыми параметрами;
- отрицательная взаимосвязь между исследуемыми параметрами.

На рисунке представлены только статистически значимые корреляции,  $p < 0,05$ .

Fig. 2. Network representation of correlations between blood parameters in men swimming: a — at relative rest; b — after exercise testing.

Note: the colour of the lines is an indication of the direction of the correlation, and the thickness of the lines an indication of the strength of the correlation:

- positive correlation between parameters;
- negative relationship between parameters.

Figure shows only statistically significant correlations,  $p < 0.05$ .

содержанием LY ( $p = 0,018$ ), относительным содержанием MO ( $p = 0,04$ ), HGB ( $p = 0,012$ ), HCT ( $p = 0,027$ ) и PLT ( $p = 0,006$ ), а также MCV с MCH ( $p = 0,004$ ) и PDW ( $p = 0,04$ ). Обратные связи обнаруживались между EO % с WBC ( $p = 0,02$ ), абсолютным и относительным содержанием NE ( $p = 0,002$  и  $p = 0,028$  соответственно), с COЭ ( $p = 0,016$ ), а также PDW с относительным содержанием LY ( $p = 0,04$ ), BA ( $p = 0,04$ ) и LY % с NE % ( $p = 0,00003$ ) и PDW ( $p = 0,04$ ).

#### 4. Обсуждение результатов

У пловцов как мужского, так и женского пола были обнаружены отклонения от физиологической нормы значений некоторых гематологических индексов. Как известно, под влиянием тренировочной деятельности показатели крови могут варьировать в широких пределах и, в отдельных случаях, находиться выше или ниже границ нормы [3, 4]. Однако изменения многих показателей крови, вызванные интенсивными физическими упражнениями, тренировками и соревнованиями, не следует рассматривать как патологические [12]. Тем не менее считается, что чем более адаптирован спортсмен к физическим нагрузкам, тем меньше вариабельность показателей крови [1].

По результатам настоящего исследования, наибольший коэффициент вариации наблюдался у лейкоцитарных индексов (у женщин вариация достигала 62%, у мужчин — 87%); в меньшей степени варьировали эритроцитарные индексы (2–7% как у мужчин, так и у женщин), тромбоцитарные индексы варьировали от 1,86% (PDW) до 23,83% (PCT).

Индивидуальный анализ показал, что в состоянии относительного покоя у одной спортсменки содержание HGB превышало физиологическую норму. После нагрузочного тестирования его уровень снижался относительно покоя, но при этом он продолжал оставаться выше референсного диапазона. У трех спортсменок величина HCT была ниже референсного уровня. Снижение уровня HGB под влиянием тренировочных нагрузок некоторыми авторами рассматривается в качестве важного индикатора плохой переносимости тренировочных нагрузок [13]. Сообщалось, что HGB и HCT снижаются в периоды более интенсивных тренировок на протяжении всего сезона. В различных видах спорта снижение HGB в течение соревновательного сезона колеблется от 3 до 8%, а содержание ретикулоцитов — от 5 до 21% [14]. Исследования, проводимые с участием пловцов, продемонстрировали, что значительные изменения эритроцитарных индексов (снижение HCT и MCV) наблюдались в период, когда они проводили тренировки на выносливость со средним ежедневным объемом 7054 м в течение трех недель [15].

По результатам данного исследования, у пловцов мужского пола значение HGB было либо в пределах физиологической нормы, либо превышало референсный уровень, а также сопровождалось повышением других

эритроцитарных индексов. Известно, что к повышению HCT у спортсменов приводят различные ситуации, связанные не только со спецификой тренировочного процесса, но и микроповреждениями мышц и отсроченной мышечной болезненностью [8]. Высокий уровень HCT повышает вязкость крови, что может вызвать дополнительную нагрузку на сердце и, следовательно, увеличить риск перенапряжения миокарда [7, 16].

Наиболее благоприятным механизмом адаптации организма к физическим нагрузкам является повышение объема циркулирующей крови и плазмы, а также MCH за счет ускорения процессов осмоса, способствующих выходу жидкости из эритроцитов в плазму [17]. Исходя из этих позиций, уменьшение MCV может быть проявлением лучшей адаптации организма к физической нагрузке [10], тогда как рост корпускулярного объема эритроцитов может рассматриваться как один из ранних признаков дефицита железа или витамина B12 [18]. Таким образом, в качестве главного фактора оценки эффективности тренировочного процесса и лучшей подготовленности спортсменов некоторыми авторами используется наличие в результатах анализа крови отрицательной взаимосвязи между числом эритроцитов и их средним эффективным объемом [1, 10].

В проведенном исследовании в обеих обследованных группах не обнаружена обратная связь между числом эритроцитов и их средним объемом ни в состоянии относительного покоя, ни после выполнения физической нагрузки. Это может указывать на ухудшение процессов внутрисистемной регуляции, регламентирующих увеличение HCT, от величины которого в значительной степени зависят реология крови, а значит, и доставка кислорода к работающим органам и тканям. В то же время индивидуальный анализ эритроцитарных индексов позволил установить, что у трех пловцов отмечалось уменьшение среднего корпускулярного объема эритроцитов, и при этом увеличение RBC и MCH.

Mujika и соавт. наблюдали значительное повышение HGB, MCV, MCH и MCHC у пловцов-мужчин, принимавших участие в 12-недельной программе тренировок с пиковым еженедельным объемом  $50,0 \pm 18,9$  км/нед.<sup>-1</sup> [19]. В исследовании Santhiago и соавт. было показано, что в период высокоинтенсивных тренировок, когда спортсмены выполняли самый высокий общий ежедневный объем нагрузок (8004 метров в сутки) и начинали серию высокоинтенсивных тренировок, включающих нагрузки выше анаэробного порога, уменьшался объем плазмы и увеличивался HCT и MCV [15]. Пловцы, принявшие участие в проведенном исследовании, также имели высокий общий еженедельный объем нагрузок ( $74,6 \pm 2,96$  км в неделю). При этом реакция на кратковременную, но предельную нагрузку характеризовалась повышением только количественных параметров красной крови (RBC, HCT, HGB), а качественные показатели крови (MCH, MCHC, MCV) сохранялись практически на том же уровне, что и в покое. В целом это согласуется

с результатами исследования Santhiago и соавт., где в период интенсивных тренировок у мужчин-пловцов показатели МСН, МСНС и МСV приближались к значениям покоя, но при этом число эритроцитов и содержание гемоглобина превосходило уровень покоя [15].

Анализ корреляционных связей спортсменок продемонстрировал наличие разнонаправленных корреляций между различными индексами крови как в состоянии покоя, так и после выполнения физической нагрузки. Считается, что чем чаще и больше обнаруживаются обратные корреляции между параметрами крови, тем лучше адаптирован спортсмен, т.к. напряжение, приходящееся на функции различных звеньев крови, распределяется равномерно и позволяет глубже проявлять свои потенциальные возможности [10]. Наиболее важными являются связи, описывающие реологические характеристики крови, ее проходимость по капиллярам [20]. И наоборот, снижение или отсутствие числа обратных корреляционных связей может свидетельствовать о нарастании напряженности регуляторных механизмов. Количество прямых корреляций внутри эритроцитарного звена может указывать на повышение кислородной емкости крови и отражать эффективность тренировочного процесса. Так, у мужчин количество прямых корреляционных связей между показателями крови было больше, в том числе и внутри эритроцитарного звена, по сравнению с количеством положительных корреляций у женщин. При этом после выполнения физической нагрузки их число уменьшилось. Количество обратных корреляций было одинаковым как до, так и после выполнения физической нагрузки.

Под влиянием нагрузочного тестирования (с повышением до уровня максимального потребления кислорода) практически у всех спортсменов как мужского, так и женского пола возрастало число WBC, что в целом согласуется с данными литературы о повышении лейкоцитов после выполнения физической нагрузки [21, 22]. В то же время имеются данные литературы, указывающие на отсутствие существенных изменений уровней лейкоцитов, эозинофилов, лимфоцитов и моноцитов у мужчин и женщин — пловцов в течение 14-недельной программы тренировок [15]. Лейкоцитоз при кратковременной и интенсивной нагрузке в основном вызван увеличением количества лимфоцитов и нейтрофилов из-за повышения уровня адреналина в крови. Тогда как лейкоцитоз при длительной физической нагрузке (например, при марафоне) в основном обусловлен резким увеличением количества нейтрофилов и снижением лимфоцитов и эозинофилов, что главным образом связано с повышением уровня

кортизола в крови [21]. Обнаруженное большое количество обратных связей между лейкоцитарными индексами у мужчин может указывать на формирование различных неспецифических адаптационных реакций организма в ответ на мышечную деятельность, что требует отдельного изучения.

На основании описательной статистики и данных корреляционного анализа можно сказать, что у юношей-пловцов по сравнению со спортсменками более высокая кислородная емкость крови. При этом как в состоянии относительного покоя, так и после физической нагрузки у мужчин-пловцов не выявляются обратные связи между параметрами эритрона и тромбоцитарными индексами, что может свидетельствовать об ухудшении реологических свойств крови.

В перспективе необходимо провести оценку взаимосвязи между гематологическими показателями и результативностью пловцов и параметрами, характеризующими аэробную и анаэробную работоспособность. Стоит отметить, что для адекватной оценки функционального состояния организма спортсменов на основании картины крови необходимо учитывать результаты динамических наблюдений, а не разовых гематологических значений, при этом анализировать показатели при индивидуальном динамическом обследовании.

### 5. Заключение

Установлено варьирование гематологических показателей крови у спортсменов-пловцов. При этом средние значения параметров укладывались в референсные пределы, характерные для общей популяции.

У спортсменок количество прямых и обратных связей после нагрузочного тестирования сохранялось на том же уровне, что и в состоянии относительного покоя. У мужчин-пловцов количество обратных связей было меньше, чем прямых, как до, так и после нагрузки. После нагрузочного тестирования число прямых связей уменьшалось, что может указывать на ухудшение деятельности регуляторных функций организма.

Можно заключить, что отставленный тренировочный эффект, выраженный в специфике краткосрочной реакции гематологических показателей на физическую нагрузку у спортсменок, проявлялся формированием различных взаимозависимостей между показателями крови, что может свидетельствовать о лучшей адаптации системы крови к тренировочным нагрузкам. Тогда как у мужчин-пловцов картина взаимосвязей указывает на повышение кислородной емкости крови, но в то же время и на наличие напряженности регуляторных механизмов.

**Вклад авторов:**

**Даутова Альбина Зуфаровна** — концепция и дизайн исследования; сбор и анализ данных; статистический анализ данных; написание первой версии текста.

**Мавлиев Фанис Азгатович** — сбор материала; написание и редактирование текста.

**Дрожецкий Дмитрий Анатольевич** — сбор и анализ данных.

**Зверев Алексей Анатольевич** — написание и редактирование текста.

**Назаренко Андрей Сергеевич** — написание и редактирование текста.

**Список литературы / References**

1. **Нехвядович А.И., Будко А.Н.** Динамика гематологических показателей как критерий функционального состояния и тренированности спортсменов (по данным литературы). Прикладная спортивная наука. 2018;1(7):105–111. [Nekhvadovich A.I., Budko A.N. Dynamics of hematological parameters as a criterion of the functional state and fitness of athletes (according to literature data). Applied Sports Science. 2018;1(7):105–111. (In Russ.).]
2. **Ciekot-Softysiak M., Kusy K., Podgórski T., Pospieszna B., Zieliński J.** Changes in red blood cell parameters during incremental exercise in highly trained athletes of different sport specializations. Peer J. 2024;12:e17040. <https://doi.org/10.7717/peerj.17040>
3. **Díaz Martínez A.E., Alcaide Martín M.J., González-Gross M.** Basal Values of Biochemical and Hematological Parameters in Elite Athletes. Int. J. Environ. Res. Public Health. 2022;19(5):3059. <https://doi.org/10.3390/ijerph19053059>
4. **Гунина Л., Рыбина И., Котляренко Л.** Показатели гематологического гомеостаза в оценке функционального состояния спортсменов. Наука в олимпийском спорте. 2020;3:65–75. [Gunina L., Rybina I., Kotlyarenko L. Indicators of hematological homeostasis in assessing the functional state of athletes. Science in Olympic sports. 2020;3:65–75. (In Russ.).] [https://doi.org/10.32652/olympic2020.3\\_3](https://doi.org/10.32652/olympic2020.3_3)
5. **Даутова А.З., Янышева Г.Г., Якубов Р.Ю., Назаренко А.С., Зверев А.А.** Взаимосвязь гематологических и биохимических параметров крови у спортсменов разных возрастных групп. Наука и спорт: современные тенденции. 2022;10(3):14–21. [Dautova A.Z., Yanysheva G.G., Yakubov R.Yu., Nazarenko A.S., Zverev A.A. The relationship between hematological and biochemical blood parameters in athletes of different age groups. Science AND Sport: current trends. 2022;10(3):14–21. (In Russ.).] <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2022-10-3-14-21>
6. **Campbell J.P., Turner J.E.** Debunking the myth of exercise-induced immune suppression: Redefining the impact of exercise on immunological health across the lifespan. Front. Immunol. 2018;9:648. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.00648>
7. **Mairbäurl H.** Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. Front. Physiology. 2013;4:332. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00332>
8. **Roklicer R., Lakicevic N., Stajer V., Trivic T., Bianco A., et al.** The effects of rapid weight loss on skeletal muscle in judo athletes. J. Transl. Med. 2020;18(1):142. <https://doi.org/10.1186/s12967-020-02315-x>
9. **Peake J.M., Neubauer O., Walsh N.P., Simpson R.J.** Recovery of the immune system after exercise. J. Appl. Physiol. (1985). 2017;122(5):1077–1087. <https://doi.org/10.1152/jap-physiol.00622.2016>

**Authors' contributions:**

**Al'bina Z. Dautova** — concept and design of the study; data collection and analysis; statistical analysis of data; writing the first version of the text.

**Fanis A. Mavliev** — collection of materials; writing and editing of text.

**Dmitry A. Drozhetsky** — data collection and analysis.

**Alexey A. Zverev** — writing and editing the text.

**Andrey S. Nazarenko** — writing and editing the text.

10. **Макарова Г.А., Колесникова Н.В., Скибицкий В.В., Барановская И.Б.** Диагностический потенциал картины крови у спортсменов. Москва: Спорт; 2020. [Makarova G.A., Kolesnikova N.V., Skibitsky V.V., Baranovskaya I.B. Diagnostic potential of blood picture in athletes. Moscow: Sport; 2020. (In Russ.).]

11. **Pasalic L., Pennings G.J., Connor D., Campbell H., Kritharides L., Chen V.M.** Flow Cytometry Protocols for Assessment of Platelet Function in Whole Blood. Methods Mol. Biol. 2017;1646: 369–389. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7196-1\\_28](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7196-1_28).

12. **Lombardo B., Izzo V., Terracciano D., Ranieri A., Mazzaccara C., Fimiani F., Cesaro A., Gentile L., Leggiere E., Pero R., et al.** Laboratory Medicine: Health Evaluation in Elite Athletes. Clin. Chem. Lab. Med. (CCLM). 2019;57(10):1450–1473. <https://doi.org/10.1515/cclm-2018-1107>

13. **Mercer K.W., Densmore J.J.** Hematologic disorders in the athlete. Clin. Sports Med. 2005;24(3):599–621. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2005.03.006>

14. **Banfi G., Lundby C., Robach P., Lippi G.** Seasonal variations of haematological parameters in athletes. Eur. J. Appl. Physiol. 2011;111(1):9–16. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1641-1>

15. **Santhiago V., da Silva A.S., Papoti M., Gobatto C.A.** Responses of hematological parameters and aerobic performance of elite men and women swimmers during a 14-week training program. J. Strength Cond. Res. 2009;23(4):1097–1105. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318194e088>

16. **Teległów A., Marchewka J., Tota Ł., et al.** Changes in blood rheological properties and biochemical markers after participation in the XTERRA Poland triathlon competition. Sci. Rep. 2022;12(1):3349. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07240-1>

17. **Montero D., Breenfeldt-Andersen A., Oberholzer L., Haider T., Goetze J.P., et al.** Erythropoiesis with endurance training: dynamics and mechanisms. Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2017;312(6):R894–R902. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00012.2017>

18. **Montero D., Lundby C.** Regulation of Red Blood Cell Volume with Exercise Training. Compr. Physiol. 2018;9(1):149–164. <https://doi.org/10.1002/cphy.c180004>

19. **Mujika I., Padilla S., Geysant A., Chatard J.C.** Hematological responses to training and taper in competitive swimmers: relationships with performance. Arch. Physiol. Biochem. 1998;105(4):379–385.

20. **Даутова А.З., Исаева Е.Е., Шамратова В.Г.** Связи адренореактивности эритроцитов с их количественными и качественными характеристиками как способ оценки реологических свойств крови у лиц с разным уровнем двигательной активности. Спортивная медицина: наука и практика. 2021;11(3):5–11. [Dautova A.Z., Isaeva E.E., Shamratova V.G. Relationships between adrenoreactivity of erythrocytes and

their quantitative and qualitative characteristics as a way to assess the rheological properties of blood in individuals with different levels of motor activity. *Sports medicine: research and practice*. 2021;11(3):5–11. (In Russ.]. <https://doi.org/10.10.47529/2223-2524.2021.3.1>

21. **Lee E., Fragala M., Kavouras S., Queen R., Pryor J., Casa D.** Biomarkers in sports and exercise: Tracking health, performance,

and recovery in athletes. *J. Strength Cond. Res.* 2017;31(10):2920–2937. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002122>

22. **Dundar A., Kocahan S., Arslan C.** Effects of different loading exercises on apelin levels and physical and hematologic parameters of swimmers. *Horm Mol Biol Clin Investig.* 2019;38(2). <https://doi.org/10.1515/hmbci-2018-0070>

#### Информация об авторе:

**Даутова Альбина Зуфаровна\***, к.б.н., доцент кафедры медико-биологических дисциплин, старший научный сотрудник НИИ физической культуры и спорта ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420138, Республика Татарстан, г. Казань, тер. Деревня Универсиады, 35 ([dautova.az@mail.ru](mailto:dautova.az@mail.ru))

**Мавлиев Фанис Азгатович**, к.б.н., старший научный сотрудник НИИ физической культуры и спорта, доцент кафедры медико-биологических дисциплин ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420138, Республика Татарстан, г. Казань, тер. Деревня Универсиады, 35 ([fanis16rus@mail.ru](mailto:fanis16rus@mail.ru))

**Дрожецкий Дмитрий Анатольевич**, старший преподаватель кафедры теории и методики водных видов спорта ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420138, Республика Татарстан, г. Казань, тер. Деревня Универсиады, 35 ([swimworld@mail.ru](mailto:swimworld@mail.ru))

**Зверев Алексей Анатольевич**, к.б.н., доцент, директор НИИ физической культуры и спорта, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420138, Республика Татарстан, г. Казань, тер. Деревня Универсиады, 35 ([alekcei5@rambler.ru](mailto:alekcei5@rambler.ru))

**Назаренко Андрей Сергеевич**, к.б.н., доцент, проректор по научной работе и международной деятельности, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420010, Республика Татарстан, г. Казань, тер. Деревня Универсиады, 35 ([hard@inbox.ru](mailto:hard@inbox.ru))

#### Information about the author:

**Al'bina Z. Dautova\***, Ph.D. (Biology), Associate Professor of the Department of Medical and Biological Disciplines, Senior Researcher at the Research Institute of Physical Culture and Sports of Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, 35 ter. Universiade Village, Kazan, 420138, Republic of Tatarstan, Russia ([dautova.az@mail.ru](mailto:dautova.az@mail.ru))

**Fanis A. Mavliev**, Ph.D. (Biology), Associate Professor of the Department of Medical and Biological Disciplines, Senior Researcher at the Research Institute of Physical Culture and Sports of Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, 35 ter. Universiade Village, Kazan, 420138, Republic of Tatarstan, Russia ([fanis16rus@mail.ru](mailto:fanis16rus@mail.ru))

**Dmitry A. Drozhetsky**, Senior Lecturer, Department of Theory and Methodology of Aquatic Sports of the Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, 35 ter. Universiade Village, Kazan, 420138, Republic of Tatarstan, Russia ([swimworld@mail.ru](mailto:swimworld@mail.ru))

**Alexey A. Zverev**, Ph.D. (Biology), Associate Professor, Director of the Research Institute of Physical Culture and Sports, Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, 35 ter. Universiade Village, Kazan, 420138, Republic of Tatarstan, Russia ([alekcei5@rambler.ru](mailto:alekcei5@rambler.ru))

**Andrey S. Nazarenko**, Ph.D. (Biology), Associate Professor, Vice Rector for Research and International Activities, Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, 35 ter. Universiade Village, Kazan, 420138, Republic of Tatarstan, Russia ([hard@inbox.ru](mailto:hard@inbox.ru)).

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.8>

УДК: 796.4:796.5: 796.9

Тип статьи: Оригинальное исследование / Original article



## Влияние состояния микробиома кишечника на работоспособность спортсменов циклических видов спорта по показателям эргометрического тестирования

Ю.И. Корюкалов<sup>1</sup>, М.С. Лапшин<sup>1,\*</sup>, М.В. Кондашевская<sup>2</sup>, А.С. Бахарева<sup>1</sup>, Е.Ю. Савиных<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ), Челябинск, Россия

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт морфологии человека имени академика А.П. Авцына ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского», Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель:** оценить функционально-метаболическое состояние и микробиоту кишечника спортсменов циклических видов спорта с высоким и низким уровнем работоспособности.

**Материалы и методы:** участниками исследования стали 20 спортсменов мужского пола в возрасте 18–22 лет из циклических видов спорта. По результатам максимальной работоспособности спортсменов — относительной скорости ( $V_{отн.}$ ), показанной в нагрузочном тесте, — группу разделяли на две подгруппы: спортсменов с высокой и низкой работоспособностью (СВР и СНР соответственно). Для определения наличия или отсутствия дисбактериоза кишечника применяли микробиологическое исследование кала.

**Результаты:** у спортсменов из группы СВР достоверно выше были значение коэффициента экономичности кровообращения (КЭК) и уровень аспаратаминотрансферазы. В группе СВР была выявлена положительная корреляционная взаимосвязь между уровнем активности ферментов печени и микрофлорой кишечника, а также активностью фермента аланинаминотрансферазы и скоростными характеристиками. Среди спортсменов из группы СНР выявлены положительные корреляционные связи показателей работоспособности с гемолитической кишечной палочкой, а у 40 % из них было отмечено наличие условно патогенных бактерий.

**Выводы:** у спортсменов с высоким уровнем физической работоспособности функциональное состояние характеризовалось активацией анаболических процессов, тогда как у спортсменов с низким уровнем физической работоспособности преобладали катаболические процессы, обусловленные присутствием в кишечнике условно патогенных и патогенных микроорганизмов. Таким образом, можно сделать вывод о том, что состояние микробиома кишечника может влиять на различные аспекты работоспособности спортсменов из циклических видов спорта.

**Ключевые слова:** спортсмены, нагрузочный тест, скорость, работоспособность, микробиота кишечника, микробиом

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Корюкалов Ю.И., Лапшин М.С., Кондашевская М.В., Бахарева А.С., Савиных Е.Ю. Влияние состояния микробиома кишечника на работоспособность спортсменов циклических видов спорта по показателям эргометрического тестирования. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(2):34–44. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.8>

Поступила в редакцию: 27.08.2024

Принята к публикации: 22.11.2024

Online first: 15.12.2024

Опубликована: 15.12.2024.

\* Автор, ответственный за переписку

## The effect of the state of the intestinal microbiome on the performance of cyclical sports athletes according to ergometric testing indicators

Yuri I. Koryukalov<sup>1</sup>, Maxim S. Lapshin<sup>1,\*</sup>, Marina V. Kondashevskaya<sup>2</sup>, Anastasiya S. Bakhareva<sup>1</sup>,  
Elena Yu. Savinih<sup>1</sup>

<sup>1</sup> South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup> Avtsyn Research Institute of Human Morphology of Petrovsky National Research Centre of Surgery, Moscow, Russia

### ABSTRACT

**Purpose:** to assess the functional-metabolic state and intestinal microbiota of athletes of cyclic sports with high and low levels of performance.

**Materials and methods:** the study involved 20 male athletes of cyclic sports aged 18–22 years. Based on the results of the athletes' maximum performance — relative speed ( $V_{rel}$ ), shown in the ergometry test, the group was divided into two subgroups. To determine the presence or absence of intestinal dysbacteriosis, microbiological examination of feces was used.

**Results:** High performance athletes (HPA) had significantly higher values of the circulatory efficiency coefficient (CEC) and aspartate aminotransferase (AST). In the HPA group, a positive correlation was found between the level of liver enzyme activity and intestinal microflora, as well as the activity of the ALT enzyme and speed characteristics. In the group of low performance athletes (LPA), positive correlations were found between performance indicators and hemolytic *E. coli*. Opportunistic bacteria were found in 40 % of men in the LPA group.

**Conclusion:** In athletes with a high level of physical performance, the functional state was characterized by the activation of anabolic processes. Whereas in athletes with a low level of physical performance, catabolic processes prevailed, caused by the presence of opportunistic and pathogenic microorganisms in the intestine. It was concluded that athletes should regularly undergo ergometric testing with a study of the intestinal microbiome in order to prevent the development of dysbiosis.

**Keywords:** athletes, stress test, speed, performance, gut microbiota, metabolism

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interests.

**For citation:** Koryukalov Yu.I., Lapshin M.S., Bakhareva A.S., Kondashevskaya M.V., Aminov A.S., Savinih E.Yu. The effect of the state of the intestinal microbiome on the performance of cyclical sports athletes according to ergometric testing indicators. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika* (Sports medicine: research and practice). 2024;14(2):34–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.8>

**Received:** 27 August 2024

**Accepted:** 22 November 2024

**Online first:** 15 December 2024

**Published:** 15 December 2024

\*Corresponding author

### 1. Введение

Оптимизация производительности при выполнении различных упражнений является ключевым фактором для элитных спортсменов, поскольку даже незначительные различия в работоспособности могут иметь решающее значение для достижения целей соревнований [1]. Одним из ключевых факторов адаптации к высоким нагрузкам и поддержании высокой работоспособности спортсменов является изменение активности метаболических процессов, происходящих в различных системах организма, в том числе в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) [2]. В последние годы значительно возрос интерес к взаимосвязи между достижением спортивных результатов и микробиотой кишечника спортсменов, поскольку появляются всё новые доказательства того, что микробиота кишечника является одним из важнейших факторов, влияющих на состояние здоровья и физическую работоспособность спортсменов [3, 4].

Новые данные показали связь между составом кишечной микробиоты и физической активностью, предполагая, что изменения в составе микробиоты кишечника могут способствовать или ухудшать физическую работоспособность спортсмена [5]. Состав и метаболическая

активность кишечной микробиоты могут помочь в переваривании пищи, улучшать скорость и мощность двигательных действий во время тренировок, обеспечивая метаболические преимущества во время высокоинтенсивных упражнений и восстановления спортсмена [6]. Понимание механизмов, которыми микробиота кишечника может влиять на спортивные результаты, представляет значительный интерес для спортсменов и спортивных диетологов, которые работают над улучшением результатов соревнований, а также сокращают время восстановления во время тренировок [7, 8].

Бартон и соавт. предположили, что микробиом кишечника спортсмена может способствовать восстановлению тканей и использовать энергию нутриентов для оптимизации преимущественно углеводного обмена и биосинтеза нуклеотидов. Это утверждение отражает значительную потребность в энергии и адаптацию тканей, которая происходит во время интенсивных упражнений у элитных спортсменов [9]. К тому же ряд ученых предполагают, что *Akkermansia muciniphila* может чаще присутствовать у спортсменов, чем у неспортсменов. Эта бактерия обитает в богатом питательными веществами слое слизи кишечника и разрушает муцин,

что, по-видимому, и обуславливает ее положительное влияние на метаболическую функцию [8, 10]. В исследовании Fritz и соавт. было показано, что состав микробиоты кишечника может влиять на усвоение белка и, следовательно, на физическое состояние и спортивные результаты спортсменов [11].

Следует отметить, что элитные спортсмены сталкиваются с высоким уровнем стресса, вызванным определенными требованиями и ожиданиями соревнований в течение сезона [12]. Во время физических упражнений существует взаимная связь между автономной нервной системой и желудочно-кишечным трактом, которая участвует в реакции на стресс и, как предполагается, частично опосредована высвобождением гормонов кишечника и молекул, полученных из кишечной микробиоты [13, 14].

В связи этим целью исследования явилось изучение микробиоты кишечника и функционально-метаболического состояния спортсменов циклических видов спорта с высоким и низким уровнем работоспособности.

## 2. Материалы и методы

Исследование проводило на базе Института спорта, туризма и сервиса Южно-Уральского государственного университета (г. Челябинск, Россия) в начале подготовительного периода (май 2023 года), в течение которого формируется основа для формирования специальной подготовленности спортсменов в течение соревновательного сезона. Протокол эксперимента был одобрен Комитетом по этике Южно-Уральского государственного университета в соответствии с Хельсинкской декларацией (№ 17 от 20.02.2023 г.). Каждый испытуемый был проинформирован о потенциальных рисках и преимуществах исследования и имел право отказаться от участия в нем в любое время. Информированное согласие было подписано в индивидуальном порядке перед участием в исследовании.

Критериями включения в исследование были отсутствие значительных перерывов в совершенствовании спортивного мастерства, регулярные занятия циклическим видом спорта, а также обеспечение скорости перемещений спортсмена за счет метаболических процессов, освобождающих энергию для механической работы мышц.

Критериями исключения являлись длительные перерывы в тренировочном процессе (более трех месяцев), а также обеспечение скорости перемещений спортсмена за счет внешних источников механической энергии (например, за счет тяги мотора).

В исследование были включены 20 мужчин — кандидатов в мастера спорта в возрасте 18–22 года — квалифицированные спортсмены циклических видов спорта (лыжные гонки  $n = 5$ , легкая атлетика  $n = 5$ , плавание  $n = 5$ , спортивное ориентирование  $n = 5$ ).

На момент участия в исследовании ни один спортсмен не имел сопутствующей хронической патологии и не предъявлял жалоб на состояние здоровья.

## Методика оценки эргометрических показателей в нагрузочном тесте

Для оценки эффективности адаптационных изменений в физиологических системах организма был проведен нагрузочный тест, сопровождающийся оценкой переносимости нагрузки по шкале Борга (RPE 1–10) [15, 16].

Тестирование проводило на беговой инерционной дорожке Assault Fitness Runner (США). Оно включало пять ступеней возрастающей нагрузки в соответствии с зонами интенсивности Норвежской классификации [17]. Целью нагрузочного тестирования являлось достижение максимальной скорости на пятой ступени. Фиксировали следующие показатели: мощность ( $W$ , Вт), скорость ( $V$ , км/ч), число сердечных сокращений (ЧСС уд./мин), ударный объем (УО мл).

В начале выполнения пятой ступени измеряли коэффициент экономичности кровообращения (КЭК) [18], который характеризует затраты организма на передвижение крови в сосудистом русле, рассчитываемый по формуле:

$$\text{КЭК} = (\text{САД} - \text{ДАД}) \times \text{ЧСС}$$
где САД — систолическое артериальное давление, ДАД — диастолическое артериальное давление и ЧСС — частота сердечных сокращений.

Анализируемые показатели регистрировали с использованием аппаратуры, работающей в синхронизации с аналитической программой PerfPRO по системе ANT+: датчика пульса Polar (Финляндия), датчика мощности «Stryd» (США), тонометра Omron (Япония), измерителя концентрации лактата «Lactate Plus» (США).

На основании шкалы Борга, учитывающей воспринимаемое спортсменом напряжение на пятой ступени, как индикатора соматического стресса (жалобы спортсменов на состояние дискомфорта) [19], а также по значениям абсолютной скорости, регистрируемой в это время, популяция спортсменов была разделена на две группы.

Абсолютная скорость рассчитывалась по формуле:  $V \text{ абс.} = (V \text{ нагрузки} - V \text{ нагр. ср.}) / V \text{ нагр. ср.}$ , где отклонение скорости выполнения нагрузки ( $V \text{ нагрузки}$ ) было получено относительно среднего значения в группе ( $V \text{ нагр. ср.}$ ) [20].

В первую группу ( $n = 10$ ) вошли спортсмены с высокой работоспособностью (СВР), во вторую группу ( $n = 10$ ) — спортсмены с низкой работоспособностью (СНР) (табл. 1) [21].

## Биохимические методы

Взятие крови осуществляли утром, натощак из кубитальной (локтевой) вены в вакуумные пробирки стандартным способом венепункции в сертифицированной лаборатории. В сыворотке крови определяли уровни щелочной фосфатазы (ЩФ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), аспартатаминотрансферазы (АСТ), аланинаминотрансферазы (АЛТ), глюкозы, креатинина, мочевины,

общего белка, билирубина. Рассчитывали коэффициент де Ритиса (АСТ/АЛТ). Кроме того, используя иммуноферментный анализ (ИФА), производили определение кортизола и тестостерона с помощью наборов «АлкорБио» (Россия) согласно инструкции фирмы-производителя.

#### Микробиологический метод

Для определения наличия дисбиоза кишечника применяли микробиологическое исследование кала методом культивирования микроорганизмов на плотных питательных средах, применяемым для культуральной диагностики. Как известно, индикаторные среды позволяют отличить один вид микроорганизмов от других. В основе идентификации микроорганизмов лежат культуральные свойства, являющиеся характерными признаками для каждого рода и вида [22, 23].

#### Статистический анализ

Для обработки результатов исследования использовали пакет прикладных программ Statistica 10.0. Проверку нормальности распределения числовых значений данных производили, используя тест Шапиро — Уилкса. В связи с тем, что распределение отличалось от нормального, использовали критерии Краскела — Уоллиса и Манна — Уитни. Показатели представляли в виде медианы (Me) и интерквартильных размахов

в виде 25 и 75 перцентилей [Q1; Q3]. Сравнение между долями совокупности проводили при помощи критерия  $\chi^2$  Пирсона. Для изучения характера взаимосвязей между исследуемыми показателями использовали корреляционный анализ с вычислением коэффициента Спирмена ( $r_s$ ). Все различия считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

### 3. Результаты

#### Параметры эргометрического тестирования спортсменов с высокой (СВР) и низкой работоспособностью (СНР)

Анализ результатов эргометрического тестирования позволил выявить несколько параметров со статистически значимыми различиями между группами СВР и СНР (табл. 2), в то время как антропометрические показатели были идентичными (табл. 1). Так, например, скорость, на основании которой испытуемые были разделены на 2 группы, оказалась выше у СВР, чем у СНР на 11,5% (табл. 1). Практически такое же различие отмечено по данным относительной мощности (табл. 2). Высокие физические показатели СВР поддерживались высокими физиологическими значениями комплексного показателя сердечно-сосудистой системы (ССС), характеризующего затраты организма на передвижение крови по сосудистому руслу — коэффициента экономичности кровообращения (КЭК, табл. 2).

Таблица 2

**Показатели эргометрического и гемодинамического тестирования у спортсменов с высокой (СВР) и низкой работоспособностью (СНР) Me [Q1; Q3]**

Table 2

**Ergometric and hemodynamic testing indicators in athletes with high (HWP) and low performance capacity (LPC) Me [Q1; Q3]**

Показатели	1-я группа — СВР (n = 10)	2-я группа — СНР (n = 10)
Скорость абс. (км/ч)	19,65 [19,36; 20,03]	17,71* [16,61; 18,30]
Мощность абс. (Вт)	377,02 [355,94; 381,7]	345,71 [323,73; 354,89]
Мощность относит. (Вт/кг)	5,28 [4,16; 6,12]	4,76* [3,98; 5,14]
КЭК (усл. ед.)	1,94 [1,92; 2,02]	1,75* [1,68; 1,84]
ЧСС (уд/мин)	190 [188,10; 199,21]	193 [191,52; 197,54]
УО (мл)	123,4 [110,91; 126,33]	116,3 [114,92; 136,84]

Примечание: КЭК — коэффициент экономичности кровообращения, ЧСС — число сердечных сокращений, УО — ударный объем.

\* — статистически значимые отличия СВР от СНР ( $p < 0,05$ ).

Note: CEC — coefficient of circulatory efficiency, HR — heart rate, SV — stroke volume.

\* — statistically significant differences between SVR and SVR ( $p < 0.05$ ).

**Результаты биохимического анализа крови в покое после пятой зоны нагрузочного тестирования**

Результаты свидетельствуют о том, что ни один показатель биохимического анализа крови не выходил за рамки нормы реакции в покое, несмотря на жалобы участников из группы СНР после пятого уровня тестирования

на дискомфорт (табл. 3). К тому же, за исключением значений АСТ, показатели участников из группы СНР были сходны с таковыми у участников из группы СВР ( $p > 0,05$ ). Но при этом у участников обеих групп они находились в зоне референтного интервала.

Также было продемонстрировано отсутствие статистически значимых различий между группами

Таблица 3

**Показатели биохимического анализа крови спортсменов циклических видов спорта в покое после пятой зоны нагрузочного тестирования Me [Q1; Q3]**

Table 3

**Blood biochemical analysis parameters of athletes engaged in cyclic sports at rest after the fifth zone of load testing Me [Q1; Q3]**

Параметр	1-я группа СВР [n = 10]	2-я группа СНР [n = 10]
АЛТ (Ед/л)	18,56 [17,55; 23,74]	17,16 [12,99; 20,93]
АСТ (Ед/л)	29,5 [24,35; 41,38]	22,23* [19,76; 23]
Коэффициент де Ритиса (АСТ/АЛТ)	1,31 [1,09; 1,72]	1,2 [0,76; 1,59]
ЩФ (Ед/л)	65,84 [52,11; 74,73]	72,11 [49,43; 84,95]
ЛДГ (Ед/л)	171,48 [149,81; 179,68]	161,36 [147,36; 183,11]
Лактат (ммоль/л)	11,92 [5,11; 12,85]	10,57 [8,12; 11,30]
Креатинин (мкмоль/л)	91,85 [87,32; 93,34]	102,50 [99,42; 104,51]
Мочевина (мкмоль/л)	5,31 [4,69; 5,93]	5,47 [4,93; 5,79]
Общий белок (г/л)	72,08 [68,42; 73,22]	74,49* [73,24; 78,34]
Билирубин общий (мкмоль/л)	14,98 [8,47; 19,31]	15,69 [14,08; 20,32]
Билирубин прямой (мкмоль/л)	3,11 [1,55; 4,72]	2,97 [2,86; 3,34]
Билирубин непрямой (мкмоль/л)	12,11 [6,92; 15,90]	12,57 [11,11; 16,98]
Глюкоза (ммоль/л)	4,73 [4,59; 4,97]	4,88 [4,67; 5,14]
Кортизол (К, нмоль/л)	334,26 [258,76; 389,98]	379,17 [248,31; 390,79]
Тестостерон (Т, нмоль/л)	19,18 [18,06; 19,95]	17,42* [17,05; 18,11]
Индекс Т/К	0,064 [0,05; 0,07]	0,049* [0,04; 0,06]

Примечание: АЛТ — аланинаминотрансфераза, АСТ — аспаратаминотрансфераза, ЩФ — щелочная фосфатаза, ЛДГ — лактатдегидрогеназа.

\* — статистически значимые отличия группы СВР от СНР ( $p < 0,05$ ).

Note: ALT — alanine aminotransferase, AST — aspartate aminotransferase, ALP — alkaline phosphatase, LDH — lactate dehydrogenase.

\* — statistically significant differences between the SVR group and the SNR group ( $p < 0.05$ ).

по уровню кортизола (табл. 3). При этом следует отметить, что среди участников из группы СВР уровень тестостерона оказался на 14,4% выше по сравнению с участниками из группы СНР. Тем не менее в обеих группах содержание в крови обоих гормонов находилось в зоне референтного интервала. Обращает на себя внимание и более высокое значение показателя индекса Т/К среди участников из группы СВР по сравнению с участниками из группы СНР ( $p < 0,05$ ).

#### Состояние микробиома кишечника у спортсменов с различными скоростными показателями в нагрузочном тесте

Результаты бактериологического исследования свидетельствуют о том, что у участников из группы СВР чаще чем у участников из группы СНР в достаточном количестве определялись основные представители нормального микробиома, и значительно реже они являлись хозяевами условно патогенных микроорганизмов (энтерококки,  $p < 0,05$ ). Необходимо отметить, что у 40%

спортсменов из группы СНР выявлялись золотистый стафилококк и дрожжеподобные грибы рода *Candida* и *Klebsiella* spp. (рис. Б). В то же время практически ни у одного спортсмена группы СВР таких микроорганизмов не было выявлено (рис. Б).

При проведении анализа данных было обнаружено полное отсутствие сходства корреляционных взаимосвязей у испытуемых из групп СВР и СНР (табл. 4). Это указывает на правомерность разделения популяции на две группы и на различие функционального состояния биологических и физиологических систем участников из групп СВР и СНР. Так, если у участников из группы СВР увеличение мощности двигательных действий связано корреляционными взаимоотношениями с количественными характеристиками микроорганизмов семейства *Bifidobacteriaceae* рода *Bifidobacterium*, то у участников из группы СНР наблюдается связь с «патогенными» микроорганизмами семейства *Enterobacteriaceae* рода *Escherichia* — *E. coli* гемолитического штамма (штамм серотипа O157: H7). Также

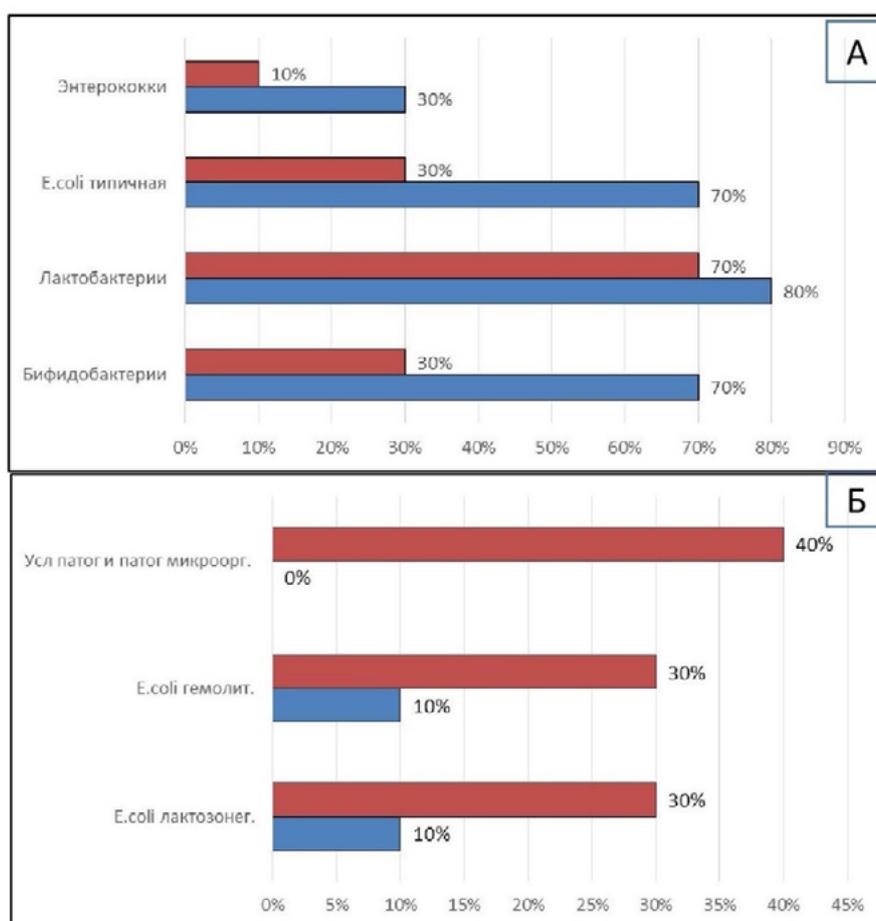


Рис. Соотношение числа спортсменов с высокой и низкой работоспособностью, являющихся хозяевами основных представителей нормофлоры (А) и условно патогенных и патогенных микроорганизмов (Б) в %. Столбцы коричневого цвета — спортсмены с низкой работоспособностью; столбцы синего цвета — спортсмены с высокой работоспособностью

Fig. The ratio of the number of athletes with high and low performance, who are hosts of the main representatives of normal flora (А) and opportunistic and pathogenic microorganisms (Б) in %. Brown columns represent athletes with low performance; blue columns represent athletes with high performance

Таблица 4

## Результаты корреляционного анализа спортсменов с высокой и низкой работоспособностью

Table 4

## Results of correlation analysis of athletes with high and low performance

Параметр	Коэффициент ранговой корреляции Спирмена $r_s$	
	1-я группа СВР ( $n = 10$ )	2-я группа СНР ( $n = 10$ )
Мощность абс. — бифидобактерии	0,79 $p = 0,033$	
АСТ — бифидобактерии	0,79 $p = 0,031$	
АСТ — <i>E. coli</i> типичная	0,75 $p = 0,04$	
Мощность абс. — <i>E. coli</i> гемолитич.		0,75, $p = 0,041$
Скорость абс. — <i>E. coli</i> гемолитич.		0,75, $p = 0,041$

у участников из группы СВР прослеживается взаимосвязь активности АСТ и бифидобактериями.

#### 4. Обсуждение

Общий уровень функциональной подготовленности и степень ее развития у спортсменов циклических видов спорта определяют по результатам выполнения тестирующих нагрузок различной мощности и продолжительности [24].

Согласно полученным данным, у спортсменов первой группы (СВР) показатели скорости, абсолютной и относительной мощности в нагрузочном тесте были статистически значимо выше, чем у спортсменов второй группы (СНР). Высокая значимость параметра скорости согласуется с данными других исследований, в которых показано, что скорость является важнейшей качественной характеристикой рабочей эффективности спортивных локомоций [25].

Параметры, характеризующие физиологическое и биохимическое состояние организма спортсменов обеих групп, имели мало различий. Наиболее информативным признаком благополучного состояния гомеостаза организма СВР оказался более высокий, чем у СНР, показатель индекса отношения тестостерон/кортикокортезон (Т/К). Как известно, кроме регуляции репродуктивных процессов тестостерон участвует практически во всех биологических и физиологических процессах [26]. Особенно важно его участие в стимуляции анаболических механизмов, предотвращающих истощение ресурсов организма [27]. Начальный этап адаптационного периода может сопровождаться усилением деятельности сердечно-сосудистой системы (ССС), что было продемонстрировано по возрастанию значений КЭК у спортсменов из группы СВР [28], которые в отличие от спортсменов из группы СНР при этом не испытывали дискомфорта.

Можно предположить, что отсутствие дискомфорта обеспечивалось, кроме указанных выше механизмов,

доминированием нормофлоры в кишечнике испытуемых из группы СВР. Это предположение подтверждается литературными данными, сообщающими о влиянии микробиома на анаболические процессы организма в целом и конкретно на адаптацию скелетных мышц к повышенной работоспособности и нагрузочным тренировкам [29]. Несомненно, осуществляется двусторонняя взаимосвязь, когда интенсивные упражнения на выносливость вызывают физиологические и биохимические изменения, обуславливающие трансформацию состава и численности микроорганизмов кишечника [30]. Одним из подтверждений этого у спортсменов из группы СВР является корреляционная связь мощности двигательных действий с количественными характеристиками микроорганизмов семейства *Bifidobacteriaceae* рода *Bifidobacterium*. Кроме того, у испытуемых из группы СВР прослеживается взаимосвязь активности АСТ, продуцируемой в основном клетками печени, с бифидобактериями. Ранее уже была описана важная роль ферментов и желчи, секреторируемых печенью, в поддержании оптимального баланса микробиоты [31]. Как известно, бифидобактерии обеспечивают защиту хозяина от кишечных и других инфекций, синтезируя специфические ингибины, подавляющие рост патогенных микроорганизмов, а также вырабатывая защитные иммуноглобулины, тормозящие рост гнилостных микроорганизмов [32]. Кроме того, они участвуют в расщеплении питательных веществ, синтезе необходимых для организма хозяина витаминов, препятствуют развитию пищевой аллергии, при которой в кровь могут попадать токсины, провоспалительные интерлейкины и другие биологически активные провоспалительные вещества [33].

Вероятно, что низкая работоспособность и жалобы испытуемых из группы СНР на дискомфорт при повышенных нагрузках являются следствием наличия в их кишечнике условно патогенных и патогенных микроорганизмов [34]. Было установлено, что у спортсменов

из этой группы наблюдается корреляционная связь с микроорганизмами семейства *Enterobacteriaceae* рода *Escherichia* — *E. coli* гемолитического штамма (штамм серотипа O157: H7). В противоположность бифидобактериям, штаммы этого серотипа способны продуцировать шигатоксины и индуцировать колибактериозный геморрагический колит с развитием гемолитико-уремического синдрома [35]. Важными причинами, обуславливающими появление опасных микроорганизмов, являются особенности питания, несоблюдение спортивного режима (тренировок, отдыха, принятия пищи и сна) и перетренированность [31].

### 5. Заключение

По результатам эргометрического тестирования установлено, что среди 20 мужчин — спортсменов циклических видов спорта, участвующих в настоящем исследовании, было выявлено две группы испытуемых: с высокой и низкой работоспособностью, установленной

#### Вклад авторов:

**Корюкалов Юрий Игоревич** — анализ литературы, анализ данных, подготовка и написание статьи.

**Лапшин Максим Сергеевич** — сбор материала, обработка материала, анализ литературы, написание статьи.

**Кондашевская Марина Владиславовна** — анализ литературы и написание статьи.

**Бахарева Анастасия Сергеевна** — подготовка и написание статьи.

**Савиных Елена Юрьевна** — обработка материала, анализ ли-

по показателям скорости двигательных действий. У спортсменов с высоким уровнем физической работоспособности функциональное состояние характеризовалось повышением показателя индекса тестостерон/кортизол, свидетельствующего об активации анаболических процессов, что подкреплялось участием в этих процессах микроорганизмов оптимального микробиома кишечника. В то же время у спортсменов с низким уровнем физической работоспособности выявлена корреляционная связь скорости и мощности двигательных действий с количественными характеристиками *E. coli* гемолитического штамма, способного продуцировать шигатоксины, что сопровождалось жалобами на дискомфорт при повышенных нагрузках. Поскольку спортсмены не всегда могут адекватно оценить свою работоспособность и состояние здоровья, можно сделать вывод о том, что спортсменам следует регулярно проходить эргометрическое тестирование с проведением исследования микробиома кишечника с целью предупреждения развития дисбиоза.

#### Authors contribution:

тературы.

**Yuri I. Koryukalov** — literature analysis, data analysis, article preparation and writing.

**Maxim S. Lapshin** — material collection, material processing, literature analysis, article writing.

**Marina V. Kondashevskaya** — literature analysis and article writing.

**Anastasiya S. Bakhareva** — article preparation and writing.

**Elena Yu. Savinich** — material processing, literature analysis.

### Список литературы

1. Clark A., Mach N. Mucin, Gut, and Microbiota Interactions. Review Article Front. Physiology. 2023;14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1284423>
2. Mohr A., Yeager R., Carpenter K., Kerksick C., Purpura M., Townsend J., et al. The Sports Gut Microbiota. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2020;17(1):24. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00353-w>
3. Шестопалов А.В., Фатхуллин Р.Ф., Григорьева Т.В., Мартыканова Д.С., Давлетова Н.Х., Колесникова И.М., Иванова А.А., Румянцев С.А. Особенности микробиома кишечника у спортсменов, занимающихся единоборствами. Спортивная медицина: наука и практика. 2024;14(1):14–24. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.3>
4. Yonglin C., Kir Y., Mingxin X., Yishuo Z., Xiquan W., Jijaji L., Yanshuo L., Yu-Heng M. Diet, Gut Microbiota, and Sports Performance in Athletes: A Narrative Review. 2024;16(11):1634. [https://doi.org/10.1016/S0018-506X\(02\)00024-7](https://doi.org/10.1016/S0018-506X(02)00024-7)
5. McEwen B., Wingfield S. The concept of allostasis in biology and biomedicine. Hormones and Behavior. 2003;43(1):2–15. [https://doi.org/10.1016/S0018-506X\(02\)00024-7](https://doi.org/10.1016/S0018-506X(02)00024-7)
6. Курашова Н.А., Юрьева А.А., Гутник И.Н., Гребенкина Л.А., Лабьгина А.В., Колесникова Л.И. Изменение оксидантно-антиоксидантного статуса крови у борцов вольного стиля под влиянием физических нагрузок. Спортив-

### References

1. Clark A., Mach N. The gut mucin-microbiota interactions: a missing key to optimizing endurance performance. Front. Physiol. 2023;14:1284423. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1284423>
2. Mohr A., Yeager R., Carpenter K., Kerksick C., Purpura M., Townsend J., et al. The Sports Gut Microbiota. J. Int. Soc. Sports Nutr. 2020;17(1):24. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00353-w>
3. Shestopalov A.V., Fatkhullin R.F., Grigorieva T.V., Martynkanova D.S., Davletova N.Kh., Kolesnikova I.M., Ivanova A.A., Rumyantsev S.A. Features of the intestinal microbiome in athletes involved in martial arts. Sports Medicine: Research and Practice. 2024;14(1):14–24. (In Russian). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.3>
4. Yonglin C., Kir Y., Mingxin X., Yishuo Z., Xiquan W., Jijaji L., Yanshuo L., Yu-Heng M. Diet, Gut Microbiota, and Sports Performance in Athletes: A Narrative Review. 2024;16(11):1634. [https://doi.org/10.1016/S0018-506X\(02\)00024-7](https://doi.org/10.1016/S0018-506X(02)00024-7)
5. McEwen B., Wingfield S. The concept of allostasis in biology and biomedicine. Hormones and Behavior. 2003;43(1):2–15. [https://doi.org/10.1016/S0018-506X\(02\)00024-7](https://doi.org/10.1016/S0018-506X(02)00024-7)
6. Kurashova N.A., Yuryeva A.A., Gutnik I.N., Grebenkina L.A., Labygina A.V., Kolesnikova L.I. Changes in the oxidant-antioxidant status of the blood in freestyle wrestlers under the influence of physical activity. Sports Medicine: Research and Practice.

ная медицина: наука и практика. 2023;13(3):30–36. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.9>

7. **Morita H., Kano K., Ishii K., Kagata N., Ishikawa T., Hirayama A., et al.** Bacteroides uniformis and its preferred substrate,  $\alpha$ -cyclodextrin, enhance endurance performance in mice and male mice. *Science Advances*. 2023;9(4):eadd2120. <https://doi.org/10.1126/sciadv.add2120>

8. **Petersen L., Bautista E., Nguyen H., Hanson B.M., Chen L., Lek S.H., et al.** Community characteristics of the gut microbiomes of competitive cyclists. *Microbiome*. 2017;5(1):98. <https://doi.org/10.1186/s40168-017-0320-4>

9. **Barton W., Penney N., Cronin O., Garcia-Perez I., Molloy G., Holmes E., Shanahan F., Cotter P., O'Sullivan O.** The microbiome of professional athletes differs from that of more sedentary subjects in composition and particularly at the functional metabolic level. *Gut*. 2018;67(4):625–633. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2016-313627>

10. **Clarke S., Murphy E., O'Sullivan O., Lucey A., Humphreys M., Hogan A., et al.** Exercise and associated dietary extremes impact on gut microbial diversity. *Gut*. 2014;63(12):1913–1920. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2013-306541>

11. **Fritz P., Fritz R., Bóday P., Bóday A., Bató E., Kesserű P., Oláh C.** Gut microbiome composition: link between sports performance and protein absorption? *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2024;21(1):2297992. <https://doi.org/10.1080/15502783.2023.2297992>

12. **Hanton S., Fletcher D.** Stress in elite athletes: a comparative study of competitive and organizational stressors. *J. Sport Science* 2005; 1129–1141. <https://doi.org/10.1080/02640410500131480>

13. **Nutzel B.** Coping strategies for managing stress and promoting mental health in elite athletes: a systematic review. *Front. Sports Act. Living*. 2023;5:1265783. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1265783>

14. **Clark A., Mach N.** Role of Vitamin D in the hygiene hypothesis: the interplay between vitamin D, vitamin D receptors, gut microbiota, and immune response. *Front. Immunol.* 2016;7. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2016.00627>

15. **Borg G.** Psychophysical Bases of Perceived Exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1982;(14):377–381. <https://doi.org/10.1249/00005768-198205000-00012>

16. **Morishita S., Wakasugi T., Kaida K., Itani Y., Ikegame K., Ogawa H., Domen K.** Fatigue, muscle oxygen consumption, and blood flow to skeletal muscle after allogeneic hematopoietic stem cell transplantation. *Adv. Exp. Med. Biol.* 2018;(1072):293–298. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91287-5\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91287-5_47)

17. **Seiler K.S., Kjerland G.** Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution. *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 2006;16(1):49–56. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x>

18. **Федотова Е.В., Сиделёв П.А.** Оптимальные модели распределения нагрузки и использование целевых тренировочных зон в циклических видах спорта на выносливость (анализ зарубежных исследований). *Вестник спортивной науки*. 2021;(6):17–22.

19. **Персиянова-Дуброва А.Л., Матвеева И.Ф., Бубнова М.Г.** Шкала Борга в кардиореабилитации: методология и перспективы использования. *Профилактическая медицина*. 2022;25(9): 90–96.

20. **Borg G.** Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand. J. Rehabil. Med.* 1970;2(2):92–98. <https://doi.org/10.2340/1650197719702239298>

21. **Бахарева А.С., Шибкова Д.З., Эрлих В.В.** Особенности функционального ответа организма лыжников гонщиков

2023;13(3):30–36. (In Russian). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.9>

7. **Morita H., Kano K., Ishii K., Kagata N., Ishikawa T., Hirayama A., et al.** Bacteroides uniformis and its preferred substrate,  $\alpha$ -cyclodextrin, enhance endurance performance in mice and male mice. *Science Advances*. 2023;9(4):eadd2120. <https://doi.org/10.1126/sciadv.add2120>

8. **Petersen L., Bautista E., Nguyen H., Hanson B.M., Chen L., Lek S.H., et al.** Community characteristics of the gut microbiomes of competitive cyclists. *Microbiome*. 2017;5(1):98. <https://doi.org/10.1186/s40168-017-0320-4>

9. **Barton W., Penney N., Cronin O., Garcia-Perez I., Molloy G., Holmes E., Shanahan F., Cotter P., O'Sullivan O.** The microbiome of professional athletes differs from that of more sedentary subjects in composition and particularly at the functional metabolic level. *Gut*. 2018;67(4):625–633. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2016-313627>

10. **Clarke S., Murphy E., O'Sullivan O., Lucey A., Humphreys M., Hogan A., et al.** Exercise and associated dietary extremes impact on gut microbial diversity. *Gut*. 2014;63(12):1913–1920. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2013-306541>

11. **Fritz P., Fritz R., Bóday P., Bóday A., Bató E., Kesserű P., Oláh C.** Gut microbiome composition: link between sports performance and protein absorption? *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2024;21(1):2297992. <https://doi.org/10.1080/15502783.2023.2297992>

12. **Hanton S., Fletcher D.** Stress in elite athletes: a comparative study of competitive and organizational stressors. *J. Sport Science* 2005; 1129–1141. <https://doi.org/10.1080/02640410500131480>

13. **Nutzel B.** Coping strategies for managing stress and promoting mental health in elite athletes: a systematic review. *Front. Sports Act. Living*. 2023;5:1265783. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1265783>

14. **Clark A., Mach N.** Role of Vitamin D in the hygiene hypothesis: the interplay between vitamin D, vitamin D receptors, gut microbiota, and immune response. *Front. Immunol.* 2016;7. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2016.00627>

15. **Borg G.** Psychophysical Bases of Perceived Exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1982;(14):377–381. <https://doi.org/10.1249/00005768-198205000-00012>

16. **Morishita S., Wakasugi T., Kaida K., Itani Y., Ikegame K., Ogawa H., Domen K.** Fatigue, muscle oxygen consumption, and blood flow to skeletal muscle after allogeneic hematopoietic stem cell transplantation. *Adv. Exp. Med. Biol.* 2018;(1072):293–298. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91287-5\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91287-5_47)

17. **Seiler K.S., Kjerland G.** Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution. *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 2006;16(1):49–56. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x>

18. **Fedotova E.V., Sidelev P.A.** Optimal models of load distribution and the use of target training zones in cyclic endurance sports (analysis of foreign studies). *Sports science bulletin*. 2021;(6):17–22. (In Russian).

19. **Persyanova-Dubrova A.L., Matveeva I.F., Bubnova M.G.** Borg scale in cardiac rehabilitation: methodology and prospects for use. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2022; 25(9):90–96. (In Russian). <https://doi.org/10.17116/profmed20222509190>

20. **Borg G.** Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand. J. Rehabil. Med.* 1970;2(2):92–98. <https://doi.org/10.2340/1650197719702239298>

21. **Bakhareva A.S., Shibkova D.Z., Erlich V.V.** Features of the functional response of the body of cross-country skiers with different speed indicators in the load test. *Modern issues of Bio-*

с различными скоростными показателями в нагрузочном тесте. Современные вопросы биомедицины. 2022;6(2). [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2022\\_06\\_02\\_3](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_02_3)

22. **Лабинская А.С., Костюкова Н.Н., Иванова С.М.**, ред. Руководство по медицинской микробиологии. Москва: БИНОМ; 2012.

23. **Мусина Л.Т.**, Физиология бактерий. Методические рекомендации. Казань: КГМУ; 2001.

24. **Мельников А.А., Видулов А.Д.** Функциональная подготовленность спортсменов: учебное пособие. — Ярославль: Изд-во ЯГПУ им. К.Д. Ушинского, 2011. — 83 с.

25. **Балберова О.В., Быков Е.В., Чипышев А.В., Сидоркина Е.Г.** Параметры функциональной подготовленности, сопряженные с высокой физической работоспособностью у спортсменов циклических видов спорта. Современные вопросы биомедицины. 2020; 4(3):7–16.

26. **Мищенко В.С.** Функциональные возможности спортсмена. Киев: Здоровья; 1990.

27. **Celek P., Ostatnikov D., Hodosy J.** On the Effect of Testosterone on Behavioral Functions of the Brain. *Front. Neurosci.* 2015;9. <https://doi.org/10.3389/fnins.2015.00012>

28. **Грязных А.В.** Индекс тестостерон/кортизол как эндокринный маркер процессов восстановления висцеральных систем после мышечного напряжения. Вестник ЮУрГУ. Сер. «Образование, здравоохранение, физическая культура». 2011;(20):107–111.

29. **Гуминский А.А., Леонтьева Н.Н., Маринова К.В.** Руководство к практическим занятиям по общей и возрастной физиологии. Москва: Просвещение; 1990.

30. **Donati Zeppa S., Agostini D., Gervasi M., Annibalini G., Amatori S., Ferrini F., et al.** Mutual Interactions among Exercise, Sport Supplements and Microbiota. *Nutrients.* 2019;12(1):17. <https://doi.org/10.3390/nu12010017>

31. **Scheiman J., Luber J., Chavkin T., MacDonald T., Tung A., Pham L., et al.** Meta-omics analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism. *Nat. Med.* 2019;25(7):1104–1109. <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0485-4>

32. **Кондашевская М.В., Михалева Л.М.** Новые концепции этиологии, диагностики и терапии посттравматического стрессового расстройства. Москва: Группа МДВ; 2024.

33. **Bottacini F., Ventura M., Sinderen D. Motherway M.** Diversity, ecology and intestinal function of bifidobacteria. *Microbial. Cell Fact.* 2014;13(Suppl 1):S4. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-s1-s4>

34. **Захарова Ю.В., Леванова Л.А.** Современные представления о таксономии, морфологических и функциональных свойствах бифидобактерий. *Фундаментальная и клиническая медицина.* 2015;3(1):90–101. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2018-3-1-90-101>

35. **Karl J.P., Margolis L.M., Madslie E.H., Murphy N.E., Castellani J.W. Gundersen Y.** Changes in intestinal microbiota composition and metabolism coincide with increased intestinal permeability in young adults under prolonged physiological stress. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* 2017;312(6):559–571. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00066.2017>

36. **Шуляк Б.Ф.** Энтерогеоморфические штаммы *E. coli*. Обзор. *Альманах клинической медицины.* 2011;(25):72–76.

medicine. 2022;6(2). (In Russian). [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2022\\_06\\_02\\_3](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_02_3)

22. **Labinskaya A.S., Kostyukova N.N., Ivanova S.M.**, eds. Handbook of Medical Microbiology. Moscow: BINOM Publ.; 2012. (In Russian).

23. **Musina L.T.** Physiology of bacteria. Methodical recommendations Kazan: KSMU; 2001. (In Russian).

24. **Melnikov A.A., Vikulov A.D.** Functional physical fitness of athletes: a textbook. Yaroslavl: Publishing house of K.D. Ushinsky YAGPU, 2011. — 83 p. (In Russian).

25. **Balberova O.V., Bykov E.V., Chipyshev A.V., Sidorkina E.G.** Parameters of functional fitness associated with high physical performance in athletes of cyclic sports. *Modern issues of Biomedicine.* 2020;4(3):7–16. (In Russian).

26. **Mishchenko V.S.** Functional capabilities of an athlete. Kyiv: Zdorov'ya; 1990. (In Russian).

27. **Celek P., Ostatnikov D., Hodosy J.** On the Effect of Testosterone on Behavioral Functions of the Brain. *Front. Neurosci.* 2015;9. <https://doi.org/10.3389/fnins.2015.00012>

28. **Gryaznykh A.V.** Index of testosterone/cortisol as an endocrine marker of restorations processes of visceral systems after a muscular pressure. *Vestnik YuUrGU. Ser. «Образование, здравоохранение, fizicheskaya kul'tura».* 2011;(20):107–111. (In Russian).

29. **Guminskii A.A., Leont'eva N.N., Marinova K.V.** Guide to practical classes in general and age-specific physiology. Moscow: Prosveshchenie Publ.; 1990. (In Russian).

30. **Donati Zeppa S., Agostini D., Gervasi M., Annibalini G., Amatori S., Ferrini F., et al.** Mutual Interactions among Exercise, Sport Supplements and Microbiota. *Nutrients.* 2019;12(1):17. <https://doi.org/10.3390/nu12010017>

31. **Scheiman J., Luber J., Chavkin T., MacDonald T., Tung A., Pham L., et al.** Meta-omics analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism. *Nat. Med.* 2019;25(7):1104–1109. <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0485-4>

32. **Kondashevskaya M.V., Mikhaleva L.M.** New concepts of etiology, diagnostics and therapy of post-traumatic stress disorder. Moscow: MDV Group; 2024. (In Russian).

33. **Bottacini F., Ventura M., Sinderen D. Motherway M.** Diversity, ecology and intestinal function of bifidobacteria. *Microbial. Cell Fact.* 2014;13(Suppl 1):S4. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-s1-s4>

34. **Zakharova Yu.V., Levanova L.A.** Current opinion on taxonomy, morphological, and functional properties of bifidobacteria. *Fundamental and Clinical Medicine.* 2015;3(1):90–101. (In Russian). <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2018-3-1-90-101>

35. **Karl J.P., Margolis L.M., Madslie E.H., Murphy N.E., Castellani J.W. Gundersen Y.** Changes in intestinal microbiota composition and metabolism coincide with increased intestinal permeability in young adults under prolonged physiological stress. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* 2017;312(6):559–571. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00066.2017>

36. **Shulyak B.F.** Enterohemorrhagic strains of *E. coli*. Review. *Almanac of Clinical Medicine.* 2011;(25):72–76. (In Russian).

**Информация об авторах:**

**Корюкалов Юрий Игоревич**, к.б.н., научный сотрудник, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», Россия, 454080, г. Челябинск, просп. Ленина, 76. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4897-2613> (yurycorden@yandex.ru)

**Лапшин Максим Сергеевич**<sup>\*</sup>, к.б.н., доцент кафедры журналистики, рекламы и связи с общественностью, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», Россия, 454080, г. Челябинск, просп. Ленина, 76. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8290-1774> (lapshin1982@yandex.ru)

**Кондашевская Марина Владиславовна**, д.б.н., главный научный сотрудник Научно-исследовательский институт морфологии человека имени академика А.П. Авцына ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского», Россия, 117418, г. Москва, ул. Цюрупы, д. 3. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8096-5974> (aktual\_probl@mail.ru)

**Бахарева Анастасия Сергеевна**, к.б.н., доцент кафедры спортивного совершенствования ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», Россия, 454080, г. Челябинск, просп. Ленина, 76. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0518-7751> (bakharevaas@susu.ru)

**Савиных Елена Юрьевна**, к.б.н., доцент кафедры спортивного совершенствования ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», Россия, 454080, г. Челябинск, просп. Ленина, 76. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-4861> (savinykhei@susu.ru)

**Information about the authors:**

**Yuri I. Koryukalov**, M.D., Ph.D. (Biology), researcher at the South Ural State University (NRU), 76, Lenin Ave, Chelyabinsk, 454080, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4897-2613> (yurycorden@yandex.ru)

**Maxim S. Lapshin**<sup>\*</sup>, M.D., Ph.D. (Biology), Associate Professor, department of journalism, advertising and public relations, South Ural State University (NRU), 76, Lenin Ave, Chelyabinsk, 454080, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8290-1774> (lapshin1982@yandex.ru)

**Marina V. Kondashevskaya**, D.Sc. (Biology), Chief Researcher of the Cell Pathology Lab of Avtsyn Research Institute of Human Morphology of Petrovsky National Research Centre of Surgery, 3, Tsurupi street, Moscow, 117418, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8096-5974> (aktual\_probl@mail.ru)

**Anastasiya S. Bakhareva**, M.D., Ph.D. (Biology), Associate Professor of the Department of Sports Improvement of the South Ural State University (NRU), 76, Lenin Ave, Chelyabinsk, 454080, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0518-7751> (bakharevaas@susu.ru)

**Elena Yu. Savinih**, M.D., Ph.D. (Biology), department of sports improvement of the South Ural State University (NRU), 76, Lenin Ave, Chelyabinsk, 454080, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-4861> (savinykhei@susu.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## Актуальные классификации мышечных травм: преимущества и недостатки

Э.Н. Безуглов<sup>1,2</sup>, В.Ю. Хайтин<sup>3,4</sup>, О.А. Этемад<sup>2</sup>, Е.О. Лебеденко<sup>1,2,\*</sup>, А.П. Гринченко<sup>5</sup>, А.М. Филимонова<sup>6</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

<sup>2</sup> Футбольный клуб «ЦСКА», Москва, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. Павлова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Футбольный клуб «Зенит», Санкт-Петербург, Россия

<sup>5</sup> Научно-клинический центр № 2 ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского», Москва, Россия

<sup>6</sup> Консультативно-диагностический центр Научно-клинического центра № 2 ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского», Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Введение:** Несмотря на большое количество классификаций мышечных травм, предложенных различными экспертными группами, до сих пор не существует классификации, которая могла бы полностью удовлетворить требования практикующих специалистов в отношении прогнозирования сроков лечения и минимизации риска рецидива. В то же время разнообразие классификаций может приводить к различной интерпретации степени тяжести одной и той же травмы с последующей вариабельностью в отношении выбора реабилитационного протокола и его длительности.

**Цель:** анализ преимуществ и недостатков наиболее распространенных классификаций мышечных травм в практике специалистов, работающих со спортсменами.

**Материалы и методы:** В базах данных Pubmed и Google Scholar был произведен поиск статей на английском языке, в которых описывались классификации мышечных травм, предложенные с 2000 года. Для поиска использовались следующие словосочетания: «classification of muscle injuries», «grading of muscle injuries», «muscle damage» и «muscle injuries». Дизайн исследования — повествовательный обзор.

**Результаты:** Было обнаружено восемь классификаций, предложенных различными экспертными группами, начиная с 2000 года. Наиболее часто используемыми в настоящее время можно считать классификации мышечных повреждений Мюнхенского консенсуса и Британской атлетической ассоциации, а также классификацию MLG-R, в основе которых в различных сочетаниях находятся клиническая симптоматика, механизм получения травмы и ее локализация, а также результаты магнитно-резонансной томографии.

**Заключение:** В настоящее время существует несколько наиболее широко используемых классификаций мышечных травм, и сообщества практикующих специалистов должны оценивать это многообразие при определении степени тяжести травмы и прогнозировании сроков лечения, а также использовать одну и ту же классификацию.

**Ключевые слова:** мышечные повреждения, спортсмены, диагностика, спортивный травматизм, грация мышечных повреждений

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Безуглов Э.Н., Хайтин В.Ю., Этемад О.А., Лебеденко Е.О., Гринченко А.П., Филимонова А.М. Актуальные классификации мышечных травм: преимущества и недостатки. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(2):45–57. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.3>

Поступила в редакцию: 09.09.2024

Принята к публикации: 29.09.2024

Online first: 17.10.2024

Опубликована: 15.12.2024.

\* Автор, ответственный за переписку

## Current classifications of muscle injuries: strengths and limitations

Eduard N. Bezuglov<sup>1,2</sup>, Vladimir Yu. Khaitin<sup>3,4</sup>, Omid A. Etemad<sup>2</sup>, Evgeniy O. Lebedenko<sup>1,2,\*</sup>,  
Alesya P. Grinchenko<sup>5</sup>, Anastasia M. Filimonova<sup>6</sup>

<sup>1</sup> First Moscow Sechenov Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

<sup>2</sup> CSKA Football Club, Moscow, Russia

<sup>3</sup> First St. Petersburg Medical University named after Pavlov. Pavlov First St. Petersburg Medical University, St. Petersburg, Russia

<sup>4</sup> Zenit Football Club, St. Petersburg, Russia

<sup>5</sup> Research and Clinical Center No. 2 of the Russian Scientific Center of Surgery named after Acad. B.V. Petrovsky, Moscow, Russia

<sup>6</sup> Consultative and Diagnostic Center of the Scientific and Clinical Center No. 2 of the Russian Scientific Center of Surgery named after Acad. B.V. Petrovsky, Moscow, Russia

### ABSTRACT

**Introduction:** Despite the large number of classifications of muscle injuries proposed by different expert groups, there is still no classification that can fully satisfy the requirements of practitioners in terms of predicting the duration of treatment and minimising the risk of recurrence. At the same time, the diversity of classifications may lead to different interpretations of the severity of the same injury with subsequent variability in the choice of rehabilitation protocol and its duration.

**Aim:** to analyse the advantages and disadvantages of the most common classifications of muscle injuries in the practice of professionals working with athletes.

**Materials and methods:** The Pubmed and Google Scholar databases were searched for articles in English describing classifications of muscle injuries proposed since 2000. The following word combinations were used for the search: 'classification of muscle injuries', 'grading of muscle injuries', 'muscle damage' and 'muscle injuries'. The study design was a narrative review.

**Results:** Eight classifications proposed by different expert groups since 2000 were found. The Munich Consensus and British Athletic Association classifications of muscle injuries and the MLG-R classification can be considered the most commonly used at present, based on various combinations of clinical symptomatology, mechanism of injury and localisation, and magnetic resonance imaging findings.

**Conclusion:** There are currently several of the most widely used classifications of muscle injuries, and communities of practice should appreciate this diversity when determining injury severity and predicting treatment time, and use the same classification.

**Keywords:** muscle injuries, athletes, diagnosis, sports injuries, grading of muscle injuries

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Bezuglov E.N., Khaitin V.Y., Etemad O.A., Lebedenko E.O., Grinchenko A.P., Filimonova A.M. Current classifications of muscle injuries: strengths and limitations. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(2):45–57. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.3>

**Received:** 09 September 2024

**Accepted:** 29 September 2024

**Online first:** 17 October 2024

**Published:** 15 December 2024

\*Corresponding author

### 1. Введение

Самыми распространенными травмами в профессиональном футболе являются повреждения мышц нижних конечностей, лечение которых часто является сложной задачей для врачей и реабилитологов, что связано с необходимостью максимально быстрого возобновления регулярной тренировочной деятельности и минимизацией риска рецидивов подобных повреждений. Актуальность данной проблемы обусловлена не только их широкой распространенностью, но и достаточно длительными сроками лечения, возрастающим удельным весом в общей структуре спортивного травматизма, большим количеством рецидивов и значительными

экономическими затратами. Согласно данным Ekstrand и соавт., процент мышечных травм среди футболистов ведущих европейских футбольных команд остается высоким без тенденции к его снижению [1], частота рецидивов среди них достигает 16–24 %, а длительность лечения подобных травм средней тяжести находится в диапазоне 13–20 дней [2, 3], в течение которых футболисты ведущих европейских чемпионатов могут пропустить 4–5 игр. В связи с указанными выше данными представляется особенно важным объективизация степени тяжести, что позволит не только составить корректный протокол лечения, но и спрогнозировать длительность лечения, которая в профессиональном спорте

оценивается как период с момента получения травмы до момента начала тренировок в общей группе без каких-либо ограничений [4].

Для реализации этих целей на протяжении многих десятилетий использовались классификации, в основе которых находилась только степень повреждения той или иной мышцы без учета клинической симптоматики, механизма повреждения и локализации повреждения относительно различных отделов мышцы (сухожилие, брюшко мышцы, сухожильно-мышечный переход). Одной из наиболее популярных среди них была классификация мышечных травм, опубликованная O'Donoghue еще в 1962 году [5]. Она основана на тяжести травмы, связанной с объемом повреждения и сопутствующими ему функциональными ограничениями. Согласно данной классификации, все мышечные повреждения можно разделить на три степени: 1-я — без заметного повреждения, 2-я — с повреждением ткани и снижением прочности мышечно-сухожильного компонента и 3-я — с полным разрывом мышечно-сухожильного компонента и полной потерей функции мышцы.

Основными ограничениями используемых на протяжении многих десятилетий XX века классификаций являлся однотипный подход к описанию мышечных травм, не учитывающий тип травматизации, ее механизм, а также локализацию повреждения относительно различных отделов мышцы.

Учитывая значительную потребность практикующих специалистов, прежде всего в прогнозировании сроков лечения мышечных повреждений, в последние десятилетия были предложены сразу несколько классификаций мышечных повреждений, в основе которых находятся как данные только аппаратных методов визуализации мышечной ткани, так и их сочетание с клинической симптоматикой и целым рядом других параметров [6]. Наличие большого количества подобных классификаций представляет практический интерес.

**Цель:** анализ преимуществ и недостатков наиболее распространенных классификаций мышечных травм в практике специалистов, работающих со спортсменами.

## 2. Материалы и методы

Дизайн исследования — повествовательный обзор.

В базах данных Pubmed, Google Scholar и Scopus двумя исследователями независимо друг от друга был произведен поиск статей на английском языке, в которых описывались современные классификации мышечных травм, предложенные с 2000 года. Для поиска использовались следующие словосочетания: «classification of muscle injuries», «grading of muscle injuries», «muscle damage» и «muscle injuries». Были изучены аннотации всех обнаруженных публикаций (оригинальные исследования, обзоры разного типа, консенсусные заявления) а также их пристатейные списки.

В случае возникновения между исследователями разночтений в отношении необходимости включения той

или иной статьи в обзор, финальное решение принимал третий исследователь — первый соавтор обзора.

## 3. Результаты

В результате проведенного поиска были обнаружены восемь классификаций мышечных повреждений, которые были предложены различными экспертными сообществами в период с 2002 по 2017 год. Среди этих классификаций были основанные как на результатах только аппаратной визуализации (магнитно-резонансная томография и/или ультразвуковое исследование), так и на основании сочетания клинических симптомов и данных аппаратной визуализации. К первой группе относятся классификации, предложенные Peetrans [7] в 2002 году, Stoller в 2007 году [8] и Chan и соавт. в 2012 году [9]. Ко второй группе относятся классификации Cohen et al. [10], Мюнхенского консенсуса (Munich Muscle Injury Classification) [11], итальянского сообщества по изучению мышц, сухожилий и связок («the Italian Society of Muscles, Ligaments and Tendons» (ISMULT classification)) [12] и Британской атлетической ассоциации (the British Athletic muscle injury Classification (BAMIC)) [13], предложенные в 2011, 2012, 2013, 2014 годах соответственно. Единственной классификацией, в которой помимо данных аппаратной визуализации использовалась информация о механизме травмы, являлась классификация MLG-R [14], опубликованная в 2017 году (табл. 1).

Для более полного понимания отличительных особенностей наиболее популярных среди специалистов классификаций ниже подробно описаны классификации Британской атлетической ассоциации, MLG-R и Мюнхенского консенсуса, которые согласно данным Paton et al., наиболее часто использовались участниками Лондонской консенсусной группы по изучению мышечных травм в спорте [15] (табл. 2–4). Это позволит каждому специалисту составить собственное представление об их удобстве и применимости в собственной практической деятельности.

### Классификация мышечных повреждений Мюнхенского консенсуса

В 2013 году в Мюнхене (Германия) было собрано консенсусное совещание специалистов, которые подтвердили сохраняющуюся выраженную вариабельность в использовании терминологии, касающейся мышечных повреждений, с наиболее очевидными несоответствиями для термина «мышечное растяжение» («muscle strain»). В результате консенсуса была предложена новая классификация, согласно которой все травмы делятся на прямые (контузии) и непрямые. В свою очередь, непрямые травмы делятся на функциональные и структурные, среди которых выделяют четыре типа, в каждом из которых есть подклассы А и В.

В классификации дается определение каждому типу травмы, описаны ее клинические и радиологические

Таблица 1

## Краткий обзор классификаций мышечных повреждений

Table 1

## A brief review of classifications of muscle injuries)

Наименование классификации	Оцениваемые параметры	Метод визуализации	Степень
Классификация Британской атлетической ассоциации [Pollock et al., 2014]	клинические симптомы + визуализация (локализация, степень повреждения)	МРТ	Степени 0–4 Подклассы a, b для степеней 0–1 Подклассы a, b, c для степеней 2–4
Классификация MLG-R [Valle et al., 2017]	визуализация (локализация, степень повреждения) + механизм травмы + наличие/отсутствие рецидива	МРТ	Степени 0–3 Подклассы, связанные с типом травмы (I, T) механизмом травмы (s, p), ее локализацией (P, M, D), наличием изменений при выполнении МРТ (N), вовлечении сухожилия (r), количества рецидивов (0–2)
Классификация Мюнхенского консенсуса [Mueller-Wohlfahrt et al., 2013]	клинические симптомы + визуализация (локализация, степень повреждения)	МРТ	Типы 1–4 Подклассы А, В
Классификация Chan [Chan et al., 2012]	визуализация (локализация, степень повреждения)	МРТ, УЗИ	Степени 1–3 Виды локализации 1–3 с подклассами а–с
Классификация Peetr ons [Peetr ons, 2002]	визуализация (степень повреждения)	УЗИ	Степени 0–3
Классификация Cohen [Cohen et al., 2011]	визуализация (локализация, степень повреждения)	МРТ	Степени 1–3 Сумма баллов более 10 или менее 10
Классификация Итальянского общества [Maffulli et al. 2014]	визуализация (локализация, степень повреждения), клинические симптомы	МРТ	Типы 1–4
Классификация Stoller [Stoller et al., 2007]	визуализация (степень повреждения)	МРТ	Степени 0–3

симптомы. В классификации Мюнхенского консенсуса впервые были отдельно классифицированы мышечные травмы, связанные с перенапряжением (функциональные), которые чаще всего не визуализируются при выполнении МРТ (хотя это и не означает, что структурных повреждений мышечной ткани нет) — к ним относятся функциональные мышечные расстройства, связанные с перенапряжением и нервно-мышечные мышечные расстройства без макроскопических признаков повреждения волокон. В связи с этим можно утверждать, что в этой классификации впервые была сделана попытка классифицировать все возможные виды мышечной травмы, в том числе отсроченную мышечную болезненность.

В исследовании, в котором изучалось надежность этой классификации в отношении прогнозирования сроков возобновления РТД, было подтверждено,

что мышечные повреждения, которые визуализируются при выполнении МРТ (структурные) сопровождаются большей длительностью лечения, чем функциональные повреждения, а структурные повреждения средней степени тяжести, субтотальные или тотальные мышечные повреждения имеют худший прогноз по сравнению с мышечными повреждениями легкой степени. В то же время в этом исследовании не было продемонстрировано достаточно доказательств клинической и радиологической валидации новой классификации. Например, в отношении повреждений типа 3 А (незначительного) и 3 В (умеренного) и субтотальных повреждений мышц период до возобновления РТД находился в очень широких диапазонах: 3–132, 8–111 и 52–61 день соответственно [11]. Такой широкий разброс в отношении длительности лечения структурных повреждений свидетельствуют об ограниченной

**Классификация Мюнхенского консенсуса**

**Munich Muscle Injury Classification**

Тип травмы	Определение	Симптомы	Клинические признаки	Локализация	Визуализация (УЗИ/МРТ)
1 А Вызванное усталостью мышечное расстройство	Ограниченное повышение мышечного тонуса вследствие перенапряжения, изменения игровой поверхности или изменения в паттерне тренировок	Болезненный спазм мышцы. Усиливается при постоянной активности. Может провоцировать боль в состоянии покоя, во время или после физической активности	Тупая, диффузная, терпимая боль в вовлеченных мышцах, выраженное повышение тонуса. Спортсмен сообщает о «мышечном уплотнении»	Очаговое поражение по всей длине мышцы	Изменения отсутствуют
1 В Отсроченная мышечная болезненность	Более генерализованная мышечная боль после непривычных, эксцентрических движений, торможений	Острая воспалительная боль. Боль в состоянии покоя. Через несколько часов после активности	Отеки, ригидность мышцы. Ограниченный диапазон движений в смежных суставах. Боль при изометрическом сокращении. Терапевтическое растяжение приводит к облегчению	В основном вся мышца или группа мышц	Изменения отсутствуют или только отек
2 А Связанное с позвоночником нервно-мышечное расстройство	Ограниченное повышение мышечного тонуса вследствие функционального или структурного расстройства позвоночника	Болезненный спазм мышцы. Усиливается при постоянной активности. В состоянии покоя боли нет	Ограниченное повышение мышечного тонуса. Разрозненный отек между мышцами и фасцией. Иногда возникает кожная чувствительность, защитная реакция при мышечном растяжении. Боль при надавливании	Мышечный пучок или большая группа мышц, по всей их длине	Изменения отсутствуют или только отек
2 В Нервно-мышечное расстройство, связанное с мышцами	Круговая (веретенообразная) область повышенного мышечного тонуса. Может возникать в результате дисфункции нервно-мышечного контроля, такого как реципрокное торможение	Болезненность, постепенно нарастающий мышечный спазм и напряжение. Боль, похожая на судорогу	Круговая (веретенообразная) область повышенного мышечного тонуса, отечная форма. Терапевтическое растяжение приводит к облегчению. Боль при надавливании	В основном по всей длине мышечного брюшка	Изменения отсутствуют или только отек
3 А Незначительный частичный разрыв мышцы	Разрыв с максимальным диаметром менее чем мышечный пучок	Острая, колющая боль в момент травмы. Спортсмен часто испытывает «щелчок» с последующим внезапным появлением локализованной боли	Хорошо выраженная локализованная боль. Возможно, пальпируемый дефект в волокнистой структуре в пределах мышечной группы. Растяжение способствует усилению боли	В первую очередь мышечно-сухожильный переход	Наличие изменений, при МРТ высокого разрешения, разрушение волокон. Внутримышечная гематома

Таблица 2. Продолжение

Table 2. Continued

Тип травмы	Определение	Симптомы	Клинические признаки	Локализация	Визуализация (УЗИ/МРТ)
3 В Умеренный частичный разрыв мышцы	Разрыв диаметром больше, чем мышечный пучок	Колющая, острая боль, часто осязаемый разрыв в момент травмы. Спортсмен часто испытывает «щелчок», за которым следует внезапный приступ локализованной боли. Возможное падение спортсмена	Хорошо выраженная локализованная боль. Пальпируемый дефект мышечной структуры, часто гематома, фасциальное повреждение. Растяжение вызывает усиление боли	В первую очередь мышечно-сухожильный переход	Наличие повреждения волокон, возможно включающие небольшую ретракцию, фасциальные повреждения и межмышечную гематому
4 Субтотальный разрыв мышцы/авульсия сухожилия	Субтотальный/полный разрыв мышцы по всему диаметру с отрывом сухожилия от места соединения с костью	Тупая боль в момент травмы. Значительный разрыв. Спортсмен испытывает «щелчок», за которым следует внезапный приступ локализованной боли. Часто падает	Большой дефект в мышце, гематома, пальпируемая зона, гематома, мышечная ретракция, боль при движении, потеря функции	В первую очередь мышечно-сухожильное соединение, либо соединение сухожилие-кость	Субтотальный/полный разрыв мышцы/сухожилия. Возможна волнистая морфология сухожилия и ретракция. С фасциальным повреждением и межмышечной гематомой
Контузия, ушиб. Прямая травма	Прямая травма мышц, вызванная тупой внешней силой. Приводит к диффузной или ограниченной гематоме внутри мышцы, вызывая боль и потерю подвижности	Тупая боль в момент травмы, возможно, усиливающаяся в связи с увеличением гематомы. Спортсмен часто сообщает об определенном внешнем механизме	Тупая, диффузная боль, гематома, боль при движении, отек, снижение амплитуды движений, болезненность при пальпации в зависимости от тяжести удара. Спортсмен может быть в состоянии продолжать занятия спортом, в отличие от непрямой структурной травмы	Любая мышца, но чаще всего одна из головок четырехглавой мышцы бедра	Диффузная или ограниченная гематома различных размеров

прогностической ценности этой классификации, особенно в отношении травм типов 3 А и 3 В. Существует чрезвычайно широкий диапазон и при оценке длительности лечения функциональных (и, казалось бы, более легких) и структурных повреждений. Их длительность составляла 1–100 и 2–156 дней соответственно, что не позволяет сколь-либо обоснованно прогнозировать сроки лечения травм разных типов. То есть функциональные повреждения могут иметь худший прогноз в отношении длительности лечения, чем структурные повреждения, и нет прогностических различий между различными их подклассами.

Изучение валидности этой классификации, проведенное Ekstrand и соавт., позволило сделать вывод о том, что она может быть полезной в отношении структурных, но не функциональных мышечных травм [16].

К недостаткам этой классификации можно отнести и отсутствие учета механизма повреждения

в отношении структурных травм, что может значительно влиять на сроки лечения. В ней также игнорируется важный критерий для прогнозирования сроков лечения — отсутствие изменений в мышечной ткани при выполнении МРТ. В то же время при функциональных повреждениях мышечной ткани при выполнении МРТ также могут визуализироваться достаточно выраженные изменения, которые могут привести к некорректной градации травмы [17].

#### Классификация MLG-R

В основе этой классификации также находится консенсусное мнение группы экспертов, опубликованное в 2017 году. Необходимость такой классификации, по мнению экспертов этой группы, была связана с необходимостью получения полной информации о травме для оптимизации протокола ее лечения и сроков возобновления регулярной тренировочной деятельности.

Эксперты этой группы также отметили, что на момент деятельности этой группы не было классификации мышечных повреждений, в которой были бы минимизированы такие факторы, как их ограниченная клиническая применимость, субъективность некоторых параметров и вариабельность используемой терминологии.

Ключевой особенностью классификации MLG-R является определение повреждений в зависимости от степени вовлечения в патологический процесс той или иной соединительнотканной структуры, расположенной в мышцах (внутримышечное сухожилие, сухожильно-мышечный переход и т.д.). Это связано с тем, что авторы данной классификации считают, что именно степень травматизации вышеописанных структур определяет сроки лечения и вероятность рецидивирования того или иного мышечного повреждения.

В результате на основании фактических данных и экспертном мнении консенсуса была предложена система классификации мышечных травм, основанная на системе четырех букв: M, L, G и R, где M — это механизм травмы, L — локализация травмы, G — степень тяжести травмы и R — количество повторных травм [14]. Необходимо отметить, что в этой классификации в качестве одного из используемых параметров было включено отличие или наличие рецидивов мышечного повреждения, которые могут значительно увеличивать длительность лечения [2]. При этом важно отметить, что понятие «рецидив» в интерпретации авторов данной классификации отличается от общепринятого. Так, в классическом понимании под рецидивом понимается любая новая травма мышцы с таким же механизмом повреждения без привязки к ее локализации в отношении к различным соединительнотканным структурам [18]. В интерпретации же авторов классификации MLG-R под рецидивом понимается любая новая травма мышцы с таким же механизмом действия, связанная с той же соединительнотканной структурой мышцы. То есть, если непрямая первичная травма была локализована в дистальном сухожильно-мышечном переходе двуглавой мышцы бедра, то полученная через два месяца непрямая травма, локализованная в проксимальном сухожильно-мышечном переходе, не будет расцениваться как рецидив [14].

Надежность, прогностическая ценность и объективность этой классификации была проверена в исследовании с участием взрослых футболистов (включая первую команду) и двух молодежных команд ФК «Барселона», в период 2010–2020 годы. В исследование были включены только игроки с травмами задней группы мышц бедра, которые были верифицированы с использованием МРТ. Всего в указанный период было 76 подобных травм у 42 разных игроков.

В 65,8% случаев они были 3-й степени по классификации MLG-R, в 71,1% случаев локализовались в длинной головке двуглавой мышцы бедра и в 43,4% были локализованы в проксимальном мышечно-сухожильном

переходе. Средние сроки возобновления регулярной тренировочной деятельности для травм 1, 2 и 3-й степени составили 14, 12, и 37 дней соответственно, при этом травмы, локализованные в проксимальной части сухожильно-мышечного перехода, требовали в среднем 32 дня до возвращения к РТД, а травмы, локализованные в дистальной части сухожильно-мышечного перехода, — 24 дня. При травмах свободного сухожилия длинной головки двуглавой мышцы бедра 3-й степени медианное время возвращения к РТД составило 56 дней, в то время как при травмах, расположенных в центральном сухожилии, этот срок составлял 24 дня. Статистический анализ показал превосходную прогностическую силу системы классификации MLG-R, а наиболее важными факторами для определения сроков возвращения к РТД была локализация травмы в свободном сухожилии длинной головки двуглавой мышцы бедра или травма 3-й степени [19].

Важным аспектом в классификации MLG-R можно считать учет такого параметра, как механизм повреждения в случаях не прямых травм. Это связано с тем, что, например, в отношении травм мышц задней группы бедра существуют убедительные доказательства влияния механизма травмы на сроки лечения. Подобные травмы, полученные при выполнении спринта и при чрезмерном растяжении (стретчинге), при одинаковой степени повреждения по данным МРТ, имеют принципиально разные сроки лечения. В исследовании Askling и соавт. с участием элитных спринтеров и танцоров было продемонстрировано, что медианное время возвращения к дотравматическому уровню специфической работоспособности для травм одной локализации с разными механизмами травматизации составило 16 и 50 недель для травм, полученных при выполнении спринта и перерастяжении, соответственно [20].

#### **Классификация Британской атлетической ассоциации**

Эту классификацию можно считать наиболее часто используемой среди специалистов, работающих со спортсменами как за рубежом [15], так и в России [21, 22]. В ее основе находится сочетание клинической симптоматики (ее выраженности и длительности), а также данные магнитно-резонансной томографии. В последние годы проведено множество исследований, в которых изучалась валидность этой классификации в отношении сроков возобновления РТД, и в них оценивались результаты лечения спортсменов разного уровня с травмами мышц не только задней группы бедра, но и других локализаций.

Так, в исследовании McAleer и соавт. были проанализированы исходы лечения легкоатлетов с травмами прямой мышцы бедра. Средний срок восстановления после таких травм в этой группе был около 20 дней ( $20,4 \pm 14,8$  дня), а на лечение травм первой степени

Таблица 3

## Классификация мышечных повреждений MLG-R

Table 3

## MLG-R classification of muscle injuries

Механизм травмы (M)	Локализация травмы (L)	Оценка тяжести (G)	Рецидив (R)
Прямой (T)	P — проксимальная 1/3 мышечного брюшка M — средняя 1/3 мышечного брюшка D — дистальная 1/3 мышечного брюшка	0–3	0: первичная травма 1: первый рецидив 2: второй рецидив
Непрямой (I) s — для травм, полученных при стретчинге; p — для травм, полученных во время ускорения (спринта)	P — проксимальная 1/3 мышечного брюшка* M — средняя 1/3 мышечного брюшка* D — дистальная 1/3 мышечного брюшка* *вторая буква является субиндексом для описания проксимальной (p) или дистальной (d) части мышечно-сухожильного перехода	0–3	0: первичная травма 1: первый рецидив 2: второй рецидив
Мышечные травмы без визуализации при МРТ (N) s — для травм, полученных при стретчинге p — для травм, полученных во время ускорения (спринта)	N p — повреждение проксимальной 1/3 N m — повреждение средней 1/3 N d — повреждение дистальной 1/3	0–3	0 — первичная травма 1 — первый рецидив 2 — второй рецидив

0: не прямые мышечные травмы с клиническими симптомами, но не визуализирующиеся при выполнении МРТ (вторая буква описывает локализацию боли в мышечном брюшке)

1: отек мышечных волокон без внутримышечной гематомы или изменений архитектоники мышцы (интерстициальная гиперинтенсивность сигнала с первичным распределением на PD FS или T2 STIR FSE импульсных последовательностях);

2: отек мышечных волокон (гиперинтенсивный сигнал на чувствительных к жидкости импульсных последовательностях с жироподавлением) и/или отек сухожилия с незначительным нарушением архитектоники мышечных волокон (размытость волокон и/или искажение угла) ± незначительное внутримышечное кровоизлияние, но без количественно определяемого разрыва между волокнами — сигнальные характеристики отека на МРТ такие же, как и при степени 1;

3: любое количественно определяемое пространство между волокнами во фронтальной или аксиальной плоскостях, очаговый дефект (гиперинтенсивный сигнал на чувствительных к жидкости импульсных последовательностях с жироподавлением) с частичной ретракцией мышечных волокон ± внутримышечное кровоизлияние с наличием зазора между волокнами в зоне максимально выраженного повреждения в аксиальной плоскости пораженного мышечного брюшка. В качестве дополнительной оценки должен быть точно определен процент площади поперечного сечения поврежденной мышцы;

«R» (в виде надстрочного индекса) добавляется при внутрисухожильной травме или травме, затрагивающей мышечно-сухожильный переход или внутримышечное сухожилие, при которой наблюдается разрыв/растяжение

требовалось гораздо меньше времени при сравнении с подобными травмами второй и третьей степени ( $p = 0,04$  и  $p = 0,01$  соответственно). При этом повреждения, локализованные в миофасциальной зоне (подкласс «а»), значительно реже рецидивировали при сравнении с повреждениями подклассов «b» и «с» ( $p = 0,048$ ). Травмы 3-й степени имели повышенный показатель повторных травм по сравнению с другими степенями ( $p = 0,02$ ). Авторы также отметили, что травмы, локализованные в сухожилиях, требовали наибольшей длительности лечения [23].

В одном из самых актуальных исследований, опубликованных в 2022 году Pollock и соавт., была изучена длительность возобновления полноценных тренировок элитными легкоатлетами с повреждениями мышц задней группы бедра. Авторы также как и в более ранних

исследованиях продемонстрировали, что степень повреждения и его локализация внутри сухожилия значительно коррелировали с увеличенным периодом возобновления полноценных тренировок, а среднее его значение для всей выборки составило 18,6 дня. Наиболее длительный период восстановления требовался для повреждений степени 2 с и 3 с ( $34 \pm 7$  и  $48 \pm 17$  дней соответственно), а количество повторных травм было около 3%. Полученные данные позволили сделать вывод о том, что использование этой классификации при лечении травм мышц задней группы бедра приводит к низким показателям повторных травм, а ключевыми параметрами МРТ, связанными с более длительным восстановлением, являются размер мышечного отека мышцы, объем повреждения сухожилия и нарушение натяжения сухожильных волокон [24].

Таблица 4

**Классификация мышечных повреждений Британской атлетической ассоциации**

Table 4

**(British Athletic Association classification of muscle injuries)**

Степень	Клинические симптомы	Локализация	МРТ
0 — легкая степень	Болезненность в мышцах	0a — очаговая 0b — на протяжении	Изменения отсутствуют
1 — незначительное повреждение (растяжение/микронадрыв)	Боль появляется во время или после тренировок. Диапазон движения становится безболезненным через 24 часа	1a — внутримышечная гематома 1b — повреждение сухожилия или мышечно-сухожильного соединения	Повреждение до 10 % площади мышцы, разрушение мышечных волокон <1 см
2 — повреждение средней тяжести	Лимитирующий дискомфорт сохраняется и после 24 часов, отмечается снижение мышечной силы	2a — повреждение от фасции, вглубь мышечной ткани 2b — повреждение мышцы или мышечно-сухожильного соединения 2c — повреждение сухожилия	Повреждение составляет 10–50 % поперечного сечения мышцы, разрушение мышечных волокон <5 см
3 — значительное (субтотальное) повреждение	Внезапная резкая боль, сохраняющаяся при бытовой активности. Сниженный диапазон движения в течение недели и более	3a — миофасциальное повреждение 3b — повреждение мышцы или мышечно-сухожильного соединения 3c — повреждение сухожилия (субтотальный разрыв)	Повреждение составляет >50 % поперечного сечения мышцы, разрушение волокна >5 см
4 — полный разрыв мышцы	Резкая внезапная боль, немедленное ограничение подвижности	4a — разрыв мышцы 4b — разрыв мышечно-сухожильного соединения 4c — разрыв сухожилия	Полный разрыв

**4. Дискуссия**

В настоящее время практикующими специалистами наиболее часто используются классификация Мюнхенского консенсуса [11], классификация MLG-R [14] и классификация Британской атлетической ассоциации (BAMIC) [13]. Среди них наиболее часто используемой ведущими зарубежными специалистами в настоящее время можно считать BAMIC, которую в своей практике при диагностике повреждений мышц задней группы бедра применяли 58 % специалистов, участвовавших в работе Лондонской консенсусной группы экспертов. Классификацию Мюнхенского консенсуса и классификацию MLG-R применяли в своей практике 12 и 6 % специалистов соответственно [15].

В то же время целый ряд специалистов в своей работе продолжает использовать классификации Peetrans [7], Chan и соавт. [9] и Stoller [8], в основе которых находятся только данные аппаратных методов диагностики (УЗИ и МРТ/УЗИ соответственно) [25]. При этом в отношении классификаций Peetrans, Chan и BAMIC есть данные о том, что и они не могут использоваться для прогнозирования РТД, например при МРТ-позитивных травмах мышц задней группы бедра [26].

Важно отметить, что авторы всех классификаций всегда отмечают, что необходимость в создании новой диктуется несовершенством уже существующих. Это лишний раз подчеркивает тот факт, что до сих пор нет классификации, которую можно считать оптимальной в отношении ключевого для ее ценности параметра — способности прогнозировать длительность лечения и возобновления регулярной тренировочной деятельности.

Однако учитывая многогранность и вариабельность факторов, влияющих на указанные ключевые параметры (в том числе, данные клинических и функциональных тестов [27], психологическое состояние спортсмена, стиль поведения тренеров [28]), создание такой классификации, вероятно, является труднодостижимой целью. Необходимо помнить и о том, что согласно имеющимся данным, в подавляющем большинстве случаев (в 89 %) в мышечной ткани спортсменов при выполнении МРТ остаются изменения даже после возобновления РТД и наличие этих изменений не связано с увеличением количества рецидивов [29]. То есть данные аппаратных методов визуализации не должны быть определяющими как в отношении вопроса о возобновлении РТД, так и ее безопасности с точки зрения развития рецидивов

повреждения. Поэтому не должно вызывать удивления, что во всех существующих консенсусах не применялись данные аппаратных методов визуализации о состоянии мышечной ткани в качестве критерия возобновления спортсменами РТД [30–32].

Проведенный анализ наиболее актуальных классификаций мышечных повреждений продемонстрировал, что до сих пор нет оптимального ее варианта, полностью обеспечивающего требования практикующих специалистов. Также ни в одной из них не учитываются такие параметры, как выраженность болевого синдрома после получения травмы, отношение самих спортсменов к полученной травме и длительность сохранения болевого синдрома при обычной ходьбе, которые могут коррелировать со сроками лечения [33–35]. Ни в одной классификации не оценивались и протоколы лечения, которые применяются в первые часы и дни после получения травмы и которые могут значительно влиять на выраженность болевого синдрома (например, при использовании больших доз анальгетиков). Да и само понятие «регулярная тренировочная деятельность» до сих пор является не строго определенным и не имеет четких критериев, связанных как с необходимой двигательной активности спортсменов, так и с фазой тренировочного цикла и периодом начала участия в соревнованиях [31].

При этом для практикующих специалистов может быть значимым ограничением, что в основе всех современных классификациях находятся повреждения мышц нижних конечностей, в первую очередь мышц задней группы бедра — двуглавой, полусухожильной и полуперепончатой. Это не должно вызывать удивления, так как именно эти мышцы наиболее часто травмируются у профессиональных спортсменов. Но в то же время травматизации может быть подвергнута мышца в любой части тела и классификации подобных травм обязательно должны это учитывать, так как подходы к лечению и прогнозированию сроков лечения травм мышц, например верхнего плечевого пояса и голени, будут отличаться как из-за зависимости от требований конкретного вида спорта, так и строения. Отсутствие учета этого фактора можно считать значительным недостатком всех имеющихся в настоящее время классификаций.

В отношении всех современных классификаций также необходимо учитывать важность как корректного протокола выполнения аппаратных методов визуализации при оценке состояния мышечной ткани, так и сроков их выполнения. Например, было показано, что МРТ лучше всего проводить с использованием томографов с индукцией магнитного поля 1,5 или 3 Тесла в диапазоне 24–48 часов после получения травмы [36], а место максимальной болезненности необходимо промаркировать капсулой с рыбьим жиром [37]. Само же

исследование должно включать комбинацию последовательностей в трех ортогональных плоскостях, и в него обязательно должно быть включено ближайшее к месту травмы место прикрепления мышцы. Типичный протокол МРТ должен включать аксиальные, корональные и сагиттальные плоскости в чувствительных к жидкости импульсных последовательностях с жироподавлением: T2-взвешенные изображения с подавлением жира STIR (Short Tau Inversion Recovery — инверсия-восстановление спинного эха), PD FS (Proton Density Fat Saturation — изображения, взвешенные по протонной плотности с жироподавлением), за которыми следуют аксиальные и сагиттальные T1-взвешенные последовательности. Корональные и сагиттальные последовательности в основном используются для оценки продольной протяженности травмы и вовлечения сухожилий, а аксиальные изображения позволяют получить оптимальную анатомическую картину и определить площадь поперечного сечения повреждения. Толщина среза при получении изображений должна обеспечивать точное определение небольших травм, часто требующих толщины среза 4 мм [13].

В отношении УЗИ сохраняют актуальность рекомендации Peetrons, согласно которым ключевым маркером повреждения мышцы является наличие гематомы, поэтому выполнять это исследование необходимо не ранее двух часов после получения травмы (так как гематома может находиться в стадии формирования) и не позднее 48 часов (так как гематома может распространиться за пределы мышцы) [7]. Таким образом, в существующих классификациях мышечных повреждений существуют ограничения, минимизация которых является направлением будущих исследований. При этом, учитывая различия в градации степени тяжести и типов травм, сообщества практикующих специалистов должны использовать в своей практике одну из наиболее актуальных классификаций, что позволит избежать затруднений в стереотипной интерпретации одной и той же травмы и позволит им «говорить на одном языке».

### 5. Заключение

В настоящее время существует несколько наиболее широко используемых классификаций мышечных травм, и практикующие специалисты должны учитывать этот факт при оценке степени тяжести травмы и прогнозировании сроков лечения. При этом необходимо учитывать ограничения той или иной классификации в отношении ключевого фактора, определяющего их ценность — способности прогнозировать сроки возобновления регулярной тренировочной деятельности у спортсменов из разных видов спорта после повреждения мышц, расположенных в различных частях тела.

#### Вклад авторов:

**Безуглов Эдуард Николаевич** — идея и концепт обзора, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи.

**Хайтин Владимир Юрьевич** — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Этемад Оmid Арройо** — написание текста и редактирование текста, сбор и обработка материала, утверждение окончательного варианта статьи.

**Лебеденко Евгений Олегович** — написание текста и редактирование текста, связь с редакцией, сбор и обработка материала, коммуникация с редакцией, утверждение окончательного варианта статьи.

**Гринченко Алесь Петровна** — написание текста и редактирование текста, сбор и обработка материала, утверждение окончательного варианта статьи.

**Филимонова Анастасия Михайловна** — написание текста и редактирование текста, сбор и обработка материала, утверждение окончательного варианта статьи.

#### Список литературы / References

1. Ekstrand J., Spreco A., Bengtsson H., Bahr R. Injury rates decreased in men's professional football: an 18-year prospective cohort study of almost 12 000 injuries sustained during 1.8 million hours of play. *Br. J. Sports Med.* 2021;55(19):1084–1091. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103159>
2. Ekstrand J., Krutsch W., Spreco A., van Zoest W., Roberts C., Meyer T., Bengtsson H. Time before return to play for the most common injuries in professional football: a 16-year follow-up of the UEFA Elite Club Injury Study. *Br. J. Sports Med.* 2020;54(7):421–426. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100666>
3. Uebliacker P., Müller-Wohlfahrt H.W., Ekstrand J. Epidemiological and clinical outcome comparison of indirect ('strain') versus direct ('contusion') anterior and posterior thigh muscle injuries in male elite football players: UEFA Elite League study of 2287 thigh injuries (2001–2013). *Br. J. Sports Med.* 2015;49(22):1461–1465. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094285>
4. Waldén M., Mountjoy M., McCall A., Serner A., Massey A., Tol J.L., et al. Football-specific extension of the IOC consensus statement: methods for recording and reporting of epidemiological data on injury and illness in sport 2020. *Br. J. Sports Med.* 2023;57(21):1341–1350. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106405>
5. O'Donoghue D.O. Treatment of injuries to athletes. Philadelphia: WB Saunders; 1962. <https://doi.org/10.1097/00003086-200209000-00002>
6. Hamilton B., Valle X., Rodas G., Til L., Pruna Grive R., Gutierrez Rincon J.A., Tol J.L. Classification and grading of muscle injuries: a narrative review. *Br. J. Sports Med.* 2015;49(5):306. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093551>
7. Peetrons P. Ultrasound of muscles. *Eur. Radiol.* 2002;12(1):35–43. <https://doi.org/10.1007/s00330-001-1164-6>
8. Stoller D.W. MRI in orthopaedics and sports medicine. 3rd edn. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott; 2007.
9. Chan O., Del Buono A., Best T.M., Maffulli N. Acute muscle strain injuries: a proposed new classification system. *Knee Surg Sports Traumatol. Arthrosc.* 2012;20(11):2356–2362. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2118-z>

#### Author contributions:

**Eduard N. Bezuglov** — review idea and concept, writing, editing, final article approval.

**Vladimir Yu. Khaitin** — conception and design of the research, collection and processing of material, writing and editing of the text, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

**Omid A. Etemad** — text writing and text editing, collection and processing of material, approval of the final version of the article.

**Evgeniy O. Lebedenko** — writing and editing text, liaison with editors, collecting and processing material, communicating with editors, and approving the final version of the article.

**Alesya P. Grinchenko** — text writing and text editing, collection and processing of material, approval of the final version of the article.

**Anastasia M. Filimonova** — text writing and text editing, collection and processing of material, approval of the final version of the article.

10. Cohen S.B., Towers J.D., Zoga A., Irrgang J.J., Makda J., Deluca P.F., Bradley J.P. Hamstring injuries in professional football players: magnetic resonance imaging correlation with return to play. *Sports Health.* 2011;3(5):423–430. <https://doi.org/10.1177/1941738111403107>

11. Mueller-Wohlfahrt H.W., Haensel L., Mithoefer K., Ekstrand J., English B., McNally S., et al. Terminology and classification of muscle injuries in sport: the Munich consensus statement. *Br. J. Sports Med.* 2013;47(6):342–350. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091448>

12. Maffulli N., Oliva F., Frizziero A., Nanni G., Barazzuol M., Gai Via A., et al. ISMuLT Guidelines for muscle injuries. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2014;3(4):241–249.

13. Pollock N., James S.L., Lee J.C., Chakraverty R. British athletics muscle injury classification: a new grading system. *Br. J. Sports Med.* 2014;48(18):1347–1351. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093302>

14. Valle X., Alentorn-Geli E., Tol J.L., Hamilton B., Garrett W.E., Pruna R., et al. Muscle Injuries in Sports: A New Evidence-Informed and Expert Consensus-Based Classification with Clinical Application. *Sports. Med.* 2017;47(7):1241–1253. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0647-1>

15. Paton B.M., Court N., Giakoumis M., Head P., Kayani B., Kelly S., et al. London International Consensus and Delphi study on hamstring injury's part 1: classification. *Br. J. Sports Med.* 2023;57(5):254–265. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-105371>

16. Ekstrand J., Askling C., Magnusson H., Mithoefer K. Return to play after thigh muscle injury in elite football players: implementation and validation of the Munich muscle injury classification. *Br. J. Sports Med.* 2013;47(1):769–774. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-092092>

17. Tol J.L., Hamilton B., Best T.M. Palpating muscles, massaging the evidence? An editorial relating to 'Terminology and classification of muscle injuries in sport: The Munich consensus statement'. *Br. J. Sports Med.* 2013;47(6):340–341. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091849>

18. Waldén M., Mountjoy M., McCall A., Serner A., Massey A., Tol J.L., et al. Football-specific extension of the IOC consensus statement: methods for recording and reporting of

epidemiological data on injury and illness in sport 2020. *Br. J. Sports Med.* 2023;57(21):1341–1350. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106405>

19. **Valle X., Mechó S., Alentorn-Geli E., Järvinen T.A.H., Lempainen L., Pruna R., et al.** Return to Play Prediction Accuracy of the MLG-R Classification System for Hamstring Injuries in Football Players: A Machine Learning Approach. *Sports Med.* 2022;52(9):2271–2282. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01672-5>

20. **Askling C., Saartok T., Thorstensson A.** Type of acute hamstring strain affects flexibility, strength, and time to return to pre-injury level. *Br. J. Sports Med.* 2006;40(1):40–44. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2005.018879>

21. **Bezuglov E., Khaitin V., Shoshorina M., Butovskiy M., Karlitskiy N., Mashkovskiy E., et al.** Sport-Specific Rehabilitation, but Not PRP Injections, Might Reduce the Re-Injury Rate of Muscle Injuries in Professional Soccer Players: A Retrospective Cohort Study. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2022;7(4):72. <https://doi.org/10.3390/jfmk7040072>

22. **Безуглов Э.Н., Хайтин В.Ю., Лазарев А.М., Бутовский М.С., Карлицкий Н.Н., Чернов Г.В., Любушкина А.В., Степанов И.Д.** Оценка эффективности использования инъекций богатой тромбоцитами плазмы при лечении мышечных повреждений нижней конечности степени 2А-2В у профессиональных футболистов. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2019;9(3):77–82. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2019.3.77> [**Bezuglov E.N., Khaitin V.Y., Lazarev A.M., Butovskiy M.S., Karlitskiy N.N., Chernov G.V., Lyubushkina A.V., Stepanov I.D.** Evaluation of the effectiveness of platelet-rich plasma in the treatment of muscle injuries of the lower limb grade 2A-2B in professional football players. *Sports medicine: research and practice.* 2019;9(3):77–82. (In Russ.).] <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2019.3.77>

23. **McAleer S., Macdonald B., Lee J., Zhu W., Giakoumis M., Maric T., Kelly S., Brown J., Pollock N.** Time to return to full training and recurrence of rectus femoris injuries in elite track and field athletes 2010-2019; a 9-year study using the British Athletics Muscle Injury Classification. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2022;32(7):1109–1118. <https://doi.org/10.1111/sms.14160>

24. **Pollock N., Kelly S., Lee J., Stone B., Giakoumis M., Polglass G., Brown J., MacDonald, B.** A 4-year study of hamstring injury outcomes in elite track and field using the British Athletics rehabilitation approach. *Br. J. Sports Med.* 2022;56(5):257–263. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103791>

25. **Ekstrand J., Healy J.C., Walden M., Lee J.C., English B., Hägglund M.** Hamstring muscle injuries in professional football: the correlation of MRI findings with return to play. *Br. J. Sports Med.* 2012;46(2):112–117. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090155>

26. **Wangenstein A., Guermazi A., Tol J.L., Roemer F.W., Hamilton B., Alonso J.-M., Whiteley R., Bahr R.** New MRI muscle classification systems and associations with return to sport after acute hamstring injuries: a prospective study. *Eur. Radiol.* 2018;28(8):3532–3541. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-5125-0>

#### Информация об авторах:

**Безуглов Эдуард Николаевич**, к.м.н., заведующий лабораторией спорта высших достижений, доцент кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации ФГАУ ВО «Первый Московский медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет)», Россия, 119435, Москва, ул. Большая Пироговская, 2, стр. 4; руководитель медицинского департамента ПФК «ЦСКА», Россия, 125252, Москва, 3-я Песчаная ул., 2А. ORCID: 0000-0003-3828-0506 (e.n.bezuglov@gmail.com)

**Хайтин Владимир Юрьевич**, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры физических методов лечения и спортивной медицины факультета последилового образования ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. Павлова» Минздрава России, Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, 6/8; врач команды ФК «Зенит», Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. профессора Попова, 37щ. ORCID: 0000-0002-9154-5174

27. **Fournier-Farley C., Lamontagne M., Gendron P., Gagnon D.H.** Determinants of Return to Play After the Nonoperative Management of Hamstring Injuries in Athletes: A Systematic Review. *Am. J. Sports Med.* 2016;44(8):2166–2172. <https://doi.org/10.1177/0363546515617472>

28. **Ekstrand J., Lundqvist D., Lagerbäck L., Vouillamoz M., Papadimitiou N., Karlsson J.** Is there a correlation between coaches' leadership styles and injuries in elite football teams? A study of 36 elite teams in 17 countries. *Br. J. Sports Med.* 2018;52(8):527–531. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098001>

29. **Reurink G., Goudswaard G.J., Tol J.L., Almusa E., Moen M.H., Weir A., Verhaar J.A.N., Hamilton B., Maas M.** MRI observations at return to play of clinically recovered hamstring injuries. *Br. J. Sports Med.* 2014;48(18):1370–1376. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092450>

30. **Zambaldi M., Beasley I., Rushton A.** Return to play criteria after hamstring muscle injury in professional football: a Delphi consensus study. *Br. J. Sports Med.* 2017;51(16):1221–1226. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097131>

31. **Van der Horst N., Backx F., Goedhart E.A., Huisstede B.M.** Return to play after hamstring injuries in football (soccer): a worldwide Delphi procedure regarding definition, medical criteria and decision-making. *Br. J. Sports Med.* 2017;51(22):1583–1591. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097206>

32. **Dunlop G., Ardern C.L., Andersen T.E., Lewin C., Dupont G., Ashworth B., et al.** Return-to-Play Practices Following Hamstring Injury: A Worldwide Survey of 131 Premier League Football Teams. *Sports Med.* 2020;50(4):829–840. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01199-2>

33. **Schut L., Wangenstein A., Maaskant J., Tol J.L., Bahr R., Moen M.** Can Clinical Evaluation Predict Return to Sport after Acute Hamstring Injuries? A Systematic Review. *Sports Med.* 2017;47(6):1123–1144. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0639-1>

34. **Jacobsen P., Witvrouw E., Muxart P., Tol J.L., Whiteley R.** A combination of initial and follow-up physiotherapist examination predicts physician-determined time to return to play after hamstring injury, with no added value of MRI. *Br. J. Sports Med.* 2016;50(7):431–439. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095073>

35. **Moen M.H., Reurink G., Weir A., Tol J.L., Maas M., Goudswaard G.J.** Predicting return to play after hamstring injuries. *Br. J. Sports Med.* 2014;48(18):1358–1363. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093860>

36. **Ekstrand J., Healy J.C., Walden M., Lee J.C., English B., Hägglund M.** Hamstring muscle injuries in professional football: the correlation of MRI findings with return to play. *Br. J. Sports Med.* 2011;46(2):112–117. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090155>

37. **Gilbert J.W., Wheeler G.R., Richardson G.B., Herder S.L., Mick G.E., Gyarteng-Dakwa K., Kenney C.M., Broughton P.G.** Guidance of magnetic resonance imaging and placement of skin-marker localization devices. *J. Neurosurg Sci.* 2011;55(2):85–88; Erratum in: *J. Neurosurg Sci.* 2011 Sep;55(3):295.

**Этемад Оmid Арройо**, физиотерапевт-реабилитолог основной команды ПФК «ЦСКА», Россия, 125252, Москва, ул. 3-я Песчаная, 2а. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9154-5174> (omidetemad1987@gmail.com)

**Лебеденко Евгений Олегович\***, ординатор второго года кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации ФГАУ ВО «Первый Московский медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119435, Москва, ул. Большая Пироговская, 2, стр. 4; массажист основной команды ПФК «ЦСКА», Россия, 125252, Москва, 3-я Песчаная ул., 2а. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8449-8859> (lebedosnestle@mail.ru)

**Гринченко Аlesia Петровна**, врач-рентгенолог, Научно-клинический центр № 2 ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского», Россия, 117593, г. Москва, Литовский бульвар, 1а. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5401-9469>

**Филимонова Анастасия Михайловна**, кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог, Консультативно-диагностический центр Научно-клинического центра № 2 ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского», Россия, 117593, г. Москва, Литовский бульвар, 1а. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6957-5564>

#### Information about the authors:

**Eduard N. Bezuglov**, M.D., Ph.D. (Medicine), Head of the Laboratory of High Performance Sports, Associate Professor of the Department of Sports Medicine and Medical Rehabilitation at I.M. Sechenov First Moscow Medical University, 2, Bolshaya Pirogovskaya str., bldg. 4, Moscow, 119435, Russia; Chairman of the RFU Medical Committee, Head of the Medical Department of PFC CSKA, 2A 3-ya Peschanaya St., Moscow, 125252, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3828-0506> (e.n.bezuglov@gmail.com)

**Vladimir Yu. Khaitin**, M.D., Ph.D. (Medicine), Assistant Professor of the Department of Physical Therapies and Sports Medicine of Postgraduate Education Faculty, Pavlov First St. Petersburg Medical University, 6/8 Lev Tolstoy Street, St. Petersburg, 197022, Russia; FC Zenit team doctor, 37SH Prof. Popov Street, St. Petersburg, 197022, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9154-5174>

**Omid A. Etemad**, physiotherapist-rehabilitator of the CSKA PFC main team, 2A, 3-ya Peschanaya St., Moscow, 125252. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9154-5174> (omidetemad1987@gmail.com)

**Evgeny O. Lebedenko\***, a second-year resident of the Department of Sports Medicine and Medical Rehabilitation of the I.M. Sechenov First Moscow Medical University, 2 Bolshaya Pirogovskaya str., bldg. 4, Moscow, 119435, Russia; masseur of the main team of PFC CSKA, 2A 3-ya Peschanaya St., Moscow, 125252, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8449-8859> (lebedosnestle@mail.ru)

**Alesya P. Grinchenko**, radiologist, Scientific and Clinical Centre No. 2 of the Russian Scientific Centre of Surgery named after Acad. B.V. Petrovsky, 1A Litovsky boulevard, Moscow, 117593, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5401-9469>

**Anastasia M. Filimonova**, M.D., Ph.D. (Medicine), radiologist, Consultative and Diagnostic Centre of the Scientific and Clinical Centre No. 2 of the Russian Scientific Centre of Surgery named after Acad. B.V. Petrovsky, 1A Litovsky boulevard, Moscow, 117593, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6957-5564>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.4>

УДК: 616.43: 796.071.1: 578.834.1

Тип статьи: Оригинальная статья / Original research



## Влияние новой коронавирусной инфекции на эндокринную систему и физическую работоспособность спортсменов

Е.А. Турова<sup>1,2</sup>, Е.А. Теняева<sup>1\*</sup>, В.А. Бадтиева<sup>1,2,3</sup>, Е.О. Оконкво<sup>2</sup>, Ю.М. Иванова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого» Департамента здравоохранения г. Москвы, Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

<sup>3</sup> ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель:** изучение влияния перенесенной новой коронавирусной инфекции (COVID-19) на эндокринную систему и параметры физической работоспособности спортсменов.

**Материалы и методы:** Проанализированы результаты углубленного медицинского обследования 7509 спортсменов — членов сборных команд города Москвы. При анализе учитывались данные спортивного и инфекционного анамнеза, результаты клинического и лабораторного обследования спортсменов, данные спирометрии.

**Результаты:** Из 7509 спортсменов 2937 (39 %) перенесли новую коронавирусную инфекцию за 2–3 месяца до обследования. Значимой разницы в количестве спортсменов, перенесших инфекцию, в зависимости от группы спорта согласно классификации Pelliccia не выявлено.

Выявлена достоверно большая распространенность патологических состояний нарушений эндокринной системы в группе спортсменов, перенесших COVID-19 (30 %), в отличие от неболевших спортсменов (15 %).

Статистический анализ среди спортсменов, перенесших COVID-19, разделенных на группу с гипотиреозом и группу без гипотиреоза, продемонстрировал наличие значимого отличия результатов спирометрии. У спортсменов с гипотиреозом выявлена достоверно более высокая частота сердечных сокращений в покое, на пике физической нагрузки и на пятой минуте восстановления, а также более низкое пиковое потребление кислорода и снижение частоты сердечных сокращений на уровне порога анаэробного обмена.

**Заключение:** Результаты исследования показали достоверно большую распространенность эндокринных заболеваний в группе спортсменов, перенесших COVID-19, в отличие от неболевших спортсменов. Спортсмены с гипотиреозом, перенесшие COVID-19, по данным спирометрии продемонстрировали замедление процессов восстановления и снижение физической работоспособности, уменьшение аэробного и анаэробного резерва, что свидетельствует о существенном негативном влиянии коронавирусной инфекции на физическую работоспособность спортсменов с гипотиреозом.

**Ключевые слова:** COVID-19, новая коронавирусная инфекция, субклинический гипотиреоз, эндокринные заболевания, спортсмены, физическая работоспособность, период восстановления

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Турова Е.А., Теняева Е.А., Бадтиева В.А., Оконкво Е.О., Иванова Ю.М. Влияние новой коронавирусной инфекции на эндокринную систему и физическую работоспособность спортсменов. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(2):58–67. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.4>

Поступила в редакцию: 02.08.2024

Принята к публикации: 07.10.2024

Online first: 25.11.2024

Опубликована: 15.12.2024.

\* Автор, ответственный за переписку

## The impact of the new coronavirus infection on the endocrine system and physical performance of athletes

Elena A. Turova<sup>1,2</sup>, Elena A. Tenyaeva<sup>1\*</sup>, Victoria A. Badtieva<sup>1,2,3</sup>,  
Emmanuella O. Okonkwo<sup>2</sup>, Iuliia M. Ivanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> S.I. Spasokukotsky Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

<sup>2</sup> I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Federal Scientific and Clinical Center for Sports Medicine and Rehabilitation of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia

### ABSTRACT

**Objective:** To study the effect of the new coronavirus infection (COVID-19) on the endocrine system and physical performance parameters of athletes.

**Materials and methods:** The results of an in-depth medical examination (IME) of 7,509 elite athletes, members of the Moscow national teams, were analyzed for the period 2020 and 2021. The analysis took into account data on sports and infectious anamnesis, results of clinical and laboratory examination of athletes, and spiroergometry data.

**Results:** Among the 7,509 examined athletes, 2,937 (39 %) had a coronavirus infection 3–12 months before the examination, 4,572 people (61 %) did not have a history of COVID. No significant difference was found in the number of athletes who had recovered depending on the sport group, according to the Pelliccia classification.

A significantly higher prevalence of endocrine diseases and deviations in hormonal parameters was revealed in the group of athletes who had recovered from COVID-19 (890 people — 30%), in contrast to 15 % (710 people) of uninfected athletes.

Statistical analysis among athletes who had recovered from COVID-19, divided into a group with hypothyroidism and a group without hypothyroidism, showed a significant difference in the results of spiroergometry. Athletes with hypothyroidism showed significantly higher heart rates at rest, at peak exercise, and at the fifth minute of recovery, as well as lower peak oxygen consumption and a decrease in heart rate at the anaerobic threshold.

**Conclusion:** The results of the study showed a significantly higher prevalence of endocrine diseases in the group of athletes who had recovered from COVID-19, in contrast to uninfected athletes. Athletes with hypothyroidism who have had COVID-19, according to spiroergometry data, demonstrated a slowdown in recovery processes and a decrease in physical performance, a decrease in aerobic and anaerobic reserves, which indicates a more significant negative impact of coronavirus infection on the physical performance of athletes with hypothyroidism and requires closer attention to this group of athletes to restore their health and competitive potential.

**Keywords:** COVID-19, coronavirus infection, subclinical hypothyroidism, endocrine diseases, athletes, physical performance, recovery period

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Turova E.A., Tenyaeva E.A., Badtieva V.A., Okonkwo E.O., Ivanova I.M. The impact of the new coronavirus infection on the endocrine system and physical performance of athletes. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(2):58–67. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.4>

**Received:** 2 August 2024

**Accepted:** 7 October 2024

**Online first:** 25 November 2024

**Published:** 15 December 2024

\*Corresponding author

### 1. Введение

Карантин, связанный с пандемией новой коронавирусной инфекции SARS-CoV-2 (COVID-19), привел к заметному снижению интенсивности, частоты и продолжительности спортивных тренировок, но даже после возобновления тренировочного процесса регистрируются различные последствия COVID-19 на здоровье спортсменов [1, 2]. Хотя у спортсменов с COVID-19 чаще наблюдалось легкое или бессимптомное течение [3, 4], данные систематических обзоров свидетельствуют о том, что у значительной части спортсменов (3,8–17,0%) может сохраняться целый ряд патологических симптомов и после элиминации вируса из организма

[3]. Синдром, связанный с COVID-19, называется постковидным; он был описан ранее примерно у одного из 10 человек, перенесших эту инфекцию. При его развитии длительность симптоматики составляет 28 дней и более [5], а распространенность среди спортсменов и представителей общей популяции можно считать сопоставимой [6]. В настоящее время доказательства и рекомендации относительно реабилитации и возвращения в спорт спортсменов с постковидным синдромом довольно ограничены [7, 8]. При этом представляется очевидным, что изучение его механизмов развития и последствий (в том числе кратко- и долгосрочных) у спортсменов необходимо для разработки безопасных

протоколов возвращения к тренировкам и соревнованиям [3]. Согласно обзору Lemes и соавт. [3], профессиональные спортсмены возобновляют занятия спортом в течение 5–10 дней после бессимптомной или легкой инфекции, однако возвращение к тренировкам в указанные сроки может быть затруднено в случаях сохранения некоторых симптомов.

Наиболее распространенными долговременными симптомами у спортсменов являются потеря обоняния (аносмия), расстройство вкуса (дисгевзия), кашель и длительная усталость [3]. В целях профилактики развития сердечно-легочных осложнений спортсменам с такими симптомами необходимо обеспечить достаточный по длительности отдых, а возвращение к тренировкам должно быть постепенным [8]. Кроме того, этой группе спортсменов необходимо проходить комплексное клиническое обследование, в первую очередь включающее исследования сердечно-сосудистой и легочной систем (гематологический скрининг, электрокардиография (ЭКГ) и спирометрия) [9]. В исследовании Moulson и соавт. [10] была обнаружена чрезвычайно высокая распространенность отклонений, выявляемых при спирометрии, у молодых спортсменов после COVID-19.

Инфекция COVID-19 поражает множество систем, в том числе и эндокринную. Могут поражаться и щитовидная и поджелудочная железы и надпочечники. Одним из предполагаемых механизмов, вызывающих эндокринную дисфункцию у лиц с COVID-19, является взаимодействие между поверхностным компонентом вируса, спайковым белком и рецептором ACE2, который в большом количестве содержится в эндокринных органах. Еще одним способом, которым вирус вызывает повреждение эндокринных органов, является активное высвобождение медиаторов воспаления. У пациентов с COVID-19 могут наблюдаться как гипертиреоз, так и гипотиреоз. Доказано, что повреждение эндокринной системы поджелудочной железы и активация различных клеточных протеинкиназ подавляют сигнальные пути инсулина и могут привести к резистентности к инсулину. В нескольких исследованиях сообщалось об увеличении заболеваемости сахарным диабетом у пациентов с COVID-19 [11].

В связи с противоречивыми результатами исследований о влиянии перенесенной инфекции COVID-19 на физическую работоспособность спортсменов и дефицита данных о заболеваниях эндокринной системы у спортсменов на фоне или инфекции гипотеза настоящего исследования заключалась в том, что после перенесенного COVID-19 повышается частота развития эндокринных заболеваний, которые могут оказывать отрицательное влияние на различные параметры физической работоспособности спортсменов.

**Цель исследования:** изучение влияния перенесенной новой коронавирусной инфекции (COVID-19) на эндокринную систему и параметры физической работоспособности спортсменов.

## 2. Материалы и методы

Проанализированы результаты углубленного медицинского обследования (УМО) 7509 спортсменов — членов сборных команд города Москвы, прошедших УМО в 2021 году на базе филиала № 1 ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С. И. Спасокукоцкого ДЗМ. В исследование не включались спортсмены-инвалиды и дети до 15 лет в связи с отсутствием у них данных спирометрии.

Все спортсмены подписали информированное согласие о возможности использования данных для научных целей, ретроспективное исследование утверждено локальным этическим комитетом (протокол заседания ЛЭК при ГАУЗ МНПЦ МРВСМ ДЗМ № 5 от 22.05.2023 г.). При анализе учитывались данные спортивного и инфекционного анамнеза, результаты клинического и лабораторного обследования спортсменов и спирометрии.

Субклинический гипотиреоз диагностировался при повышении уровня ТТГ в диапазоне от 5 до 10 мЕд/л и нормальном уровне свободного Т4 [12]. Диагноз сахарного диабета 1-го типа устанавливался при обследовании эндокринологом по месту жительства.

Максимальный нагрузочный ступенчатый тест выполнялся на велоэргометре с контролем основных параметров ЭКГ и тренда артериального давления с газоанализом в режиме реального времени (эргоспирометрическая установка Охусон фирмы Jaeger, Германия). Нагрузка задавалась следующим протоколом: начальная мощность — 25 Вт, продолжительность ступени — 1 мин., повышение ступени на 25 Вт. Регистрировали пиковую мощность работы ( $W_{peak}$ , Вт/кг), пиковое потребление кислорода в минуту на один килограмм массы тела ( $VO_{2peak}$ , мл/мин/кг), потребление кислорода на уровне анаэробного порога ( $VO_2$  на АТ, мл/мин/кг), величину кислородного пульса ( $VO_{2peak}/ЧСС_{peak}$ ).

Статистическая обработка результатов проводилась с помощью языка программирования R и пакета статистических программ Statistica 10 for Windows. Использовался дисперсионный анализ ANOVA для сравнения средних значений двух независимых выборок, в том числе апостериорный тест Геймса — Ховелла (достоверными различия считались при  $p$ -value менее 0,05), многомерный дисперсионный анализ Манова для нескольких зависимых переменных по одной или нескольким факторным переменным или ковариантам (достоверными различия считались при  $p$ -value менее 0,05).

Для проверки верности нулевой гипотезы использовался критерий  $\chi^2$  Пирсона.

## 3. Результаты

Среди 7509 обследованных спортсменов 2937 (39%) перенесли коронавирусную инфекцию от 3 до 12 месяцев до обследования. Большинство спортсменов (4572 человека (61%)) не имели указаний на перенесенную коронавирусную инфекцию. COVID-19 преимущественно протекал в бессимптомной и легкой формах.

800 спортсменов (11%) перенесли инфекцию бессимптомно, легкая форма наблюдалась у 2126 спортсменов (28%), заболевание средней тяжести выявлено у 6 спортсменов, а тяжелая форма, сопровождавшаяся госпитализацией, — у 5 спортсменов.

Среди всех обследованных спортсменов женского пола было 3232 (43%), мужского — 4277 (57%). В группе, перенесшей инфекцию, соотношение спортсменов женского и мужского пола было сопоставимым с группой неболевших спортсменов (1: 1,33). Средний возраст спортсменов, перенесших COVID-19, составил  $20,1 \pm 2,0$  года, неболевших —  $20,6 \pm 1,0$  года. Обе группы были сопоставимы по возрасту ( $p > 0,01$ ), полу ( $p > 0,05$ ) и видам спорта ( $p > 0,05$ ).

В исследуемой выборке, согласно классификации Peliccia и соавт. [12], не было достоверной разницы в количестве переболевших спортсменов в зависимости от группы спорта: доля переболевших составила 35% в группе «смешанные качества» и 39–40% в остальных группах ( $p > 0,05$ ) (рис. 1).

В группе «навыки» (сложнотехнические и сложноординационные виды спорта) инфекцию перенесли 39% спортсменов, в группе «сила» (единоборства, бокс, тяжелая атлетика и т. д.) — 40% спортсменов, в группах «смешанные качества» (хоккей, футбол, бейсбол, волейбол, фехтование, фигурное катание и т. д.) и «выносливость» (плавание, лыжные гонки, велоспорт, гребля и т. д.) — 35 и 39% соответственно.

В ранее проведенном исследовании с участием более тысячи спортсменов было продемонстрировано достоверное повышение частоты развития гипотиреоза, тиреотоксикоза, инсулинзависимого сахарного диабета, аутоиммунного тиреоидита в группе перенесших коронавирусную инфекцию при сравнении с группой спортсменов, не имевших ее в анамнезе. Развитие этих состояний не зависело от тяжести инфекции и наиболее часто выявлялось при легком и бессимптомном ее течении [13].

В настоящем исследовании на значительно большей популяции спортсменов (более 7000 человек) также была выявлена аналогичная тенденция (табл. 1).

В группе перенесших COVID-19 выявлено 147 (5%) случаев гипотиреоза, тогда как среди неболевших — у 87 (2%) спортсменов. Аутоиммунный тиреоидит наблюдался у 65 спортсменов (2,2%), а в группе неболевших — у 42 человек (0,9%). Тиреотоксикоз с диффузным зобом в группе перенесших коронавирус выявлен у 18 спортсменов (0,6%), у неболевших — в 0,09% (4 спортсмена). Узловой и многоузловой зоб — в 5,4% у переболевших (161 спортсмен), у неболевших — в 2,2% (99 спортсменов). Сахарный диабет 1-го типа (инсулинзависимый) диагностирован у 12 спортсменов, перенесших COVID-19 (0,41%), и у 5 человек в группе неболевших спортсменов (0,1%). Гиперпролактинемия выявлялась в обеих группах: у 52 переболевших (1,7%) и у 44 неболевших (0,96%), что существенно не отличалось.

При проверке нулевой гипотезы критерием Пирсона ( $\chi^2$ ) выявлено достоверное различие среди переболевших и неболевших спортсменов в частоте выявления следующих состояний: субклинический гипотиреоз ( $p < 0,001$ ), аутоиммунный тиреоидит ( $p < 0,001$ ), сахарный диабет 1-го типа (инсулинзависимый) ( $p < 0,05$ ). В отличие от данных предшествующего исследования узловой и многоузловой зоб достоверно чаще наблюдались в группе спортсменов, перенесших COVID-19 ( $p < 0,001$ ).

Всего в группе спортсменов, перенесших инфекцию, различные патологические состояния эндокринной системы наблюдались у 30% спортсменов (890 человек), в группе неболевших их частота была в два раза меньше и составила 15% (710 человек) ( $p < 0,001$ ).

Наиболее частым патологическим состоянием эндокринной системы среди спортсменов в обеих группах был гипотиреоз, который чаще всего носил субклинический характер (повышение тиреотропного гормона от 5 до 10 мМЕ/л при нормальном уровне свободного тироксина (10,3–24,5 пмоль/л). Он был выявлен у 5% спортсменов, перенесших COVID-19, и у 2% неболевших спортсменов ( $p < 0,01$ ).

В связи с этим анализ влияния перенесенной инфекции на физическую работоспособность спортсменов проводился в группе спортсменов, перенесших

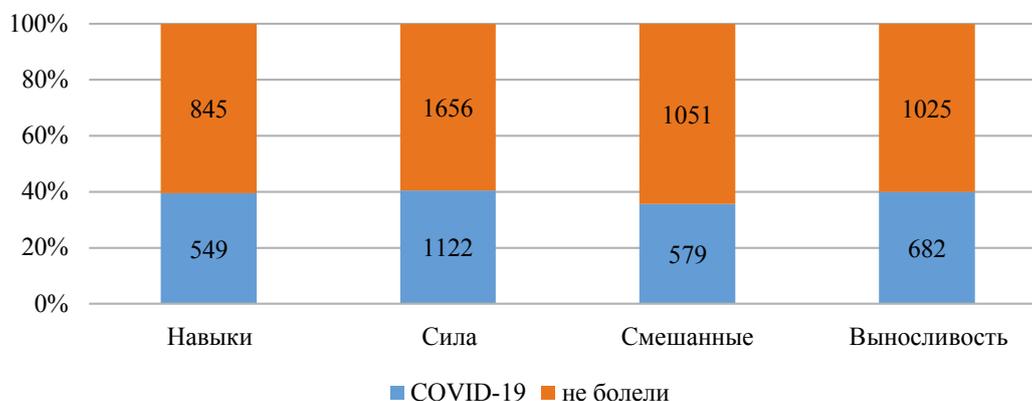


Рис. 1. Распределение переболевших и неболевших спортсменов по группам спорта, согласно классификации Peliccia et al. classification  
Fig. 1. Distribution of recovered and not ill athletes by sport groups, according to the Peliccia et al. classification

Таблица 1

## Частота эндокринных заболеваний у спортсменов в зависимости от перенесенного COVID-19

Table 1

## Frequency of endocrine diseases in athletes depending on the history of COVID-19

Заболевания	Перенесшие COVID-19	Доля заболеваний среди перенесших COVID-19 <i>n</i> = 2937	Не болевшие COVID-19	Доля заболеваний среди не болевших COVID-19 <i>n</i> = 4572
Субклинический гипотиреоз	147	5 %	87	2 %
Аутоиммунный тиреоидит	65	2,2 %	42	0,9 %
Тиреотоксикоз	18	0,6 %	4	0,09 %
Узловой зоб	161	5,4 %	99	2,2 %
Гиперпролактинемия	52	1,7 %	44	0,96 %
Сахарный диабет 1-го типа	12	0,41 %	5	0,1 %

COVID-19, разделенных на группу спортсменов с гипотиреозом (147 спортсменов) и группу спортсменов без гипотиреоза (2790 спортсменов). Статистический анализ (тест Геймса — Ховелла) данных спортсменов продемонстрировал наличие значимого отличия результатов спироэргометрии. Выявлена достоверно более высокая частота сердечных сокращений (ЧСС) на пике физической нагрузки ( $p = 0,003$ ) и на пятой минуте восстановления у спортсменов с гипотиреозом ( $p = 0,011$ ) (рис. 2). Повышение пиковой ЧСС при сопоставимой максимальной мощности нагрузки свидетельствовало о более выраженной реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку в виде учащенного пульса у спортсменов с гипотиреозом, тогда как замедленное восстановление проявлялось более высоким пульсом на пятой минуте восстановления (рис. 2).

Достоверное более низкое пиковое потребление кислорода в группе с гипотиреозом ( $p < 0,05$ ) свидетельствует о более низкой аэробной работоспособности спортсменов (рис. 3), а снижение ЧСС на уровне порога анаэробного обмена (ЧСС ПАНО) ( $p = 0,05$ ) — о снижении анаэробного резерва на фоне гипотиреоза (рис. 2).

#### 4. Обсуждение

По данным систематических обзоров имеются совокупные доказательства того, что эндокринная система особенно уязвима в отношении изменения функции вследствие перенесенного COVID-19 [15]. В острый период у госпитализированных пациентов часто выявлялся тиреотоксикоз, подострый тиреоидит, тогда как в период реконвалесценции, по данным исследований, функция щитовидной железы часто нормализуется, однако отмечается повышенный риск развития аутоиммунных заболеваний щитовидной железы [15].

До настоящего времени в большинстве публикаций о нарушениях эндокринной системы вследствие COVID-19 описываются влияние на нее острого и подострого периодов заболевания [11, 15]. Однако отдаленные последствия освещены недостаточно, а в отношении

отдаленных эффектов перенесенного COVID-19 на эндокринную систему спортсменов публикации отсутствуют.

По данным сравнительного исследования Некрасова и соавт. [16], выявлено повышение частоты гипотиреоза после COVID-19 в два раза и субклинического тиреотоксикоза в 2,5 раза в сравнении с неболевшими лицами.

В проведенном исследовании субклинический гипотиреоз выявлен у 5% спортсменов, перенесших COVID-19, что сопоставимо с результатами исследования на общей популяции, продемонстрировавшего выявление гипотиреоза у 7% пациентов, перенесших COVID-19 [17]. По данным исследования Столяровой и соавт. [18], субклинический гипотиреоз выявляется у 3,85% юных элитных спортсменов и составляет около 17% от всей патологии щитовидной железы, диагностируемой в этой группе.

Наиболее интересным представляется исследование, проведенное на взрослых пациентах (медиана возраста — 58 лет), госпитализированных с пневмонией в ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» в остром периоде болезни и через 6 месяцев после выздоровления. Манифестный гипотиреоз как исход аутоиммунного тиреоидита был выявлен у 2,4% пациентов, субклинический — у 7,3% пациентов через полгода от дебюта коронавирусной инфекции. Также в этой группе пациентов был выявлен рост антител к тиреоидной пероксидазе через шесть месяцев после выздоровления от коронавирусной инфекции. Авторы делают вывод о потенциальных рисках развития аутоиммунных заболеваний щитовидной железы после перенесенной коронавирусной инфекции на фоне взаимосвязи изменения тиреоидного профиля и гиперактивации иммунной системы с гиперпродукцией провоспалительных интерлейкинов при COVID-19 [19].

В отношении углеводного обмена исследование Montefusco и соавт. показало, что через шесть месяцев после госпитализации у 63% пациентов с диагнозом гипергликемия во время госпитализации восстановилась эугликемия. Тем не менее более трети из них

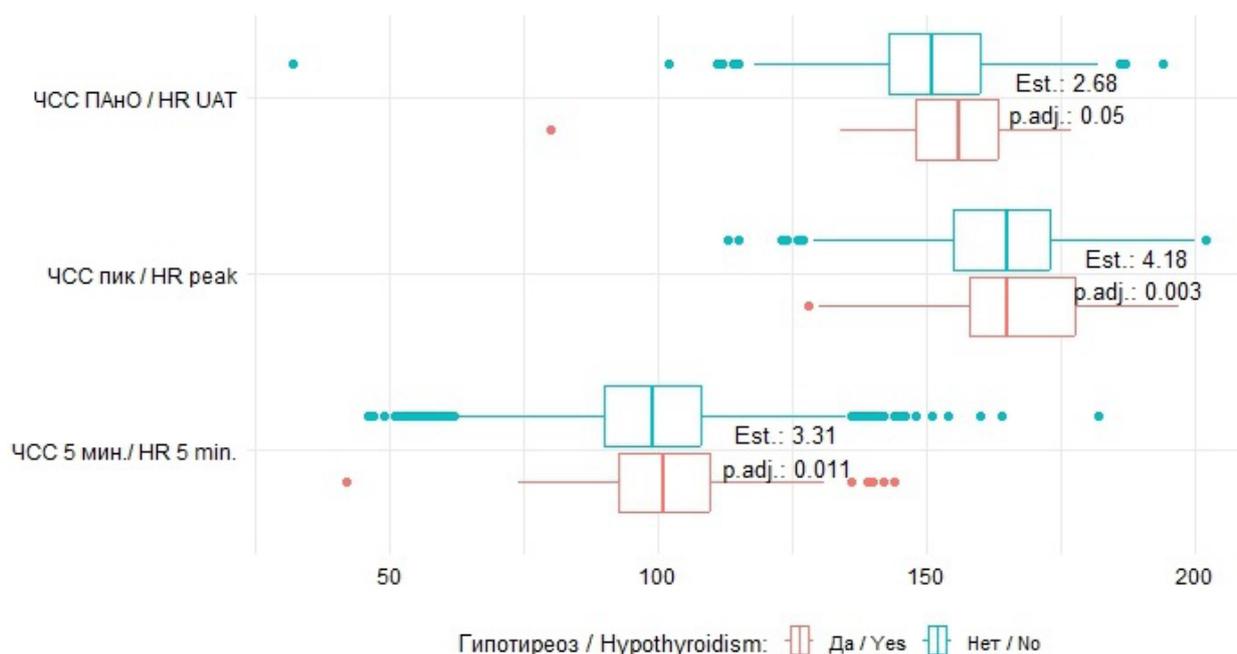


Рис. 2. Результаты спироэргометрии у спортсменов, перенесших COVID-19, в зависимости от наличия гипотиреоза (Games—Howell)  
Fig. 2. Results of spiroergometry in athletes who have had COVID-19 depending on the presence of hypothyroidism (Games—Howell)

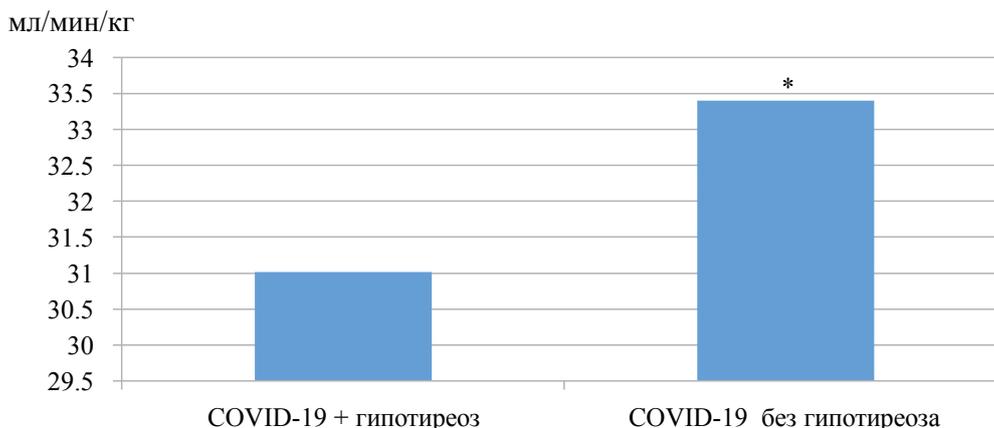


Рис. 3. Пиковое потребление кислорода у спортсменов, перенесших COVID-19, в зависимости от наличия или отсутствия гипотиреоза  
Fig. 3. Peak oxygen consumption in athletes who have had COVID-19 depending on the presence or absence of hypothyroidism

еще имели стойкую гипергликемию, а 2% — явный диабет. Аналогичным образом через три года после COVID-19 5% пациентов с диагнозом впервые выявленный диабет во время госпитализации все еще имели диабет [20]. В проведенном исследовании сахарный диабет также достоверно чаще выявлялся в группе спортсменов, перенесших COVID-19. Так, сахарный диабет 1-го типа (инсулинзависимый) был диагностирован в 2,4 раза чаще у спортсменов, перенесших COVID-19 (12 спортсменов), чем у неболевших спортсменов (5 спортсменов).

Что касается физической работоспособности спортсменов после перенесенного COVID-19, то в исследовании Moulson и соавт. отмечено улучшение данных спироэргометрии у спортсменов с постковидным синдромом в течение трех месяцев наблюдения. У большинства

спортсменов произошло уменьшение выраженности кардиопульмональных симптомов, сопровождавшееся улучшением пикового потребления кислорода и кислородного пульса, а также снижением ЧСС покоя и пиковой частоты сердечных сокращений [10].

По данным исследования Wezenbeek и соавт., аэробные показатели элитных футболистов остаются пониженными в течение нескольких недель после возвращения к тренировкам после инфицирования SARS-CoV-2. В то же время анаэробные показатели не показали заметных изменений между периодами до и после инфицирования [21].

Ранее нами было проведено исследование влияния субклинического гипотиреоза на физическую работоспособность спортсменов [22]. На основании данных

ЧСС было выявлено замедление процессов восстановления после физической нагрузки. В сравнении с данными спортсменов с гипотиреозом после перенесенного COVID-19 отмечается как замедление процессов восстановления после физической нагрузки, так и уменьшение аэробного и анаэробного резервов, что свидетельствует о негативном влиянии коронавирусной инфекции на физическую работоспособность спортсменов с гипотиреозом в сравнении со спортсменами без гипотиреоза, также перенесшими COVID-19, и существенно отличается от результатов переболевших спортсменов без гипотиреоза. Подобные нарушения выявляются также при физическом утомлении и перетренированности спортсменов [23, 24], что может свидетельствовать о схожих патофизиологических механизмах снижения физической работоспособности.

#### Вклад авторов:

**Турова Елена Арнольдовна** — концепция статьи, редактирование статьи.

**Теняева Елена Анатольевна** — концепция статьи, анализ данных, написание статьи.

**Бадтиева Виктория Асланбековна** — идея, редактирование статьи.

**Оконкво Эммануэлла Огечукву** — помощь в статистической обработке.

**Иванова Юлия Михайловна** — ведение базы данных.

#### Литература

1. Cucinotta D., Vanelli M. WHO Declares COVID-19 a Pandemic. *Acta Bio-medica*. 2020;91(1):157–160. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i1.9397>
2. Washif J.A., Sandbakk Ø., Seiler S., Haugen T., Farooq A., Quarrie K., et al. COVID-19 Lockdown: A Global Study Investigating the Effect of Athletes' Sport Classification and Sex on Training Practices. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2022;17(8):1242–1256. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0543>
3. Lemes I. R., Smaira F. I., Ribeiro W. J. D., Favero N. K., Matos L. D. N. J., Pinto A. L. S., et al. Acute and post-acute COVID-19 presentations in athletes: a systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 2022;56(16):941–947. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-105583>
4. Bezuglov E., Khaitin V., Lazarev A., Achkasov E., Romanova L., Butovskiy M., et al. The incidence and severity of COVID-19 in adult professional soccer players in Russia. *PLoS One*. 2022;17(6):e0265019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265019>
5. Sudre C.H., Murray B., Varsavsky T., Graham M.S., Penfold R.S., Bowyer R.C., et al. Attributes and predictors of long COVID. *Nat. Med.* 2021;27(4):626–631. <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01292-y>
6. Hull J.H., Wootten M., Moghal M., Heron N., Martin R., Walsted E. S., et al. Clinical patterns, recovery time and prolonged impact of COVID-19 illness in international athletes: the UK experience. *Br. J. Sports Med.* 2022;56(1):4–11. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-104392>
7. Barker-Davies R. M., O'Sullivan O., Senaratne K. P. P., Baker P., Cranley M., Dharm-Datta S., et al. The Stanford Hall

#### 5. Заключение

Результаты исследования на значительной выборке спортсменов показали достоверно большую распространенность эндокринных заболеваний, таких как гипотиреоз, тиреотоксикоз, сахарный диабет 1-го типа, узловой зоб в группе спортсменов, перенесших COVID-19, в отличие от неболевших спортсменов.

У спортсменов с гипотиреозом в отличие от переболевших спортсменов без нарушения функции щитовидной железы по данным спироэргометрии выявлено как замедление процессов восстановления, что характерно для спортсменов с субклиническим гипотиреозом, так и уменьшение аэробного и анаэробного резервов, что свидетельствует о более существенном негативном влиянии коронавирусной инфекции на физическую работоспособность спортсменов с гипотиреозом.

#### Author contributions:

**Elena A. Turova** — concept, article editing.

**Elena A. Tenyaeva** — article concept, article writing.

**Victoria A. Badtieva** — idea, article editing.

**Emmanuella O. Okonkwo** — assistance in statistical processing.

**Iuliia M. Ivanova** — database management.

#### References

1. Cucinotta D., Vanelli M. WHO Declares COVID-19 a Pandemic. *Acta Bio-medica*. 2020;91(1):157–160. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i1.9397>
2. Washif J.A., Sandbakk Ø., Seiler S., Haugen T., Farooq A., Quarrie K., et al. COVID-19 Lockdown: A Global Study Investigating the Effect of Athletes' Sport Classification and Sex on Training Practices. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2022;17(8):1242–1256. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0543>
3. Lemes I. R., Smaira F. I., Ribeiro W. J. D., Favero N. K., Matos L. D. N. J., Pinto A. L. S., et al. Acute and post-acute COVID-19 presentations in athletes: a systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 2022;56(16):941–947. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-105583>
4. Bezuglov E., Khaitin V., Lazarev A., Achkasov E., Romanova L., Butovskiy M., et al. The incidence and severity of COVID-19 in adult professional soccer players in Russia. *PLoS One*. 2022;17(6):e0265019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265019>
5. Sudre C.H., Murray B., Varsavsky T., Graham M.S., Penfold R.S., Bowyer R.C., et al. Attributes and predictors of long COVID. *Nat. Med.* 2021;27(4):626–631. <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01292-y>
6. Hull J.H., Wootten M., Moghal M., Heron N., Martin R., Walsted E. S., et al. Clinical patterns, recovery time and prolonged impact of COVID-19 illness in international athletes: the UK experience. *Br. J. Sports Med.* 2022;56(1):4–11. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-104392>
7. Barker-Davies R. M., O'Sullivan O., Senaratne K. P. P., Baker P., Cranley M., Dharm-Datta S., et al. The Stanford Hall

consensus statement for post-COVID-19 rehabilitation. *Br. J. Sports Med.* 2020;54(16):949–959. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102596>

8. Elliott N., Martin R., Heron N., Elliott J., Grimstead D., Biswas A. Infographic. Graduated return to play guidance following COVID-19 infection. *Br. J. Sports Med.* 2020;54(19):1174–1175. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102637>

9. Löllgen H., Bachl N., Papadopoulou T., Bigard X., Debruynne A., Zupet P., Steinacker J.M., Ionescu A., Casasco M., Pigozzi F., Pitsiladis Y.P., Wolfarth B., Bilzon J.L.J., Dohi M., Swart J., Badtjeva V., Geistlinger M., Di Luigi L., Holloway G., Jones N.E. et al. Recommendations for return to sport during the sars-cov-2 pandemic. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine.* 2020; (1): C.e000858. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102985>

10. Moulson N., Gustus S. K., Scirica C., Petek B. J., Vanaatta C., Churchill T. W., et al. Diagnostic evaluation and cardiopulmonary exercise test findings in young athletes with persistent symptoms following COVID-19. *Br. J. Sports Med.* 2022; 56(16):927–932. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-105157>

11. Khan S., Karim M., Gupta V., Goel H., Jain R. A Comprehensive Review of COVID-19-Associated Endocrine Manifestations. *South. Med. J.* 2023;116(4):350–354. <https://doi.org/10.14423/SMJ.0000000000001542>

12. Абдулхабирова Ф.М., Безлепкина О.Б., Бровин Д.Н., Вагина Т.А., Мельниченко Г.А., Нагаева Е.В., и др. Клинические рекомендации «Заболевания и состояния, связанные с дефицитом йода». *Проблемы Эндокринологии.* 2021;67(3):10–25. <https://doi.org/10.14341/probl12750>

13. Pelliccia A., Caselli S., Sharma S., Basso C., Bax J. J., Corrado D., et al. European Association of Preventive Cardiology (EAPC) and European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) joint position statement: recommendations for the indication and interpretation of cardiovascular imaging in the evaluation of the athlete's heart. *Eur. Heart J.* 2018;39(21):1949–1969. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx532>

14. Теняева Е.А., Турова Е.А., Бадтиева В.А., Оконкво Е.О. Влияние перенесенной коронавирусной инфекции на заболевания эндокринной системы у спортсменов. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2023;13(2):46–54. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.2.12>

15. Clarke S.A., Abbara A., Dhillon W.S. Impact of COVID-19 on the Endocrine System: A Mini-review. *Endocrinology.* 2022;163(1):bqab203. <https://doi.org/10.1210/endo/bqab203>

16. Некрасов А.И., Стронгин Л.Г., Починка И.Г., Тарасова Н.И., Леденцова О.В., Воловатова И.Н. Особенности тиреоидной патологии в постковидном периоде и влияние на них предшествующей вакцинации. *Медицинский альманах.* 2023;4(77):27–33.

17. Тешаев Ш.Ж., Яхъева Х.Ш. Осложнения со стороны щитовидной железы при коронавирусной болезни. *Новый день в медицине.* 2022;3(41):33–38.

18. Столярова С.А., Окорок П.Л., Зябкин И.В., Бабаева Е.В., Исаева Е.П. Особенности естественного течения субклинического гипотиреоза у юных элитных спортсменов. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2023;13(2):39–45. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.2.5>

19. Колпакова Е.А., Елфимова А.Р., Никанкина Л.В., Дьяков И.Н., Бушкова К.К., Трошина Е.А. Новая инфекция SARS-CoV-2 — возможный триггер аутоиммунных заболеваний щитовидной железы. *Клиническая и экспериментальная тиреоидология.* 2022;18(3):4–12. <https://doi.org/10.14341/ket12740>

consensus statement for post-COVID-19 rehabilitation. *Br. J. Sports Med.* 2020;54(16):949–959. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102596>

8. Elliott N., Martin R., Heron N., Elliott J., Grimstead D., Biswas A. Infographic. Graduated return to play guidance following COVID-19 infection. *Br. J. Sports Med.* 2020;54(19):1174–1175. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102637>

9. Löllgen H., Bachl N., Papadopoulou T., Bigard X., Debruynne A., Zupet P., Steinacker J.M., Ionescu A., Casasco M., Pigozzi F., Pitsiladis Y.P., Wolfarth B., Bilzon J.L.J., Dohi M., Swart J., Badtjeva V., Geistlinger M., Di Luigi L., Holloway G., Jones N.E. et al. Recommendations for return to sport during the sars-cov-2 pandemic. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine.* 2020; (1): C.e000858. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102985>

10. Moulson N., Gustus S. K., Scirica C., Petek B. J., Vanaatta C., Churchill T. W., et al. Diagnostic evaluation and cardiopulmonary exercise test findings in young athletes with persistent symptoms following COVID-19. *Br. J. Sports Med.* 2022; 56(16):927–932. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-105157>

11. Khan S., Karim M., Gupta V., Goel H., Jain R. A Comprehensive Review of COVID-19-Associated Endocrine Manifestations. *South. Med. J.* 2023;116(4):350–354. <https://doi.org/10.14423/SMJ.0000000000001542>

12. Abdulhabirova F.M., Bezlepkin O.B., Brovin D.N., Vagina T.A., Melnichenko G.A., Nagaeva E.V., et al. Clinical guidelines “Diseases and conditions associated with iodine deficiency”. *Problems of Endocrinology.* 2021;67(3):10–25. (In Russ.). <https://doi.org/10.14341/probl12750>

13. Pelliccia A., Caselli S., Sharma S., Basso C., Bax J. J., Corrado D., et al. European Association of Preventive Cardiology (EAPC) and European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) joint position statement: recommendations for the indication and interpretation of cardiovascular imaging in the evaluation of the athlete's heart. *Eur. Heart J.* 2018;39(21):1949–1969. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx532>

14. Tenyaeva E.A., Turova E.A., Badtjeva V.A., Okonkwo E.O. Influence of the transferred coronavirus infection on diseases of the endocrine system in athletes. *Sports medicine: research and practice.* 2023;13(2):46–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.2.12>

15. Clarke S.A., Abbara A., Dhillon W.S. Impact of COVID-19 on the Endocrine System: A Mini-review. *Endocrinology.* 2022;163(1):bqab203. <https://doi.org/10.1210/endo/bqab203>

16. Nekrasov A.I., Strongin L.G., Pochinka I.G., Tarasova N.I., Ledentsova O.V., Volovatova I.N. Features of thyroid pathology in the post-COVID period and the influence of previous vaccination on them. *Medical Almanac.* 2023;4(77):27–33. (In Russ).

17. Tshaev S.H. Zh., Yakh'eva Kh.Sh. Complications of the thyroid gland in coronavirus disease. *New day medicine.* 2022;3(41):33–38. (In Russ).

18. Stolyarova S.A., Okorokov P.L., Zybkin I.V., Babayeva E.V., Isaeva E.P. Features of the natural course of subclinical hypothyroidism in young athletes. *Sports medicine: research and practice.* 2023;13(2):39–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.2.5>

19. Kolpakova E.A., Elfimova A.R., Nikankina L.V., Dyakov I.N., Bushkova K.K., Troshina E.A. New SARS-CoV-2 infection — a possible trigger of autoimmune thyroid disease. *Clinical and experimental thyroidology.* 2022;18(3):4–12. (In Russ.). <https://doi.org/10.14341/ket12740>

20. Montefusco L., BenNasr M., D'Addio F., Loretelli C., Rossi A., Pastore I., et.al. Acute and long-term disruption of glycometabolic control after SARS-CoV-2 infection. *Nat. Metab.* 2021;3(6):774–785. <https://doi.org/10.1038/s42255-021-00407-6>

21. Wezenbeek E., Denolf S., Bourgois J. G., Philippaerts R. M., De Winne B., Willems T. M., et al. Impact of (long) COVID on athletes' performance: a prospective study in elite football players. *Ann. Med.* 2023;55(1):2198776. <https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2198776>

22. Турова Е.А., Теняева Е.А., Артикулова И.Н., Бадтиева В.А. Субклинический гипотиреоз у спортсменов: результаты ретроспективного анализа данных углубленного медицинского обследования. *Человек. Спорт. Медицина.* 2023;23(1):132–139. <https://doi.org/10.14529/hsm230118>

23. Корнякова В.В., Бадтиева В.А., Баландин М.Ю., Ашвиц И.В. Проблема физического утомления в спорте. *Человек. Спорт. Медицина.* 2019;19(4):142–149. DOI 10.14529/hsm190417. — EDN QABSMB.

24. Корнякова В.В., Бадтиева В.А., Конвай В.Д. Функциональная готовность спортсменов циклических видов спорта. *Человек. Спорт. Медицина.* 2020; 20(1): 128–134. DOI 10.14529/hsm200116. — EDN VJXUYZ

20. Montefusco L., BenNasr M., D'Addio F., Loretelli C., Rossi A., Pastore I., et.al. Acute and long-term disruption of glycometabolic control after SARS-CoV-2 infection. *Nat. Metab.* 2021;3(6):774–785. <https://doi.org/10.1038/s42255-021-00407-6>

21. Wezenbeek E., Denolf S., Bourgois J. G., Philippaerts R.M., De Winne B., Willems T. M., et al. Impact of (long) COVID on athletes' performance: a prospective study in elite football players. *Ann. Med.* 2023;55(1):2198776. <https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2198776>

22. Turova E.A., Tenyaeva E.A., Artikulova I.N., Badtieva V.A. Subclinical hypothyroidism in athletes: results of a retrospective analysis of in-depth medical examination data. *Human. Sport. Medicine.* 2023;23(1):132–139. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm230118>

23. Kornyakova V.V., Badtieva V.A., Balandin M.Yu., Ashvits I.V. The problem of physical fatigue in sports. *Human. Sport. Medicine.* 2019;19(4):142–149. DOI 10.14529/hsm190417. — EDN QABSMB.

24. Kornyakova V.V., Badtieva V.A., Konvay V.D. Functional readiness of athletes in cyclic sports. *Human. Sport. Medicine.* 2020; 20(1): 128–134. DOI 10.14529/hsm200116. — EDN VJXUYZ.

#### Информация об авторах:

**Турова Елена Арнольдовна**, д.м.н., профессор, главный научный сотрудник отдела спортивной медицины и клинической фармакологии ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения г. Москвы» Россия, 105120, г. Москва, ул. Земляной вал, 53; профессор кафедры восстановительной медицины, реабилитации и курортологии ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119048, г. Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2 (aturova55@gmail.com)

**Теняева Елена Анатольевна\***, к.м.н., ведущий научный сотрудник отдела спортивной медицины и клинической фармакологии ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения г. Москвы», Россия, 105120, г. Москва, ул. Земляной вал, 53 (teniaeva@mail.ru)

**Бадтиева Виктория Асланбековна**, член-корр. РАН, д.м.н., профессор, заведующий филиалом № 1 ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения г. Москвы» Россия, 105120, г. Москва, ул. Земляной вал, 53; руководитель отдела спортивной медицины и клинической фармакологии; профессор кафедры восстановительной медицины, реабилитации и курортологии ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет) Россия, 119048, г. Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2, ведущий научный сотрудник отдела научно-исследовательских услуг ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Россия, 121059, г. Москва, ул. Б. Дорогомилловская, д.5 (maratik2@yandex.ru)

**Оконкво Емануэлла Огечукву**, аспирант кафедры восстановительной медицины, реабилитации и курортологии ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119048, г. Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2 (okonkwoemmanuella.eo@gmail.com)

**Иванова Юлия Михайловна**, к.м.н., старший научный сотрудник отдела спортивной медицины и клинической фармакологии ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения г. Москвы», Россия, 105120, г. Москва, ул. Земляной вал, 53 (ivanovaym@zdrav.mos.ru)

#### Information about the authors:

**Elena A. Turova**, Professor, M.D., D.Sc. (Medicine), Chief resercher of the Department of Sports Medicine and Clinical Pharmacology of Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports medicine named after S.I. Spasokukotsky of Moscow Healthcare Department, Russia, 105120, Moscow, Zemlyanoy val, 53; Professor of the Department of Restorative Medicine, Rehabilitation and Balneology of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Russia, 119991, Moscow, Trubetskaya 8, str. 2 (aturova55@gmail.com)

**Elena A. Tenyaeva\***, M.D., Ph.D. (Medicine), leading researcher of the Department of Sports Medicine and Clinical Pharmacology of Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports medicine named after S.I. Spasokukotsky of Moscow Healthcare Department, Russia, 105120, Moscow, Zemlyanoy val, 53 (teniaeva@mail.ru)

**Victoria A. Badtieva**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor, Head of Branch №1 of “Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports medicine named after S.I. Spasokukotsky of Moscow Healthcare Department”, Russia, 105120, Moscow, Zemlyanoy val, 53; Head of the Sports Medicine and Clinical Pharmacology section, Professor of the Department of Restorative Medicine, Rehabilitation and Balneology of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Russia, 119991, Moscow, Trubetskaya 8, str. 2; leading researcher of the department of scientific research services of the Federal Scientific and Clinical Center for Sports Medicine and Rehabilitation of the Federal Medical and Biological Agency, Russia, 121059, Moscow, st. B. Dorogomilovskaya, 5 (maratik2@yandex.ru)

**Emmanuella O. Okonkwo**, Postgraduate student of the structural unit: Department of Restorative Medicine, Rehabilitation and Balneology of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Russia, 119991, Moscow, Trubetskaya 8, str. 2 (okonkwoemmanuella.eo@gmail.com)

**Iuliia M. Ivanova**, M.D., Ph.D. (Medicine), senior researcher of the Department of Sports Medicine and Clinical Pharmacology, of Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports medicine named after S.I. Spasokukotsky of Moscow Healthcare Department, Russia, 105120, Moscow, Zemlyanoy val, 53 (ivanovaym@zdrav.mos.ru)

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.2>

УДК: 616.127-002

Тип статьи: Обзор литературы / Articles Review



## Кардиомиопатия такоцубо у спортсменов

М.В. Петрова<sup>1</sup>, А.А. Спасский<sup>1,3</sup>, Б. А. Поляев<sup>2</sup>, А.А. Михайлов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

<sup>3</sup>Международный центр охраны здоровья, Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

Кардиомиопатия такоцубо (КТ) стала встречаться в клинической практике все чаще, причем при самой разной патологии, что, видимо, связано с улучшением диагностики данного заболевания. И вместе с тем до сих пор этот диагноз устанавливается не всегда, в первую очередь в связи с недостаточной осведомленностью врачей о данном заболевании. КТ имеет множество синонимов: разбитого сердца, стресс-индуцированная кардиомиопатия, синдром верхушечного баллонирования. КТ представляет собой форму острой, как правило, обратимой сердечной недостаточности, провоцируемой у большинства пациентов различными стрессорными факторами, протекающей с транзиторной дисфункцией преимущественно левого желудочка, клинически и эхокардиографически напоминающей острый коронарный синдром. В последнее время КТ довольно часто стала выявляться у спортсменов во время проведения нагрузочного тестирования (велоэргометрия, тредмил). Учитывая имеющийся большой объем информации по проблеме КТ и множество нерешенных вопросов, возникла необходимость проанализировать данные литературы и поделиться собственным опытом диагностики КТ. В статье освещаются аспекты этиологии, патогенеза, эпидемиологии, диагностики и лечения стресс-индуцированной КТ, возникающей в ответ на физический стресс и характеризующейся транзиторной дисфункцией левого желудочка. Клинический пример является собственным наблюдением авторов.

**Ключевые слова:** кардиомиопатия такоцубо, острый коронарный синдром, стресс, левый желудочек, электрокардиография, эхокардиография, спорт

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Петрова М.В., Спасский А.А., Поляев Б.А., Михайлов А.А. Кардиомиопатия такоцубо у спортсменов. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(2):68–78. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.2>

**Поступила в редакцию:** 27.02.2024

**Принята к публикации:** 22.05.2024

**Online first:** 23.09.2024

**Опубликована:** 15.12.2024.

\* Автор, ответственный за переписку

## Takotsubo cardiomyopathy in athletes

Marina V. Petrova<sup>1</sup>, Andrey A. Spassky<sup>1,3</sup>, Boris A. Polyayev<sup>2</sup>, Alexey A. Mihaylov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Patrice Lumumba Peoples' Friendship Institute of Russia, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

<sup>3</sup>International Center for Health Protection, Moscow, Russia

### ABSTRACT

Takotsubo cardiomyopathy (TTC) has become more common in clinical practice, and with a wide variety of pathologies, which is apparently associated with an improvement in the diagnosis of this disease. At the same time, this diagnosis is still not always established, primarily due to the lack of doctors' awareness about this disease. TTC has many synonyms: broken heart syndrome, stress-induced cardiomyopathy, apical ballooning syndrome. TTC is a form of acute and, as a rule, reversible heart failure, provoked in most patients by various stress factors, occurring with transient dysfunction primarily of the left ventricle, clinically and echocardiographically resembling acute coronary syndrome. Recently, TTC has become more common in athletes, during stress testing (bicycle ergometry, treadmill test). Taking into account the large amount of information about TTC and the many unresolved issues, it's necessary to analyze the literature and share our own experience in TTC diagnosis. The article highlights aspects of the etiology, pathogenesis, epidemiology, diagnostics and treatment of stress-induced TTC, which occurs in response to physical or mental stress and characterized by transient left ventricular dysfunction. The clinical example is the authors' own observation.

**Keywords:** takotsubo cardiomyopathy, acute coronary syndrome, stress, left ventricle, electrocardiography, echocardiography, sport

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Petrova M.V., Spassky A.A., Polyayev B.A., Mihaylov A.A. Takotsubo cardiomyopathy in athletes. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(2):68–78. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.2>

**Received:** 27 February 2024

**Accepted:** 22 May 2024

**Online first:** 23 September 2024

**Published:** 15 December 2024

\*Corresponding author

Кардиомиопатии (КМП) — гетерогенная группа заболеваний миокарда, ассоциированных с механической и/или электрической дисфункцией, обычно сопровождающихся гипертрофией миокарда или дилатацией камер сердца и развивающихся вследствие различных причин, но чаще имеющих генетическую природу. Патологический процесс может ограничиваться поражением сердца — первичные кардиомиопатии (генетические, смешанные и приобретенные) — или являться частью генерализованного, системного заболевания (вторичные кардиомиопатии), которые часто приводят к развитию сердечной недостаточности и летальным исходам [1]. Одним из вариантов приобретенной кардиомиопатии является стресс-индуцированная кардиомиопатия такоцубо (КТ) [2], которая характеризуется транзиторной дисфункцией левого желудочка (ЛЖ) в ответ на физический или психический стресс. Развитие данного состояния сопровождается клиническими и электрокардиографическими признаками, напоминающими острый коронарный синдром (ОКС), без признаков ишемической болезни сердца с относительно благоприятным прогнозом [3].

### Терминология

Термин «takotsubo» в переводе с японского означает «керамический горшок с круглым основанием и узким горлышком для ловли осьминогов в море». Именно такой формы гипокинезию верхушки с гиперкинезией

базальных отделов ЛЖ наблюдают при КТ во время выполнения эхокардиографии (ЭхоКГ). Впервые КТ была описана в 1990 году как транзиторное шарообразное (баллоноподобное) расширение верхушки сердца (apical ballooning) с одновременной гиперкинезией базальных сегментов ЛЖ, сопровождающееся апикальной желудочковой дисфункцией [4]. Наибольшей выборкой пациентов с КТ являются 88 взрослых японцев (средний возраст  $67 \pm 13$  лет), описанных Tsushikashi и соавт. в 2001 году [5]. Первое описание КТ среди представителей европейской популяции (13 пациентов) было сделано Desmet и соавт. в 2003 году [6]. В современной медицинской литературе КТ имеет множество синонимов: «транзиторное катехоламинергическое оглушение», «преходящее шарообразное (баллонное) расширение верхушки ЛЖ», «ампульная (амфороподобная) кардиомиопатия», «синдром разбитого сердца» [7]. В то же время большинство исследователей наиболее корректным названием для данного состояния считают «синдром транзиторной дисфункции левого желудочка» («transient left ventricular dysfunction syndrome») [8].

### 1. Этиопатогенез

Наиболее значимым фактором возникновения КТ принято считать эмоциональный и физический стресс, сопровождающийся острым выбросом катехоламинов, повышением чувствительности адренорецепторов (АР),

нарушением симпатической иннервации сердца и вегетативной дисфункцией.

Причина возникновения заболевания и патогенез точно не известны. По мнению ряда авторов, КТ представляет собой abortивный (прерванный) вариант острого инфаркта миокарда (ОИМ) [9] или является редкой обратимой формой нейрогенной КМП [10]. Существует мнение, что КТ относится к метаболическим КМП [11], а нарушения энергетического обмена могут лежать в основе на фоне острого стресса миокардиального оглушения [12]. Так, McGavock и соавт. описали случаи развития КТ у пациентов с жировой инфильтрацией и стеатозом сердца [13].

## 2. Эпидемиология

Истинная распространенность КТ до настоящего времени неизвестна. Имеющиеся данные, свидетельствуют о том, что у 0,7–2,5% пациентов с острым коронарным синдромом его причиной может быть КТ [14, 15, 16, 17]. В систематическом обзоре Gianni и соавт. было показано, что из 286 пациентов с КТ в возрасте 10–89 лет, данные которых были проанализированы, только 2,7% были младше 50 лет со значительным преобладанием женщин (88,8%) [17].

Преобладание женщин среди пациентов с КТ было продемонстрировано в исследовании Eshtehardi и соавт. Авторы проанализировали результаты 13715 коронарных ангиографий и 2459 пациентов с ОКС и обнаружили признаки КТ у 1,7% пациентов с ОКС и 0,3% пациентов, которым выполняли ангиографию коронарных сосудов. Средний возраст пациентов с КТ составлял 65 лет, и среди них женщин было значительно больше (85%). Авторы также отметили благоприятный прогноз и низкую вероятность развития рецидивов в этой выборке [18]. Схожие результаты описаны von Korn и соавт., которые провели ретроспективный анализ 26 593 коронарных ангиографий и оценили распространенность развития КТ при выполнении этой процедуры как достаточно низкую (0,08% случаев). Средний возраст пациентов с КТ составил 68,4 года, и среди них женщин было значительно больше (90,5%) [19].

## 3. Причины и условия возникновения

Психический и физический стресс являются главными пусковыми факторами КТ [20]. Описано развитие КТ во время нагрузочных тестирований, переохлаждения, поражения молнией, после полового акта и приема анаболических стероидов [21]. Сильные психологические переживания, связанные со смертью родственников, финансовыми проблемами, стихийными бедствиями, проблемами со здоровьем, могут стать предшественниками развитию «синдрома разбитого сердца» [22, 23].

К другим стрессорным обстоятельствам можно отнести и наличие целого ряда остро возникших патологических состояний, включая неврологические заболевания,

хирургические процедуры, пневмоторакс, сепсис, гемодиализ, тиреотоксический криз, астматический статус, искусственную вентиляцию легких, эпилептический статус, различные виды комы, острую алкогольную и наркотическую интоксикацию [24].

КТ может наблюдаться при черепно-мозговой травме, менингите и эпидуральных абсцессах, энцефалите, инфаркте мозга, ишемическом, геморрагическом и кардиоэмболическом инсульте [25]. По данным Wakabayashi и соавт., больных с эпилепсией, а также с ишемическим или геморрагическим инсультами можно отнести к группе риска развития КТ [26]. Также были описаны случаи развития КТ при метастатическом поражении головного мозга, амиотрофическом боковом склерозе, наследственной моторной и сенсорной невропатии, миастении гравис и лейкодистрофии [27].

КТ была описана и у пациентов с эндокринологической патологией, в том числе с болезнью Аддисона (гипокортицизме), дефиците адренкортикотропного гормона, феохромоцитоме, тиреотоксикозе, гипертиреозе, аутоиммунном полиэндокринном синдроме [28]. Это состояние было описано у пациентов с бронхиальной астмой и иммунодефицитом [29].

КТ описана и при целом ряде кардиологических патологий, в том числе остром перикардите, синдроме Дресслера, саркоидозе сердца, гипертрофической КМП, при дефекте межжелудочковой перегородки, синдроме удлинённого интервала QT, атриовентрикулярной блокаде, а также после радиочастотной абляции атриовентрикулярного узла и имплантации электрокардиостимулятора [30].

КТ может быть индуцирована и приемом некоторых лекарственных субстанций, например адреналина, добутамина [31], амфетамина, дизопирамида, антидепрессантов, некоторых антибиотиков (левофлоксацина).

## 4. Диагностика

Неспецифичность клинических симптомов и малая осведомленность врачей о данной патологии определяют основные трудности диагностики КТ. Пациенты могут быть взволнованными, у них может отмечаться гипергидроз, различные нарушения ритма. Наиболее часто КТ манифестирует клинической картиной ОКС, в первую очередь острой загрудинной боли.

Более половины пациентов предъявляют жалобы на боли в левой половине грудной клетки и одышку в течение нескольких дней. В некоторых ситуациях единственными симптомами могут быть выраженная одышка, остановка сердца, сердцебиение. При обструкции выходного тракта ЛЖ заболевание может дебютировать симптомами расстройства мозгового кровообращения (тошнотой, рвотой, головокружением, потерей сознания, обмороком, эпилептиформным припадком), а при острой левожелудочковой недостаточности вследствие дисфункции ЛЖ — кардиогенным шоком.

Для диагностики КТ используются модифицированные критерии клиники Мейо, включающие все четыре признака:

1) транзиторный гипокинез, дискинез или акинез средних сегментов ЛЖ с вовлечением верхушки или без, баллоноподобное расширение полости ЛЖ, не соответствующие зоне кровоснабжения одной из коронарных артерий;

2) отсутствие обструкции коронарной артерии или ангиографического свидетельства отрыва атеросклеротической бляшки;

3) появление изменений электрокардиограммы (ЭКГ) (любая элевация сегмента ST и/или инверсия зубца T) или незначительное повышение уровня тропонина;

4) отсутствие феохромоцитомы или миокардита [32].

На ЭКГ регистрируется подъем сегмента ST. В 95 % случаев он происходит в грудных отведениях (максимально в V2–V3, с меньшей по сравнению с ОИМ амплитудой), инверсия и увеличение амплитуды зубца T (97 % случаев). Также могут определяться патологический зубец Q (27 % случаев), удлинение интервала QT и патологический зубец U. Более чем у 60 % пациентов с КТ подъем сегмента ST отсутствует, а из нарушений ритма регистрируются синусовая брадикардия, фибрилляция предсердий, желудочковая тахикардия [33].

Через непродолжительное время показатели ЭКГ могут возвращаться к исходным значениям, однако у некоторых пациентов отрицательные зубцы T сохраняются в течение нескольких месяцев.

Некоторые исследователи считают метод ЭКГ достаточным для постановки диагноза КТ, поскольку в отличие от ОИМ для этого состояния характерна конкордантность изменений зубцов T и сегмента ST. В новых критериях дифференциальной ЭКГ-диагностики переднего ОИМ и КТ используются нижние отведения: отсутствие в них депрессии сегмента ST, особенно если элевация сегмента ST в отведении II больше, чем в отведении III, свидетельствует в пользу КТ [34]. Нормальная или неопределенная ЭКГ отмечается у 15 % пациентов с КТ [35].

ЭхоКГ выявляет типичные для КТ изменения: гипокинез или акинез средних и апикальных сегментов ЛЖ, локализованные топически вне распределения какой-либо одной из коронарной артерий. Отмечается снижение фракции выброса в острой стадии до 20–49 % с последующим повышением до 59–76 % — в среднем к 18-му дню заболевания [36].

По данным ЭхоКГ выделяют следующие варианты КТ:

1) классический (classic type) с баллонированием в области верхушки и базальной гиперкинезией, обструкцией выходного тракта ЛЖ, акинезией передней стенки и межжелудочковой перегородки;

2) обратный (reverse type) с гиперкинезией верхушки сердца и акинезией базальных отделов ЛЖ (этот вариант редко описывается в литературе);

3) средний (mid-ventricular type) с баллонообразным расширением и акинезом средних и гиперкинезией базальных и апикальных сегментов;

4) местный (local type) с ограничением в локальной области сегмента, обычно передней стенки [37].

Одной из важнейших особенностей КТ является отсутствие гемодинамически значимых стенозов коронарных артерий. Лишь около 10 % пациентов с КТ имеют незначительные изменения сосудов, и максимальная обструкция коронарных артерий не превышает 50–65 %. В то время как среди пациентов с ОИМ распространенность нормальных коронарных артерий составляет всего 1–12 % [38]. При перфузионной томосцинтиграфии миокарда отмечаются необычное «опоясывающее» усиление перфузии и грушевидная, баллонообразная форма полости ЛЖ, в ряде случаев с обратной динамикой после приема нитроглицерина [39]. Вентрикулография и магнитно-резонансная томография при КТ позволяют обнаружить зоны акинезии и гипокинезии определенных сегментов и оценить выраженность сегментарной дисфункции желудочков [40].

Уровни кардиоспецифичных ферментов (креатинфосфокиназа (КФК), тропонина I и T) могут быть увеличены у 90 % пациентов с КТ, но в большинстве случаев (74–86 %) это повышение незначительно. Повышение кардиомаркеров не соответствует объему поврежденного миокарда и не сопоставимо с ОИМ с подъемом сегмента ST. Предполагается, что при уровне тропонина T больше чем 6 нанограммов/мл и тропонина I больше чем 15 нанограммов/мл, диагноз КТ маловероятен, а более вероятно ИБС, независимо от других полученных данных. Кроме того, при КТ обнаружена прямая корреляция между снижением фракции выброса и уровнем тропонина T, но не с другими сердечными маркерами, и эта корреляция более достоверна, чем при ОКС [41].

Почти у 75 % пациентов в острой стадии КТ существенно повышается концентрация циркулирующих в плазме катехоламинов (норадреналина, адреналина и допамина) — их концентрация существенно выше, чем при ОИМ или остановке сердца, и до 34 раз выше нормальных значений [42]. Поскольку период полураспада адреналина составляет приблизительно три минуты, измерение катехоламинов имеет смысл лишь в ранний период манифестации КТ. В то же время ряд исследователей не смогли обнаружить повышение уровней катехоламинов и кортизола в плазме крови пациентов с КТ, что позволило им поставить под сомнение практическую целесообразность их определения. По их данным, КТ характеризуется достоверно более высоким увеличением мозгового натрийуретического пептида (BNP) [43], содержание которого может превышать нормальные значения в 10 раз.

Уровень BNP как маркера увеличенного конечно-диастолического давления в ЛЖ станированного миокарда часто повышен у пациентов с остановкой сердца. Высокий уровень BNP плазмы крови считается

известным маркером плохого прогноза [44]. По данным Doust и соавт., увеличение уровня BNP на каждые 100 пг/мл увеличивает относительный риск смерти при сердечной недостаточности на 35 % [45].

Особый интерес представляют данные, касающиеся роли дисфункции эндотелия как в остром, так и отдаленном периодах заболевания. Отечественными исследователями обнаружено, что в большинстве случаев в остром и отдаленном периодах КТ наблюдается аномальная сосудистая реактивность как в покое, так и при стрессе. Для оценки риска возникновения синдрома такоубо в клинической практике они рекомендуют определять в плазме маркеры дисфункции эндотелия уровень эндотелина-1 и количество циркулирующих эндотелиальных клеток [46].

При эндомикардиальной биопсии и электронной микроскопии у пациентов, перенесших КТ, можно обнаружить структурное повреждение кардиомиоцитов с вакуолизацией, нарушением цитоскелета клеток, дегградацией контрактильных белков. В некоторых случаях обнаруживаются диссеминированный фиброз с инфильтрацией мононуклеарными клетками, фокальный интерстициальный фиброз. Использование иммуногистохимических методов в острую стадию КТ поможет выявить уменьшение количества актина, нарушение структуры дистрофина и коннексина-43, значительную активацию коллагена 1-го типа и фибротические изменения внеклеточного пространства [47].

### 5. Течение и прогноз

Осложнения встречаются приблизительно у 20 % пациентов с КТ. К ним относят сердечную (левожелудочковую) недостаточность, перикардит, кардиоэмболический инсульт, а также такие нарушения ритма и проводимости, как синусовая брадикардия или тахикардия, синоатриальная блокада, атриовентрикулярная блокада, фибрилляция предсердий, желудочковая тахикардия или фибрилляция желудочков, удлинение интервала QT и пируэтная желудочковая тахикардия. Желудочковые тахикардии и фибрилляция желудочков осложняют течение КТ в 9 % случаев [48]. Наиболее грозными осложнениями являются пристеночное тромбообразование, встречающееся, по некоторым данным, в разные периоды болезни в 8 % случаев, кардиогенный шок, остановка сердца, отек легких, истончение и разрыв миокарда, внезапная смерть [49].

Поскольку клиническая картина КТ напоминает ОКС, необходимо проводить дифференциальный диагноз со многими заболеваниями, сопровождающимися кардиалгиями, такими как стенокардия, ОИМ, расслаивающаяся аневризма грудного отдела аорты, тампонада сердца, кардиогенный шок, кардиомиопатия, миокардит, перикардит, тромбоэмболия легочной артерии, кардиогенный отек легких, а также пневмоторакс, спазм пищевода, гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь, синдром Бурхаве при разрыве пищевода [50].

Несмотря на яркую клиническую и инструментальную симптоматику КТ, прогноз при этом заболевании благоприятный. У 95 % пациентов наблюдается полное восстановление преходящей дисфункции ЛЖ в течение 4–8 недель, при этом у трети больных оно происходит уже в стационаре, к концу первой недели. Среднее время восстановления составляет приблизительно 2–3 недели, а риск рецидивирования оценивается в 2–10 %. Смертность при развитии КТ находится в диапазоне от 1 до 3,2 % [51].

### Клинический пример (собственное наблюдение авторов)

Пациент С., рост 187 см, вес 83 кг, 26 лет, футболист, мастер спорта России, проходящий плановое углубленное медицинское обследование.

Жалоб не предъявляет.

ЭКГ: ритм синусовый — 70 ударов в минуту. Неспецифическая внутрижелудочковая блокада.

ЭхоКГ: в левом желудочке дополнительная хорда, пролапс задней створки митрального клапана I степени. Толщина миокарда в пределах нормы, зон нарушения локальной и глобальной сократимости не выявлено.

В анализах крови обращает на себя внимание повышение КФК до 423 МЕ/л.

Велоэргометрия (непрерывно возрастающий тест): максимальная нагрузка — 251 Вт, максимальная ЧСС — 161 уд/мин, максимальное АД — 200/98 мм рт. ст.

Время восстановления до ЧСС 120 уд/мин — 90 секунд.

На ЧСС 118 уд/мин отмечается горизонтальная косонисходящая депрессия сегмента ST и отрицательный зубец T в отведениях II, III, aVF, V4–V6 (рис. 1). Нарушений ритма и проводимости во время пробы и на восстановлении нет. Реакция АД на нагрузку нормотоническая, восстановление нормальное, толерантность к нагрузке высокая.

Больному рекомендовано дополнительное исследование, которое проведено через шесть дней.

Выполнена МСКТ-коронарография коронарных артерий, по результатам которой «гемодинамических стенозов со стороны коронарных артерий не выявлено, передняя межжелудочковая артерия контрастируется на всем протяжении, в дистальных сегментах извита; в дистальном сегменте определяется интрамурально расположенный участок протяженностью около 3 см (мышечный мостик); на всем протяжении ПМЖВ атеросклеротических бляшек не выявлено» (рис. 2.).

Спортсмен отстранен от тренировочного и соревновательного режима на два месяца, назначено лечение, включающее 4 грамма фосфокреатина в сутки внутривенно в течение 14 дней и 400 миллиграммов этилметилгидроксипиридина сукцината в сутки в течение 60 дней.

После окончания указанного курса терапии спортсмен под контролем врача команды приступил к тренировкам на фоне приема 400 миллиграммов

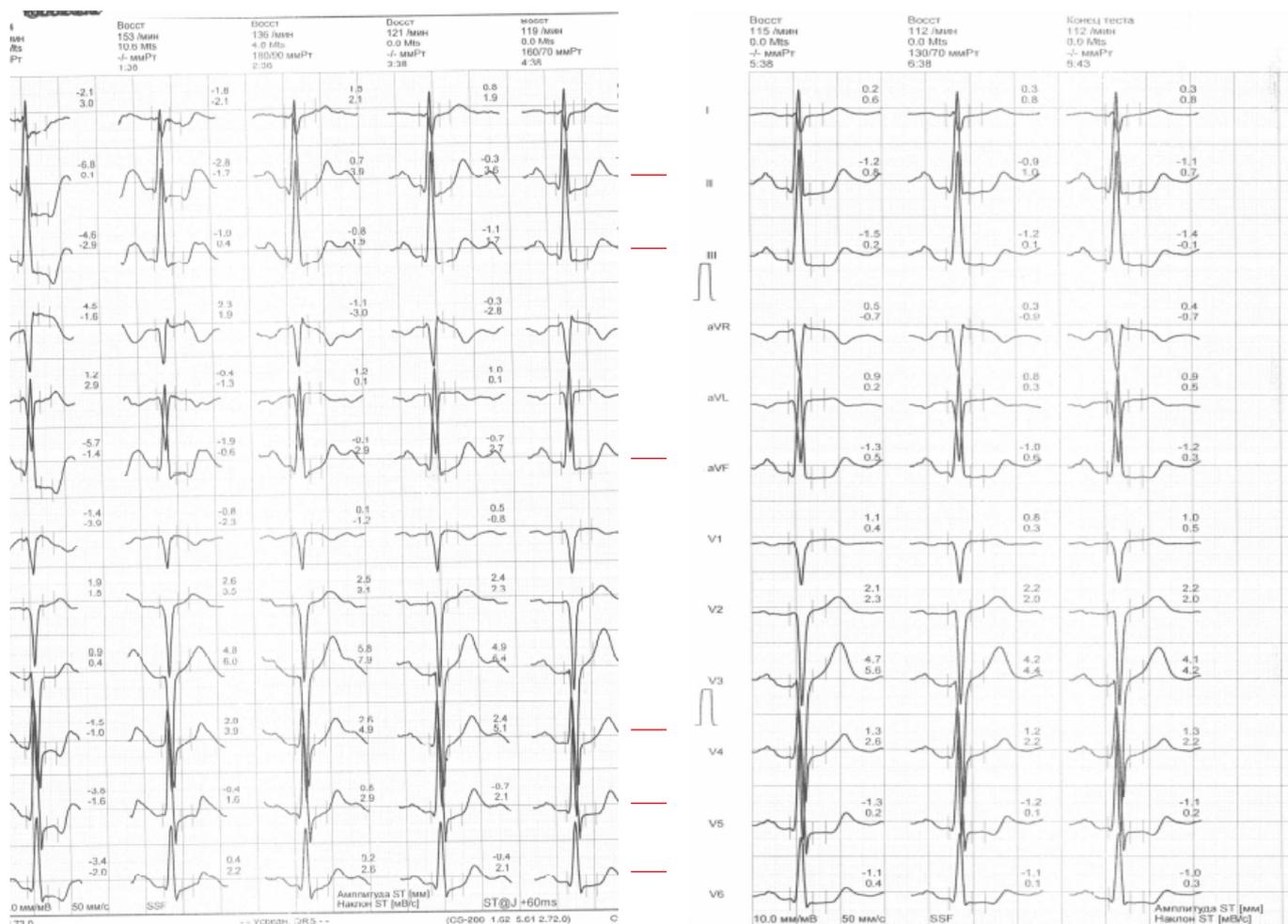


Рис. 1. Велоэргометрия, пациент С., плановое углубленное медицинское обследование  
Fig. 1. Cycle ergometry, patient S., routine in-depth medical assessment

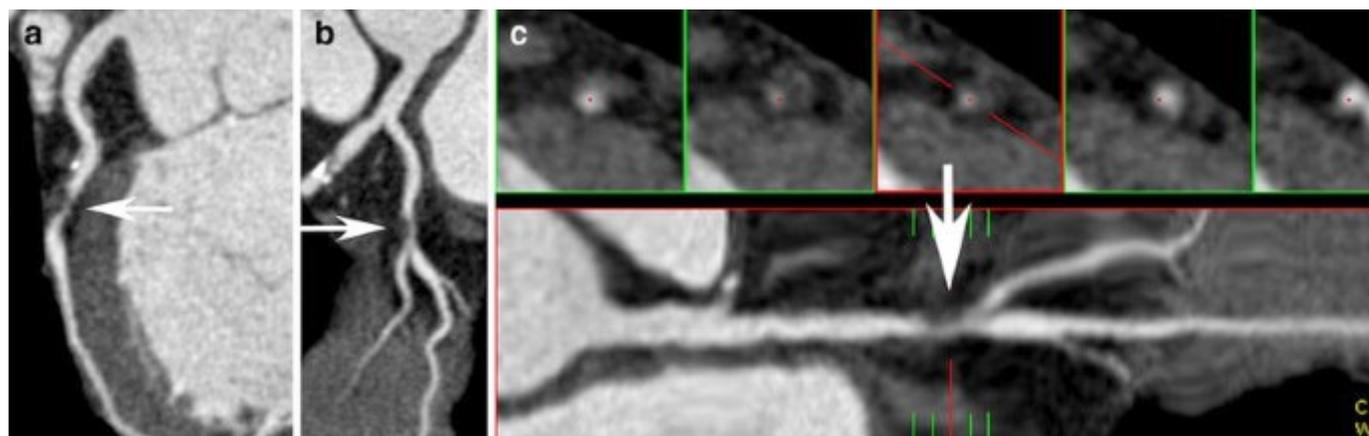


Рис. 2. МСКТ-коронарография коронарных артерий, пациент С.  
Fig. 2. MSCT coronography of the coronary arteries, patient S.

этилметилгидроксипиридина сукцината в сутки и двух таблеток панангина форте два раза в сутки еще на протяжении еще двух месяцев.

Через шесть месяцев спортсмен прошел повторное углубленное медицинское обследование. ЭКГ и ЭхоКГ — без динамики, КФК — 275 МЕ/л.

Велоэргометрия (ступенчатый непрерывно-возрастающий тест): максимальная нагрузка — 251 Вт, максимальная ЧСС — 161 уд/мин, максимальное АД — 180/90 мм рт. ст. Время восстановления до ЧСС 120 уд/мин — 90 секунд. Нарушения ритма и проводимости во время пробы и на восстановлении нет. На фоне

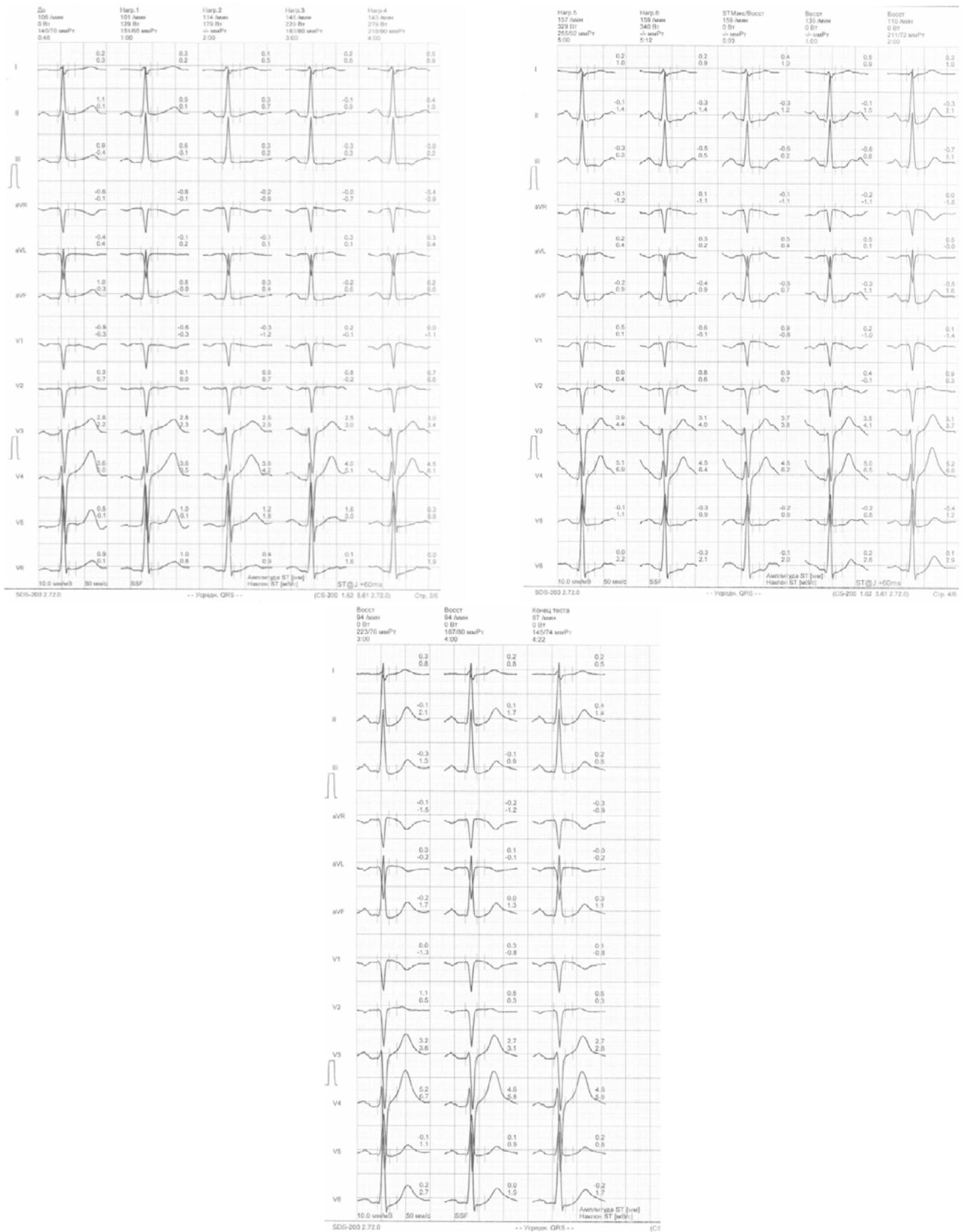


Рис. 3. Велоэргометрия, пациент С., через шесть месяцев  
Fig. 3. Cycle ergometry, patient S., after six months

ЧСС 163 — косовосходящая депрессия с формированием отрицательного зубца Т в отведениях II, III, aVF, V5–V6. На восстановление — положительная динамика. Восстановление ЧСС: на 1-й мин — 156 уд/мин, на 3-й мин — 110 уд/мин, на 5-й мин — 103 уд/мин. ПАНО на пульсе — 157 уд/мин. O<sub>2</sub> на ПАНО — 32,7 мл/кг/мин. Пиковое МПК 48,4 мл/мин/кг — 12 км/ч. Реакция на АД на нагрузку: нормотоническая. Восстановление: нормальное МАС = 12 км/ч, Аэп = 152 уд/мин. Толерантность к нагрузке: высокая, тест: отрицательный (рис. 3).

Таким образом, учитывая молодой возраст пациента, отсутствие факторов риска и атеросклеротического поражения коронарных артерий (интрамурально расположенный мышечный мостик протяженностью 3 см в ПМЖВ, отсутствие атеросклеротических бляшек), специфическую форму ЛЖ при МСКТ, отсутствие дефектов контрастирования и участков жировой инфильтрации левого и правого желудочков, незначительно повышенный уровень КФК, косовосходящую депрессию сегмента ST и инверсию зубца Т, диагноз ишемической болезни сердца был исключен. Состояние расценено как стресс-индуцированная кардиомиопатия (синдром такоубо).

#### 6. Лечение

Специальных методов лечения КТ нет. Ряд специалистов рекомендует использование ингибиторов АПФ или блокаторов рецептора ангиотензина, по крайней мере, до восстановления сократительной функции ЛЖ. С момента манифестации заболевания и в долгосрочной перспективе может быть целесообразным прием β-адреноблокаторов [52]. Роль таких лекарственных средств, как статины, аспирин, блокаторы кальциевых каналов, клопидогрел, сомнительна [53]. Пациентам с постоянной дисфункцией ЛЖ показано применение диуретиков. Поскольку симпатoadреналовая активация является основной в патогенезе КТ, для лечения и профилактики рецидивов предпочтительной является длительная терапия β-адреноблокаторами с β-адренергической активностью (например, карведилол). Тромболизис при КТ не показан, однако, учитывая риск тромбообразования у 5–7% пациентов с КТ, в определенных ситуациях антикоагулянты могут быть назначены.

Фармакотерапия КТ предполагает достижение оптимальной эффективной, порой максимально возможной дозы препарата при минимальной вероятности развития побочных эффектов. Лечение любыми лекарственными средствами, включая кардиоцитопротекторы (неотон, мексикор), начинается с минимальных доз

и осторожным их титрованием в течение достаточно долгого времени. Длительное динамическое наблюдение может предполагать как замену используемого препарата, так и его дозы.

Другой терапевтической проблемой является кардиогенный шок, не типичный для КТ, но все-таки осложняющий ее течение в 4,2% случаев. Повышение уровня катехоламинов является ведущим в патофизиологии шока при КТ, но адреналин, добутамин, допамин, милринон и норадреналин, увеличивающие цАМФ в клетках миокарда, при КТ приводят к ухудшению состояния. Рекомендованы схемы лечения кардиогенного шока, вызванного КТ, β-адреноблокаторами и неадренергическими инотропами (левозимендан) [54].

#### 7. Практические рекомендации для спортивных врачей

1. Для своевременной диагностики прогрессирующего заболевания, профилактики и лечения осложнений, а также риска внезапной сердечной смерти пациенты с КТ нуждаются в длительном врачебном наблюдении.

2. У клинически стабильных пациентов проведение эхокардиографии показано каждые 6 месяцев, а внеплановое исследование — при прогрессировании заболевания.

3. Клинически стабильным пациентам один раз в год показано проведение холтеровского мониторирования ЭКГ в течение 48 часов.

4. Пробы с физической нагрузкой рекомендуется проводить каждые 6 месяцев.

#### 8. Заключение

Кардиомиопатия такоубо относится к редким синдромам. Тем не менее можно предположить, что встречается данный синдром значительно чаще, чем описывается, что связано со сложностью его диагностики. Чаще всего болезнь развивается после эмоционального или физического стресса и сопровождается приступом загрудинной боли, подъемом или депрессией сегмента ST на ЭКГ, а также нарушениями сократимости миокарда по данным ЭхоКГ. Основным признаком для дифференциальной диагностики кардиомиопатии такоубо является отсутствие значимых стенозов коронарных артерий при полной обратимости всех нарушений сократимости миокарда по данным ЭхоКГ и ЭКГ. Дальнейшие исследования роли различных факторов в развитии и течении кардиомиопатии такоубо необходимы для разработки новых методов лечения синдрома, а также для профилактики повторных эпизодов нарушения сократимости миокарда.

**Вклад авторов:**

**Петрова Марина Владимировна** — научное руководство;  
**Спасский Андрей Александрович** — предоставление материалов оригинального исследования;  
**Поляев Борис Александрович** — методическое руководство;  
**Михайлов Алексей Александрович** — подготовка обзора, обобщение материалов, ответственный за публикацию.

**Author contributions:**

**Marina V. Petrova** — project administration;  
**Andrey A. Spassky** — provision of original research materials;  
**Boris A. Polyayev** — methodological guidance;  
**Alexey A. Mihaylov** — preparation of a review, communication of materials, responsible for publication.

**Литература/ References**

- 1. Стеклов В.И., Морозова Н.В., Иванов С.А. Гмир Т.Н.** Гипертрофическая кардиомиопатия: диагностика, стратификация риска и стратегия профилактики внезапной сердечной смерти. *Воен.-мед. журн.* 2024;345(1):39–50. [Steklov V.I., Morozova N.V., Ivanov S.A., Gmir T.N. Hypertrophic cardiomyopathy: diagnosis, risk stratification and strategies to prevent sudden cardiac death. *Voenno-meditsinskii zhurnal = War and Medical Journal.* 2024;345(1):39–50. (In Russ.)].
- 2. Maron B.J., Towbin J.A., Thiene G., Antzelevitch C., Corrado D., Arnett D., et al.** Contemporary definitions and classification of the cardiomyopathies: an American Heart Association Scientific Statement from the Council on Clinical Cardiology, Heart Failure and Transplantation Committee; Quality of Care and Outcomes Research and Functional Genomics and Translational Biology Interdisciplinary Working Groups; and Council on Epidemiology and Prevention. *Circulation.* 2006;113(14):1807–1816. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.106.174287>
- 3. Sealove B.A., Tiyyagura S., Fuster V.J.** Takotsubo cardiomyopathy. *J. Gen. Intern. Med.* 2008;23(11):1904–1908. <https://doi.org/10.1007/s11606-008-0744-4>
- 4. Sato H., Tateishi H., Uchida T., et al.** Takotsubo-type cardiomyopathy due to multivessel spasm. In: **Kodama K., Haze K. Hom M, eds.** *Clinical aspect of myocardial injury: from ischemia to heart failure.* Tokyo: Kagakuhyouronsya Co.; 1990, p. 56–64. (In Japanese).
- 5. Tsushikashi K., Ueshima K., Uchida T.** Transient left ventricular apical ballooning syndrome without coronary artery stenosis; a novel heart syndrome mimicking acute myocardial infarction. *J. Amer. Coll. Cardiol.* 2001;38(1):11–18. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(01\)01316-x](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(01)01316-x)
- 6. Desmet W.J., Adriaenssens B.F., Dens J.A.** Apical ballooning of the left ventricle: first series in white patients. *Heart.* 2003;89(9):1027–1031. <https://doi.org/10.1136/heart.89.9.1027>
- 7. Gianni M., Dentali F., Grandi A.M., Sumner G., Hiralal R., Lonn E.** Apical ballooning syndrome or takotsubo cardiomyopathy: a systematic review. *Eur. Heart J.* 2006;27(13):1523–1529. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehl032>
- 8. Cimarelli S., Sauer F., Morel O., Ohlmann P., Constantinesco A., Imperiale A.** Transient left ventricular dysfunction syndrome: Pathophysiological bases through nuclear medicine imaging. *Int. J. Cardiol.* 2010;144(2):212–218. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2009.04.025>
- 9. Khallafi H., Chacko V., Varveralis N., Elmi F.** “Broken heart syndrome”: catecholamine surge or aborted myocardial infarction? *J. Invasive Cardiol.* 2008;20(1):E9–13.
- 10. Pfister R., Erdmann E., Hoppe U.C.** The Takotsubo syndrome—a psychosomatic cardiac complication? *MMW Fortschr. Med.* 2007;149(1–2):41–43.
- 11. Yilmaz Y.** Apical ballooning syndrome: A metabolic form of cardiomyopathy? *Med. Sci. Monit.* 2008;14(6):HY9–12.
- 12. Finsterer J., Stollberger C., Sehna E. et al.** Apical ballooning (Takotsubo syndrome) in mitochondrial disorder during mechanical ventilation. *J. Cardiovasc. Med (Hagerstown).* 2007;8(10):859–863. <https://doi.org/10.2459/JCM.0b013e3280103d1b>
- 13. McGavock J.M., Lingvay I., Zib I., Tillery T., Salas N., Ungar R., et al.** Cardiac steatosis in diabetes mellitus: a 1H-magnetic resonance spectroscopy study. *Circulation.* 2007;116(10):1170–1175. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.645614>
- 14. Pilgrim T.M., Wyss T.R.** Takotsubo cardiomyopathy or transient left ventricular ballooning syndrome. A systematic review. *Int. J. Cardiol.* 2008;124(3):283–292. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2007.07.002>
- 15. Ito K., Sugihara H., Katoh S., Azuma A., Nakagawa M.** Assessment of Takotsubo (apical) cardiomyopathy using 99mTc-tetrofosmin myocardial SPECT-comparison with acute coronary syndrome. *Ann. Nucl. Med.* 2003;17(2):115–122. <https://doi.org/10.1007/BF02988449>
- 16. Bybee K.A., Prasad A., Barsness G.W., Lerman A., Jaffe A.S., Murphy J.G., Wright R.S., Rihal C.S.** Clinical characteristics and thrombolysis in myocardial infarction frame counts in women with transient left ventricular apical ballooning syndrome. *Am. J. Cardiol.* 2004;94(3):343–346. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2004.04.030>
- 17. Gianni M., Dentali F., Grandi A.M., Sumner G., Hiralal R., Lonn E.** Apical ballooning syndrome or takotsubo cardiomyopathy: a systematic review. *Eur. Heart J.* 2006;27(13):1523–1529. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehl032>
- 18. Eshtehardi P., Koestner S.C., Adorjan P., Windecker S., Meier B., Hess O.M., Wahl A., Cook S.** Transient apical ballooning syndrome — clinical characteristics, ballooning pattern, and long-term follow-up in a Swiss population. *Int. J. Cardiol.* 2009;135(3):370–375. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2008.03.088>
- 19. von Korn H., Yu J., Lotze U. Ohlow M.-A., Huegl B., Schulte W., et al.** Tako-Tsubo-like cardiomyopathy: specific ECG findings, characterization and clinical findings in a European single center. *Cardiology.* 2009;112(1):42–48. <https://doi.org/10.1159/000137698>
- 20. Mathew B., Villarreal D.** Two unusual cases of Takotsubo cardiomyopathy. presenting with sudden cardiac death. *Am. J. Med. Sci.* 2009;337(6):473–475. <https://doi.org/10.1097/MAJ.0b013e3181956f49>
- 21. Bybee K.A., Prasad A.** Stress-related cardiomyopathy syndromes. *Circulation.* 2008;118(4):397–409. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.677625>
- 22. Citro R., Previtali M., Bossone E.** Tako-tsubo cardiomyopathy and drowning syndrome: is there a link? *Chest.* 2008;134(2):469. <https://doi.org/10.1378/chest.08-0541>
- 23. Radhakrishnan A., Granato J.E.** An association between Takotsubo cardiomyopathy and thyroid storm. *Postgrad. Med.* 2009;121(3):126–130. <https://doi.org/10.3810/pgm.2009.05.2012>
- 24. Gelow J., Kruer M., Yadav V., Kaul S.** Apical ballooning resulting from limbic encephalitis. *Am. J. Med.* 2009;122(6):583–586. <https://doi.org/10.3810/pgm.2009.05.2012>
- 25. Wakabayashi K., Dohi T., Daida H.** Takotsubo cardiomyopathy associated with epilepsy complicated with giant thrombus.

Int. J. Cardiol. 2001;148(2):e28–30. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2009.01.072>

26. **Uechi Y., Higa K.** Recurrent takotsubo cardiomyopathy within a short span of time in a patient with hereditary motor and sensory neuropathy. *Intern. Med.* 2008;47(18):1609–1613. <https://doi.org/10.2169/internalmedicine.47.1186>

27. **Punnam S.R., Gourineni N., Gupta V.** Takotsubo cardiomyopathy in a patient with Addison disease. *Int. J. Cardiol.* 2010;144(2):e34–36. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2008.12.191>

28. **Gangadhar T.C., Von der Lohe E., Sawada S.G., Helft P.R.** Takotsubo cardiomyopathy in a patient with esophageal cancer: a case report. *J. Med. Case Reports.* 2008;2:379. <https://doi.org/10.1186/1752-1947-2-379>

29. **Mahida S., Dalageorgou C., Behr E.R.** Long-QT syndrome and torsades de pointes in a patient with Takotsubo cardiomyopathy: an unusual case. *Europace.* 2009;11(3):376–378. <https://doi.org/10.1093/europace/eun336>

30. **Skolnick A.H., Michelin K., Nayar A., Fisher D., Kronzon I.** Transient apical ballooning syndrome precipitated by dobutamine stress testing. *Ann. Intern. Med.* 2009;150(7):501–502. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-150-7-200904070-00015>

31. **Jayawardena S., Sooriabalan D., Burzyantseva O., Sinnapunayagam S.** Takotsubo cardiomyopathy in a 68-year-old Russian female. *Cases J.* 2008;1(1):64. <https://doi.org/10.1186/1757-1626-1-64>

32. **Kawai S., Kitabatake A., Tomoike H.** Guidelines for diagnosis of takotsubo (ampulla) cardiomyopathy. *Circ. J.* 2007;71(6):990–992. <https://doi.org/10.1253/circj.71.990>

33. **Dib C., Asirvatham S., Elesber A., Rihal C., Friedman P., Prasad A.** Clinical correlates and prognostic significance of electrocardiographic abnormalities in apical ballooning syndrome (Takotsubo/stress-induced cardiomyopathy). *Am. Heart J.* 2009;157(5):933–938. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2008.12.023>

34. **Jim M.H., Chan A.O., Tsui P.T. et al.** A new ECG criterion to identify takotsubo cardiomyopathy from anterior myocardial infarction: role of inferior leads. *Heart Vessels.* 2009;24(2):124–130. <https://doi.org/10.1007/s00380-008-1099-9>

35. **Kimura S., Mitsuma W., Ito M., Suzuki H., Hosaka Y., Hirayama S., et al.** Inverted Takotsubo contractile pattern caused by pheochromocytoma with tall upright T-waves, but not typical deep T-wave inversion. *Int. J. Cardiol.* 2008;139(2):e15–17. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2008.06.073>

36. **Sealove B.A., Tiyyagura S., Fuster V.** Takotsubo cardiomyopathy. *J. Gen. Intern. Med.* 2008;23(11):1904–1908. <https://doi.org/10.1007/s11606-008-0744-4>

37. **Ramaraj R., Sorrell V.L., Movahed M.R.** Levels of troponin release can aid in the early exclusion of stress-induced (takotsubo) cardiomyopathy. *Exp. Clin. Cardiol.* 2009;14(1):6–8.

38. **Kurisu S., Inoue I., Kawagoe T., Ishihara M., Shimatani Y., Nakama Y., et al.** Prevalence of incidental coronary artery disease in tako-tsubo cardiomyopathy. *Coron. Artery Dis.* 2009;20(3):214–218. <https://doi.org/10.1097/MCA.0b013e3283299260>

39. **Остроумов Е.Н., Нуднов Н.В., Артемова Е.В., Хорикова Е.Н.** Диагностика ампульной кардиомиопатии с помощью

перфузионной томосцинтиграфии миокарда. *Российский медицинский журнал.* 2006;(3):5–8. [**Ostroumov E.N., Nudnov N.V., Artemova E.V., Khorikova E.N.** Diagnosis of ampoule cardiomyopathy using myocardial perfusion tomoscintigraphy. *Rossiiskii meditsinskii zhurnal* = Medical Journal of the Russian Federation. 2006;(3):5–8. (In Russ.)].

40. **Mitchell J.H., Hadden T.B., Wilson J.M., Achari A., Muthupillai R., Flamm S.D.** Clinical features of cardiac magnetic resonance imaging in assessing myocardial viability and prognosis in Takotsubo cardiomyopathy (transient left ventricular apical ballooning syndrome). *Am. J. Cardiology.* 2007;100(2):296–301. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2007.02.091>

41. **Gorenek B., Kudaiberdieva G., Taraktas M., Cavusoglu Y., Timuralp B., Goktekin O., Ata N., Unalir A.** Correlation between left ventricular ejection fraction and cardiac troponin T concentration is more pronounced in patients with nonischemic cardiomyopathy. *J. Electrocardiology.* 2007;40(4):S75. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2007.03.039>

42. **Sharkey S.W., Lesser J.R., Menon M., Parpart M., Maron M.S., Maron B.J.** Spectrum and significance of electrocardiographic patterns, troponin levels, and thrombolysis in myocardial infarction frame count in patients with stress (tako-tsubo) cardiomyopathy and comparison to those in patients with ST-elevation anterior wall myocardial infarction. *Am. J. Cardiol.* 2008;101(12):1723–1728. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2008.02.062>

43. **Madhavan M., Borlaug B.A., Lerman A., Rihal C.S., Prasad A.** Stress Hormone and Circulating Biomarker Profile of Apical Ballooning Syndrome (Takotsubo Cardiomyopathy): Insights into the Clinical Significance of BNP and Troponin Levels. *Heart.* 2009;95(17):1436–1441. <https://doi.org/10.1136/hrt.2009.170399>

44. **Yoshimura S., Toyoda K., Ohara T., Nagasawa H., Ohtani N., Kuwashiro T., Naritomi H., Minematsu K.** Takotsubo cardiomyopathy in acute ischemic stroke. *Ann. Neurol.* 2008;64(5):547–554. <https://doi.org/10.1002/ana.21459>

45. **Doust J.A., Glasziou P.P., Pietrzak E., Dobson A.J.** A systematic review of the diagnostic accuracy of natriuretic peptides for heart failure. *Arch. Intern. Med.* 2004;164(18):1978–1984. <https://doi.org/10.1001/archinte.164.18.1978>

46. **Nef H.M., Molman H., Kostin S., Trold C., Voss S., Weber M., et al.** Takotsubo cardiomyopathy: intraindividual structural analysis in the acute phase and after structural recovery. *Eur. Heart J.* 2007;28(20):2456–2464. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehl570>

47. **Okada T., Miyata S., Hashimoto K., Maie K., Mochizuki S.** Takotsubo cardiomyopathy associated with torsades de pointes and long QT interval: a case report. *J. Cardiol.* 2007;50(1):83–88.

48. **Haghi D., Papavassiliu T., Heggemann F., Kaden J.J., Borggreffe M., Suselbeck T.** Incidence and clinical significance of left ventricular thrombus in tako-tsubo cardiomyopathy assessed with echocardiography. *QJM.* 2008;101(5):381–386. <https://doi.org/10.1093/qjmed/hcn017>

49. **Лиманкина И.Н.** Кардиомиопатия такотсубо. *Вестник аритмологии.* 2009;56:48–58. [**Limankina I.N.** Tako Tsubo Cardiomyopathy. *Vestnik of Arrhythmology* = Journal of Arrhythmology. 2009;(56):48–58. (In Russ.)].

#### Информация об авторах:

**Петрова Марина Владимировна**, заведующая, кафедра анестезиологии и реанимации с курсом медицинской реабилитации Медицинского института ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», Россия, 117198, Москва, улица Миклухо-Маклая, 6 ([petrova-mv@rudn.ru](mailto:petrova-mv@rudn.ru))

**Спасский Андрей Александрович**, профессор, кафедра анестезиологии и реанимации с курсом медицинской реабилитации Медицинского института ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», Россия, 117198, Москва, улица Миклухо-Маклая, 6; заместитель генерального директора по спортивной медицине, Международный центр охраны здоровья, Россия, Москва, ул. Октябрьская, 2 ([mailbox@rnmot.ru](mailto:mailbox@rnmot.ru))

**Поляев Борис Александрович\***, заведующий, кафедра реабилитации, спортивной медицины и физической культуры ПФ ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава России; главный специалист Минздрава России по спортивной медицине, Россия, 117513, Москва, ул. Островитянова, дом 1 (polyaev@inbox.ru)

**Михайлов Алексей Александрович**, профессор, кафедра анестезиологии и реанимации с курсом медицинской реабилитации Медицинского института ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», Россия, 117198, Москва, улица Миклухо-Маклая, 6 (amihaylov1960@yandex.ru)

**Information about the authors:**

**Marina V. Petrova**, Head of the Department, Department of Anesthesiology and Intensive Care with a Course of Medical Rehabilitation of Medical Institute of Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, 6 Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russia (petrova-mv@rudn.ru)

**Andrey A. Spassky**, Professor, Department of Anesthesiology and Intensive Care with a Course of Medical Rehabilitation of Medical Institute of Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, 6 Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russia; Deputy Director General for Sports Medicine, International Center for Health Protection, 2 Oktyabrskaya str., Moscow (mailbox@rnmot.ru)

**Boris A. Polyayev**, Head, Department of Rehabilitation, Sports Medicine and Physical Culture of Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov of the Ministry of Health of the Russian Federation; Chief Specialist of the Ministry of Health of the Russian Federation in Sports Medicine, 1 Ostrovityanova str., Moscow, 117513, Russia (polyaev@inbox.ru)

**Alexey A. Mihaylov\***, Professor, Department of Anesthesiology and Intensive Care with a Course of Medical Rehabilitation of Medical Institute of Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, 117198, 6 Miklukho-Maklaya str., Moscow, Russia (amihaylov1960@yandex.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



# **КЛИНИКА ЛУЖНИКИ** спортивная медицина

**Клиника спортивной медицины «Лужники» — 70-летний опыт в медицинском обеспечении профессионального спорта высших достижений.**

**Клиника «Лужники» ведет научно-практическую деятельность. Наши специалисты принимают участие в крупнейших конференциях, обмениваются опытом с ведущими клиниками и университетами. На базе Клиники функционирует научно-клиническое отделение Кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации Сеченовского Университета.**

**Основные направления деятельности: углубленные медицинские обследования, функциональная диагностика, кардиология, восстановительное лечение.**



**АНО «Клиника Спортивной Медицины»  
Москва, ул. Лужники, 24, стр. 1  
+7 495 125 000 5 | [www.csmed.ru](http://www.csmed.ru)**

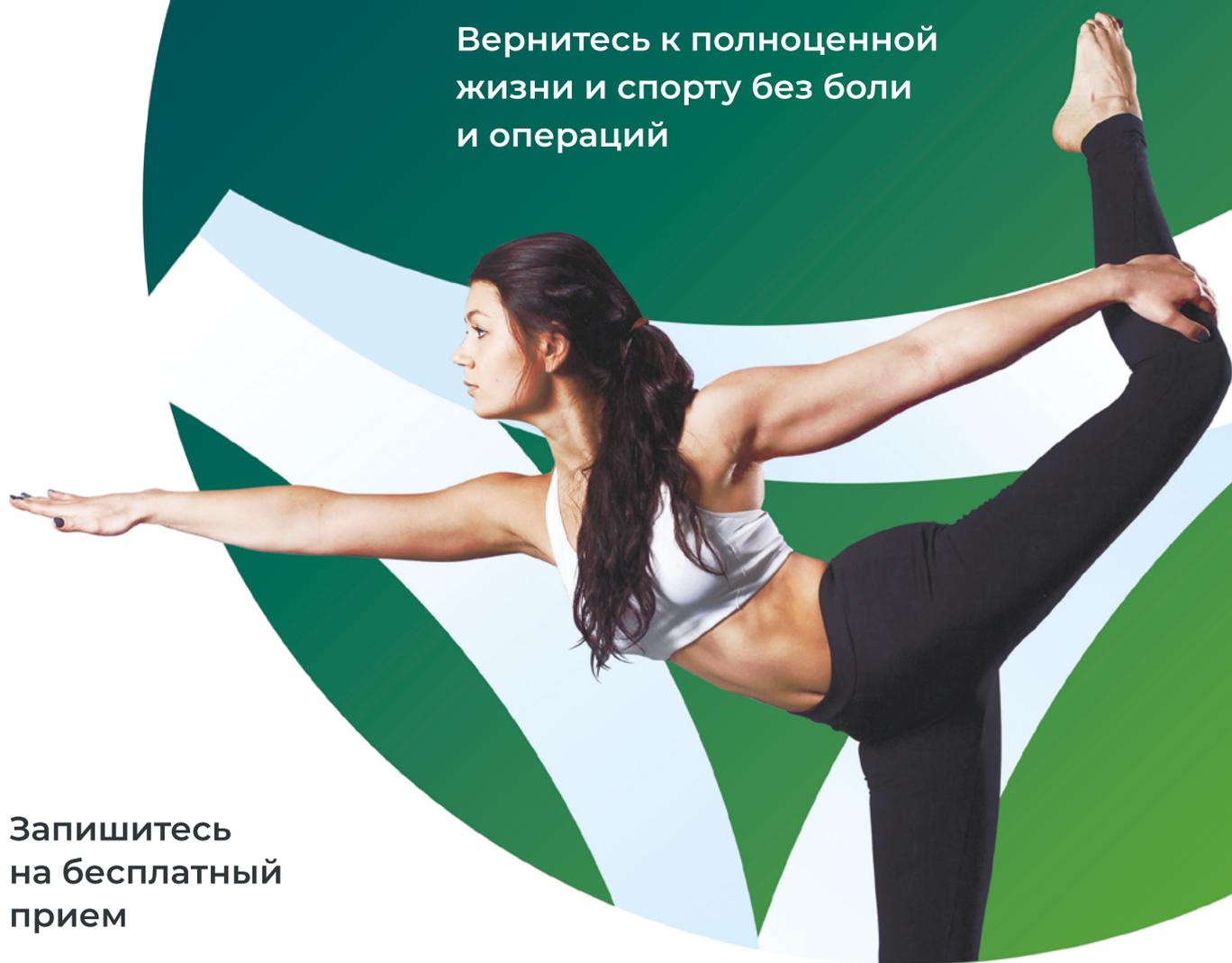


RēMEDICA

Современный  
центр спортивной  
реабилитации  
в Москве

# Комплексная медицинская помощь при травмах и заболеваниях опорно-двигательного аппарата

Вернитесь к полноценной  
жизни и спорту без боли  
и операций



Запишитесь  
на бесплатный  
прием

**+7 495 741-18-04**

Ежедневно с 9:00 – 21:00

Москва,  
ул. Архитектора Власова, 6

[re-medica.ru](http://re-medica.ru)



Получите  
индивидуальный  
план лечения

реклама