

ISSN 2223-2524 (Print)

ISSN 2587-9014 (Online)

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3>



# Спортивная Медицина:

наука и практика



*Sports  
Medicine:*

research and practice

T. 13 №3

2023



# 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)**



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  
Luzhnik Sports Medicine Clinic  
24, Luzhnik str., Moscow, 119048, Russia  
Evgeny E. Achkasov  
15/16, pr-d 1-j Volokolamskiy,  
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 Sreda** – 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

## Редакция:

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

## Типография:

ООО «Издательство "Триада"»

170034, Россия, Тверь, пр-т Чайковского, 9, оф. 514

## Сайт:

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

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

Подписано в печать 28.12.2023

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, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

### Заболевания спортсменов

**М.С. Бутковский, Г.И. Малякин, Е.С. Капралова, Т.М. Вахидов, Е.Д. Королева**  
Взаимосвязь между нарушениями сна и травматизмом у молодых элитных футболистов . . . . . 5

**А.С. Арапов, А.Л. Гудим, М.В. Шпагин**  
Зависимость выраженности болевого синдрома в нижней части спины и дегенеративных изменений в поясничном отделе позвоночника у парашютистов в зависимости от стажа занятий . . . . . 12

### Физиология и биохимия спорта

**И.О. Гарнов, Т.П. Логинова, Е.Р. Бойко**  
Реакция кардиореспираторной системы лыжниц различной спортивной квалификации на максимальный велоэргометрический тест . . . . . 20

**Н.А. Курашова, А.А. Юрьева, И.Н. Гутник, Л.А. Гребенкина, А.В. Лабыгина, Л.И. Колесникова**  
Изменение оксидантно-антиоксидантного статуса крови у борцов вольного стиля под влиянием физических нагрузок . . . . . 30

**Р.И. Алиев**  
Сравнение различных параметров «core stability» среди спортсменов элитного уровня . . . . . 37

**А.Г. Антонов, П.Д. Рыбакова, В.Д. Выборнов, А.Б. Мирошников, Р.А. Ханферьян, М.М. Коростелева**  
Практические рекомендации по безопасному снижению массы тела в спортивных единоборствах: обзор предметного поля . . . . . 44

**Х. Паданг, Й. Рамба, Арпанджаман, Г. Капур**  
Упражнение «Прыжок на ящик» увеличивает высоту прыжка у подростков . . . . . 53

### Реабилитация

**М.А. Гвоздарева, Л.А. Шпагина, Н.П. Карева, Е.В. Куропатова, В.В. Перих**  
Влияние тренировочной ходьбы в экзоскелете на эффективность реабилитации пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы . . . . . 58

### Функциональная диагностика

**А.В. Фролов, Ю.А. Бойцова, С.А. Ермолаева, М.Д. Дидур**  
Влияние произвольной гиповентиляции в дыхательных упражнениях йоги на газообмен и ЭЭГ-активность у здоровых тренированных испытуемых . . . . . 67

### Медицинский контроль

**М.В. Санькова, В.Н. Николенко**  
Управление соединительнотканскими рисками в спортивной медицине . . . . . 78

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

SIS  
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: 28 December 2023  
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, 2023

**CONTENTS**

**Sports Diseases**

- Mikhail S. Butovskiy, Georgiy I. Malyakin, Elizaveta S. Kapralova, Timur M. Vakhidov, Egana D. Koroleva*  
Sleep disorders and their relation to injuries among young elite soccer players . . . . . 5
- Artem S. Arapov, Andrey L. Gudim, Maksim V. Shpagin*  
Dependence of the severity of pain in the lower back and degenerative changes in the lumbar spine in skydivers depending on the experience of training . . . . . 12

**Sports Physiology and Biochemistry**

- Igor O. Garnov, Tatyana P. Loginova, Evgeny R. Boyko*  
Response of cardiorespiratory system during maximal exercise cycle ergometer test in women cross-country skiers with different skills levels . . . . . 20
- N.A. Kurashova, A.A. Yureva, I.N. Gutnik, L.A. Grebenkina, A.V. Labygina, L.I. Kolesnikova*  
Changes in the oxidative-antioxidant status of blood in freestyle wrestlers under the influence of physical exertion . . . . . 30
- Rauf I. Aliev*  
Comparison of the "core stability" tests results among elite athletes . . . . . 37
- Alexey G. Antonov, Polina D. Rybakova, Vasily D. Vybornov, Alexander B. Miroshnikov, Roman A. Khanferyan, Margarita M. Korosteleva*  
Practical recommendations for safe reduction of body weight in combat sports: scoping review . . . . . 44
- Hendrik Padang, Yonathan Ramba, Arpandjam'an, Gaurav Kapoor*  
Jump-to-Box exercise has an increasing effect on jumping ability in adolescents . . . . . 53

**Rehabilitation**

- Mariia A. Gvozdareva, Lubov A. Shpagina, Ekaterina V. Kuropatova, Nina P. Kareva, Viktor V. Rerikh*  
The influence of walking in an exoskeleton on rehabilitation of patients with spinal cord injury consequences . . . . . 58

**Functional Testing**

- Artem V. Frolov, Julia A. Boytsova, Sargylana A. Ermolaeva, Michael M. Didur*  
The effect of voluntary hypoventilation in yoga breathing exercises on gas exchange and EEG activity in healthy trained subjects . . . . . 67

**Medical Control**

- Maria V. Sankova, Vladimir N. Nikolenko*  
Diagnostically significant dysplastic feature identification as a tool for managing connective tissue risks in sports medicine . . . . . 78

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





## Взаимосвязь между нарушениями сна и травматизмом у молодых элитных футболистов

М.С. Бутовский<sup>1,2</sup>, Г.И. Малякин<sup>3</sup>, Е.С. Капралова<sup>3</sup>, Т.М. Вахидов<sup>3,\*</sup>, Е.Д. Королева<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Футбольный клуб «Рубин», Казань, Россия

<sup>2</sup> ФГБУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, Казань, Россия

<sup>3</sup> ФGAOУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

<sup>4</sup> ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» Управления делами Президента РФ, Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель:** изучить качество сна и взаимосвязь между нарушениями сна и травматизмом у молодых элитных футболистов.

**Материалы и методы:** в исследовании обобщены данные результатов релевантных анкет, полученные в ходе анонимного тестирования когорты из 236 футболистов мужского пола из ведущих футбольных академий, молодежных команд двух ведущих клубов российской Премьер-лиги и трех молодежных национальных сборных.

**Результаты:** Средняя продолжительность сна у участников исследования составила 9 часов. Распространенность нарушений сна составила 7% (PSQI, Pittsburgh Sleep Quality Index, Питтсбургский индекс качества сна) и 10% (ASBQ, Athlete Sleep Behavior Questionnaire, анкета режима сна спортсмена), и среди самых юных футболистов данная распространенность нарушений была самой низкой. Значительная или умеренная дневная сонливость была обнаружена у 59% участников. С возрастом возрастал риск серьезных расстройств сна. По результатам анкетирования PSQI и ретроспективного сбора информации о травмах, нарушения сна значительно влияли на травматизм.

**Заключение:** Подтвержденная взаимосвязь между травмами и нарушениями сна позволяет рассматривать улучшение качества сна как одно из средств профилактики травматизма среди молодых спортсменов игровых видов спорта.

**Ключевые слова:** футбол, сон, травма, нарушение сна, юные атлеты

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

**Для цитирования:** Бутовский М.С., Малякин Г.И., Капралова Е.С., Вахидов Т.М., Королева Е.Д. Взаимосвязь между нарушениями сна и травматизмом у молодых элитных футболистов // Спортивная медицина: наука и практика. 2023;13(3):5–11. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.1>

Поступила в редакцию: 27.08.2023

Принята к публикации: 24.09.2023

Online first: 09.10.2023

Опубликована: 28.12.2023

\* Автор, ответственный за переписку



# Sleep disorders and their relation to injuries among young elite soccer players

Mikhail S. Butovskiy<sup>1,2</sup>, Georgiy I. Malyakin<sup>3</sup>, Elizaveta S. Kapralova<sup>3</sup>, Timur M. Vakhidov<sup>3,\*</sup>,  
Egana D. Koroleva<sup>4</sup>

<sup>1</sup> FC Rubin, Kazan, Russia

<sup>2</sup> Kazan State Medical University, Kazan, Russia

<sup>3</sup> First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Central Clinical Hospital with Out-Patient Clinic of the Department of Affairs of the President of the Russian Federation, Moscow, Russia

## ABSTRACT

**Aim:** to study the quality of sleep and the relationship between sleep disorders and injury among young elite soccer players.

**Methods:** the study summarizes data from relevant questionnaires obtained through anonymous cohort testing of 236 male football players from leading football academies, two farm teams of leading Russian Premier League clubs and three national youth teams.

**Results:** the average sleep duration in the study participants was 9 hours. The prevalence of sleep disorders was 7 % (PSQI, Pittsburgh Sleep Quality Index) and 10 % (ASBQ, Athlete Sleep Behavior Questionnaire) and among the youngest soccer players, this prevalence of violations was the lowest. Significant or moderate daytime sleepiness was found in 59 % of participants. The risk of serious disorders increased with age. Sleep disorders significantly affected injuries according to the results of the PSQI questionnaire and retrospective collection of information about injuries.

**Conclusion:** the confirmed relationship between injuries and sleep disorders allows us to consider sleep quality improvement as an important component of injury and morbidity prevention among athletes of team sports.

**Keywords:** soccer, sleep, injury, sleep disturbance, young athletes, injury prevention

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

**For citation:** Butovskiy M.S., Malyakin G.I., Kapralova E.S., Vakhidov T.M., Koroleva E.D. Sleep disorders and their relation to injuries among young elite soccer players. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2023;13(3):5–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.1>

**Received:** 27 August 2023

**Accepted:** 24 September 2023

**Online first:** 9 October 2023

**Published:** 28 December 2023

\*Corresponding author

## Список сокращений

PSQI — Питтсбургский индекс качества сна

ASBQ — Анкета режима сна спортсмена

ESS — Шкала сонливости Эпворга

IQR — межквартильный диапазон

## 1. Введение

Сон является неотъемлемой частью процесса восстановления в спорте, влияя на ряд важных психологических и физиологических функций. Дефицит сна негативно воздействует на восприятие боли, иммунитет, когнитивные функции и воспаление, а также на углеводный обмен и синтез белка [1]. Недостаток сна приводит к нарушению синтеза мышечного белка и недостаточному восстановлению, что может помешать адаптации организма к тренировочным нагрузкам [2, 3]. В то же время взаимосвязь между сном и физической активностью не является односторонней, т.е. изменение одного из этих параметров может повлиять на качество другого, и при этом может наблюдаться изменение как в лучшую, так и худшую сторону. Например, увеличение физической активности

в течение недели у работников, не занимающихся спортом, связано с улучшением качества сна [4].

Интересно, что значительная распространенность нарушений сна была зафиксирована среди профессиональных спортсменов. Эти нарушения у данной группы могут быть связаны с частыми выступлениями на соревнованиях в вечернее время, высокоинтенсивными физическими упражнениями, перелетами (резкое изменение суточных (циркадных) ритмов), употреблением стимуляторов (препаратов, потенциально влияющих на физиологию сна, например кофеина), психологическим стрессом и поздним временем начала занятий [5, 6]. Чрезмерное употребление алкоголя после соревнований — это еще одна возможная причина нарушения сна у спортсменов [7]. При этом даже короткий 30-минутный сон на фоне недостаточного сна ночью существенно влияет на такой важный аспект спортивной деятельности, как спринтерский бег [8].

Снижение качества сна достоверно связано с увеличением травматизма и негативным воздействием на различные аспекты физической работоспособности

у спортсменов разного уровня и возраста, что позволяет обоснованно рассматривать полноценный сон как одну из важных мер по предотвращению травм и повышению уровня работоспособности [9]. Большинство исследований, изучающих взаимосвязь между нарушениями сна и уровнем травматизма, было проведено среди взрослых профессиональных спортсменов, которые часто участвуют в соревнованиях в вечернее время и часто совершают авиаперелеты. В то же время исследований о распространенности нарушений сна среди молодых элитных футболистов, которые не играют по вечерам и редко совершают авиаперелеты, до настоящего времени не проводилось, и поэтому их проведение может позволить более точно определить роль времени проведения тренировок и соревнований на развитии нарушений сна и их связь с травматизмом.

**Цель исследования:** изучить распространенность нарушений сна и определить, связаны ли они с возникновением травм среди молодых элитных футболистов, постоянно проживающих в России и принимающих участие в тренировках и соревнованиях в дневное время.

## 2. Методы

Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом Сеченовского университета (№ 22–21 от 09.12.2021). Все этапы исследования проходили в соответствии с законодательством Российской Федерации. Все спортсмены младше 18 лет и их родители дали свое информированное согласие на участие. Спортсмены в возрасте 18 лет и старше подали форму согласия самостоятельно. Исследование было проведено в соответствии со стандартами этики, изложенными в Хельсинкской декларации.

### Используемые анкеты

Изучение распространенности нарушений сна проводилось с помощью анкетирования. Были использованы: анкета «Питтсбургский индекс качества сна» (Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI)) [10], анкета режима сна спортсмена (Athlete Sleep Behavior Questionnaire (ASBQ)) [11] и Шкала сонливости Эпворта (The Epworth Sleepiness Scale (ESS)) [12]. PSQI заполнили 229 человек, ASBQ — 236, ESS — 230.

В каждой анкете использовалась разная система подсчета очков. По анкете PSQI на нарушение сна указывала оценка в 5 баллов и более. По ASBQ снижение качества сна устанавливалось при наборе 37–41 балла, а на нарушение сна указывала оценка в 42 и более баллов. По шкале ESS оценка в 8 баллов или менее указывала на легкую сонливость, 9–12 баллов — на умеренную сонливость, 13–17 баллов — на значительную сонливость и 18 баллов и более — на патологическую сонливость.

Анкеты, переведенные на русский язык, были предложены спортсменам врачами команды. Правила заполнения анкет были подробно разъяснены всем спортсменам. Учитывались нарушения сна, зафиксированные

в течение последних 90 дней. Анализ данных проводился независимо тремя специалистами-врачами.

В исследовании оценивалось влияние нарушений сна на уровень травматизма и заболеваемости у спортсменов. Учитывались травмы, полученные спортсменами в течение 3 месяцев до исследования, которые привели к пропуску двух и более дней тренировок.

### Изучение травматизма

Травмы фиксировались медицинским персоналом ежедневно. Классификация травм по тяжести и типу повреждения проводилась в соответствии с рекомендациями УЕФА с использованием специальной формы, используемой УЕФА в своей модели [13]. Все травмы произошли с игроками во время тренировок и матчей. Учитывались только неконтактные травмы, которые повлекли за собой пропуск двух или более тренировочных дней, поскольку именно этот тип травмы может быть связан с возможным недостаточным восстановлением и перенапряжением. Все травмы были получены в светлое время суток. Во всех случаях тренировки и игры проводились на полях без искусственного освещения.

### Участники

В исследовании обобщены данные, полученные в ходе анонимного тестирования когорты из 236 футболистов мужского пола из ведущей футбольной академии, молодежных команд двух ведущих клубов российской Премьер-лиги и трех молодежных национальных сборных.

Возраст игроков варьировался от 11 до 21 года (юноши (до 17 лет включительно) ( $n = 133$ ), юниоры (от 18 до 21 года) ( $n = 103$ ). Все футболисты не имели противопоказаний к занятиям спортом и регулярно участвовали в тренировочных и соревновательных мероприятиях.

Критерии включения в исследование: информированное согласие, заполнение анкеты в присутствии врача.

Критерии исключения из исследования: отказ от участия в исследовании; спортсмен не принимал участия в тренировках и играх более 7 дней по причинам, не связанным с травмами и заболеваниями; тренировки и игры проводились в вечернее время (при искусственном освещении); перенесенные операции в течение года до анкетирования.

### Статистический анализ

Для определения нормального распределения использовались описательная статистика и критерий Колмогорова — Смирнова. Для сравнения результатов разных анкет была использована корреляция Спирмена. Чтобы выявить взаимосвязь между наличием нарушений сна и возникновением травм, был использован критерий  $\chi^2$  Пирсона. Для оценки влияния бинарных исходов, т. е. влияние возраста на наличие нарушений сна, была использована логистическая регрессия.  $\alpha$ -уровень

Таблица 1

## Корреляция между анкетами PSQI, ESS, ASBQ

Table 1

## Correlation between PSQI, ESS and ASBQ questionnaires

			PSQI	ESS	ASBQ
Ро Спирмена	PSQI	Коэффициент корреляции	1,000	,261**	,407**
		Знач. (двухсторонняя)	.	,000	,000
		N	236	236	236
	ESS	Коэффициент корреляции	,261**	1,000	,403**
		Знач. (двухсторонняя)	,000	.	,000
		N	236	236	236
	ASBQ	Коэффициент корреляции	,407**	,403**	1,000
		Знач. (двухсторонняя)	,000	,000	.
		N	236	236	236

Примечание: \*\* — корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).

Note: \*\* — correlation is significant at 0.01 (two-way).

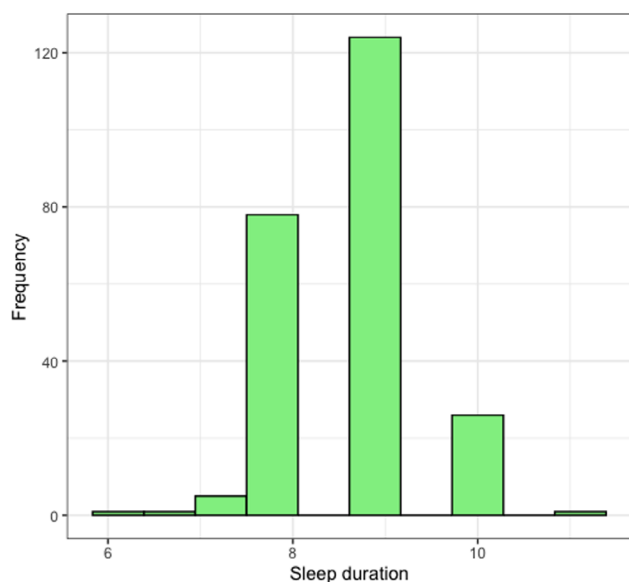
Таблица 2

## Распространенность нарушений сна по анкете PSQI

Table 2

## Prevalence of sleep disorders according to the PSQI questionnaire

	Норма	Нарушение сна	Нет данных
N	213	16	7
частота, %	90	7	3



**Рис. 1.** Продолжительность сна в часах среди всех участников  
Примечание: \* — по оси абсцисс — продолжительность сна в часах, по оси ординат — число участников, у которых была выявлена данная продолжительность.

**Fig.1.** Sleep duration in hours among all participants

Note: \* — on the abscissa axis — the duration of sleep in hours, on the ordinate axis — the number of participants who had this duration detected.

был установлен на 0,05 (5%) для интерпретации статистической значимости. Для статистического анализа использовалось программное обеспечение IBM SPSS Statistics v.23.0 (IBM, Нью-Йорк, США).

### 3. Результаты

Для сравнения результатов между тремя анкетами была рассчитана корреляция Спирмена. Все они значительно положительно коррелируют друг с другом (табл. 1).

Продолжительность сна имела ненормальное распределение — медиана составила 9 часов, IQR 8–9 (рис. 1).

Нарушения сна выявлялись по всем использованным анкетам. Согласно данным, полученным по анкете PSQI, нормальный сон наблюдался у 90% игроков, а нарушения сна — у 7% (табл. 2).

Сонливость — чрезвычайно распространенное явление среди молодых футболистов. Дневную сонливость различной степени выраженности испытывали 59% участников, причем у 12% спортсменов сонливость была умеренной или значительной, и только 39% не испытывали дневной сонливости по шкале ESS. Наиболее часто встречалась легкая дневная сонливость (табл. 3).

Согласно ASBQ, нормальный сон наблюдается у 75% игроков. Нарушения сна носили легкий характер и были представлены в основном легкой сонливостью.



Таблица 3

**Распространенность нарушений сна по шкале Эпворта**

Table 3

**Prevalence of sleep disorders on the Epworth scale**

	Норма	Легкая сонливость	Умеренная сонливость	Значительная сонливость	Нет данных
<i>N</i>	93	110	21	6	5
частота, %	39	47	9	3	2

Таблица 4

**Распространенность нарушений сна по анкете ASBQ**

Table 3

**Prevalence of sleep disorders according to the ASBQ questionnaire**

	Норма	Сниженное качество сна	Нарушение сна
<i>N</i>	176	37	23
частота, %	75	15	10

Снижение качества сна отмечено у 15%, а нарушения сна — у 10% участников исследования (табл. 4).

Выраженные нарушения сна были диагностированы на основании наличия отклонений от нормы по меньшей мере по двум из трех анкет. У 22% ( $n = 53$ ) отмечалось наличие данных отклонений, и с увеличением возраста риск серьезных нарушений сна увеличивался ( $p < 0,001$ , OR = 1,434, 95% ДИ: 1,24–1,67).

Тяжелые нарушения сна диагностировались на основании наличия отклонений одновременно по анкетам ASBQ и PSQI — такое сочетание отмечалось у 4% ( $n = 10$ ) участников. Риск развития тяжелых нарушений сна также возрастал с увеличением возраста ( $p = 0,005$ , OR = 1,675, 95% ДИ: 1,16–2,41).

За анализируемый период наблюдения (3 месяца) игроки получили 72 травмы. По результатам анкеты PSQI была выявлена значительная взаимосвязь между наличием нарушений сна и возникновением травм за последние 3 месяца ( $\chi^2 = 8,28$ ,  $p = 0,041$ ). Однако не было обнаружено никакой связи между тяжелыми или выраженными нарушениями сна и травмами за последние 3 месяца ( $\chi^2 = 1,21$ ,  $p = 0,75$ ;  $\chi^2 = 7,4$ ,  $p = 0,061$  соответственно).

**4. Дискуссия**

В группе молодых элитных футболистов, постоянно проживающих в России, нарушения сна встречались довольно редко и не были тяжелыми. Имеющиеся данные показывают, что спортсмены-подростки сегодня подвергаются значительному риску недосыпания [14]. Студенты-спортсмены отмечают, что по сравнению с неспортсменами они спят на 2 часа меньше [3]. Мах

и соавт. сообщили о плохом качестве сна, оцененном по анкете PSQI, у 42,4% спортсменов колледжа [15].

Распространенность нарушений сна хорошо изучена среди взрослых футболистов, но не среди юношей, занимающихся футболом. Khalladi и соавт. исследовали распространенность нарушений сна среди взрослых катарских футболистов с использованием анкет PSQI, ESS и индекса тяжести бессонницы. Распространенность плохого качества сна ( $PSQI \geq 5$ ) составила 68,5%, а дневная сонливость ( $ESS > 8$ ) — 22,5%. В нашем исследовании распространенность плохого качества сна составила 7%, а дневной сонливости — 12%, что значительно ниже показателей, приведенных для взрослых катарских футболистов [16].

Причинами более высокой распространенности нарушений сна у взрослых футболистов по сравнению с юными футболистами являются проведение игр в вечернее и ночное время и частые перелеты [17]. Поскольку вечерние и ночные игры, а также смена часовых поясов, связанная с перелетами, неизбежно связаны со взрослым элитным футболом, оценить непосредственное влияние тренировок и игры в футбол не представляется возможным. Были выявлены тяжелые нарушения сна, хотя и в небольшом проценте наблюдений, что свидетельствует о необходимости оказания специализированной помощи таким спортсменам, поскольку недостаток сна влияет на различные аспекты спортивной деятельности и негативно сказывается на травматизме.

Предыдущие исследования показали, что недостаток сна связан с более высоким уровнем травматизма среди спортсменов, включая подростков [9, 13, 18]. В мета-анализе, проведенном Gao и соавт., подростки, которые

хронически плохо спали, чаще получали травмы, чем те, кто спал хорошо (ОР 1,58; 95% ДИ 1,05–2,37;  $p = 0,03$ ) [19]. Одним из возможных механизмов повышения травматизма, связанного с нарушениями сна, может быть снижение концентрации внимания [8, 9]. Авторы обнаружили, что анкета PSQI оказалась чувствительной к выявлению такого рода взаимосвязей, что указывает на перспективность ее использования в дальнейших исследованиях в этой области.

К недостаткам исследования можно отнести отсутствие контрольной группы, схожей по возрасту, но не занимающейся футболом. Также не учитывалось влияние обучения в школе на нарушения сна в исследуемой группе. Кроме того, используемые анкеты были разработаны как средство оценки нарушений сна у взрослых, а не у детей или подростков.

#### Вклад авторов:

**Бутовский Михаил Сергеевич** — концепция и дизайн публикации, написание первой версии текста;

**Малякин Георгий Ильич** — написание и редактирование текста, сбор и анализ данных исследования;

**Капралова Елизавета Сергеевна** — сбор и анализ литературных данных;

**Вахидов Тимур Маратович** — написание и редактирование текста, сбор и анализ данных исследования;

**Королева Егана Джахангировна** — концепция и дизайн публикации, написание первой версии текста.

#### Список литературы / References

1. **Halsón S.L.** Sleep in elite athletes and nutritional interventions to enhance sleep. *Sports Med.* 2014;44 (Suppl 1):13–23. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0147-0>
2. **Fullagar H.H., Duffield R., Skorski S., Coutts A.J., Julian R., Meyer T.** Sleep and Recovery in Team Sport: Current Sleep-Related Issues Facing Professional Team-Sport Athletes. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2015;10(8):950–957. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2014-0565>
3. **Fullagar H.H., Skorski S., Duffield R., Hammes D., Coutts A.J., Meyer T.** Sleep and athletic performance: the effects of sleep loss on exercise performance, and physiological and cognitive responses to exercise. *Sports Med.* 2015;45(2):161–186. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0260-0>
4. **Park H., Suh B.** Association between sleep quality and physical activity according to gender and shift work. *J. Sleep Res.* 2020;29(6):e12924. <https://doi.org/10.1111/jsr.12924>
5. **Nedelec M., Aloulou A., Duforez F., Meyer T., Dupont G.** The Variability of Sleep Among Elite Athletes. *Sports Med. Open.* 2018;4(1):34. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0151-2>
6. **Sargent C., Lastella M., Halsón S.L., et al.** The impact of training schedules on the sleep and fatigue of elite athletes. *Chronobiol. Int.* 2014;31(10):1160–1168. <https://doi.org/10.3109/07420528.2014.957306>
7. **O'Brien K.S., Blackie J.M., Hunter J.A.** Hazardous drinking in elite New Zealand sportspeople. *Alcohol Alcohol.* 2005;40(3):239–241. <https://doi.org/10.1093/alcalc/agh145>
8. **Waterhouse J., Atkinson G., Edwards B., Reilly T.** The role of a short post-lunch nap in improving cognitive, mo-

По нашему мнению, будущие исследования должны быть направлены на изучение взаимосвязи между тренировочным процессом и интенсивностью игры на просторанненность и выраженность нарушений сна, а также влияния устранения нарушений сна на различные параметры спортивной работоспособности и травматизма.

#### 5. Заключение

Исследование показало относительно низкую просторанненность нарушений сна в группе молодых элитных футболистов. Была обнаружена связь между возникшими нарушениями сна и повышением уровня травматизма, что требует дальнейшего изучения просторанненности нарушений сна среди футболистов и разработки мер по их профилактике.

#### Authors' contributions:

**Mikhail S. Butovskiy** — concept and publication design, writing the first draft of manuscript;

**Georgiy I. Malyakin** — editing of the text, collection and analysis of study data;

**Elizaveta S. Kapralova** — collection and analysis of literature;

**Timur M. Vakhidov** — editing of the text, collection and analysis of study data;

**Egana D. Koroleva** — concept and publication design, writing the first draft of manuscript.

tor, and sprint performance in participants with partial sleep deprivation. *J. Sports Sci.* 2007;25(14):1557–1566. <https://doi.org/10.1080/02640410701244983>

9. **Simpson N.S., Gibbs E.L., Matheson G.O.** Optimizing sleep to maximize performance: implications and recommendations for elite athletes. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2017;27(3):266–274. <https://doi.org/10.1111/sms.12703>

10. **Buysse D.J., Reynolds C.F. 3rd, Monk T.H., Berman S.R., Kupfer D.J.** The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res.* 1989;28(2):193–213. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(89\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90047-4)

11. **Driller M.W., Mah C.D., Halsón S.L.** Development of the athlete sleep behavior questionnaire: A tool for identifying maladaptive sleep practices in elite athletes. *Sleep Sci.* 2018;11(1):37–44. <https://doi.org/10.5935/1984-0063.20180009>

12. **Johns M.W.** A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. *Sleep.* 1991;14(6):540–545. <https://doi.org/10.1093/sleep/14.6.540>

13. **Häggglund M., Waldén M., Bahr R., Ekstrand J.** Methods for epidemiological study of injuries to professional football players: developing the UEFA model. *Br. J. Sports Med.* 2005;39(6):340–346. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.018267>

14. **Copenhaver E.A., Diamond A.B.** The Value of Sleep on Athletic Performance, Injury, and Recovery in the Young Athlete. *Pediatric annals.* 2017;46(3):e106–111. <https://doi.org/10.3928/19382359-20170221-01>

15. **Mah C.D., Kezirian E.J., Marcello B.M., Dement W.C.** Poor sleep quality and insufficient sleep of a collegiate student-athlete population. *Sleep health.* 2018;4(3):251–257. <https://doi.org/10.1016/j.sleth.2018.02.005>

16. **Khalladi K., Farooq A., Souissi S., Herrera C.P., Chamari K., Taylor L., Massioui F.E.** Inter-relationship between sleep quality, insomnia and sleep disorders in professional soccer players. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* 2019;5(1): e000498. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000498>

17. **Juliff L.E., Peiffer J.J., Halson S.L.** Night Games and Sleep: Physiological, Neuroendocrine, and Psychometric Mechanisms. *Int. J. Sport Physiol. Perform.* 2018;13(7):867–873. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0809>

#### Информация об авторах:

**Бутовский Михаил Сергеевич**, главный врач медицинского штаба футбольного клуба «Рубин», Россия, 420107, Казань, ул. Хади Такташ, 1, офис 1.4; ассистент кафедры реабилитации и спортивной медицины ФГБУ ВО «Казанский государственный медицинский университет», Россия, 420064, Казань, Оренбургский тракт, 138 ([drMike81@inbox.ru](mailto:drMike81@inbox.ru))

**Малыкин Георгий Ильич**, младший научный сотрудник Лаборатории спорта высших достижений ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова», Россия, 125252, Москва, 3-я Песчаная ул., 2а, стр. 2; ординатор 2-го года кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова», Россия, 119435, Москва, Большая Пироговская ул., 2 стр. 9 ([malyakin\\_g\\_i@staff.sechenov.ru](mailto:malyakin_g_i@staff.sechenov.ru))

**Капралова Елизавета Сергеевна**, ординатор 1-го года кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова», Россия, 119435, Москва, Большая Пироговская ул., 2, стр. 9 ([kapralova\\_e\\_s@student.sechenov.ru](mailto:kapralova_e_s@student.sechenov.ru))

**Вахидов Тимур Маратович**, лаборант Лаборатории спорта высших достижений ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова», Россия, 125252, Москва, 3-я Песчаная ул., 2а, стр. 2; студент ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова», Россия, 119991, Москва, ул. Трубетцкая, 8, стр. 2 ([vakhidov\\_t\\_m@staff.sechenov.ru](mailto:vakhidov_t_m@staff.sechenov.ru))

**Королева Егана Джахангировна**, заведующий отделением лечебного питания, врач-диетолог ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» Управления делами Президента РФ, Россия, 121359, Москва, ул. Маршала Тимошенко, 15 ([Egana.murtuzova@mail.ru](mailto:Egana.murtuzova@mail.ru))

#### Information about the authors:

**Mikhail S. Butovskiy**, Chief Physician of FC Rubin, Russia, 420064, Kazan, Orenburg tract, 138; Assistant of Department of Rehabilitation and Sports Medicine Kazan State Medical University, Hadi Taktash str., 1 office 1.4 ([drMike81@inbox.ru](mailto:drMike81@inbox.ru))

**Georgiy I. Malyakin**, Junior Researcher of High Performance Sports Laboratory Sechenov First Moscow State Medical University, Russia, 125252, Moscow, 3rd Peschanaya str., 2A building 2; 2nd year Resident of Department of Sport Medicine and Medical Rehabilitation Sechenov First Moscow State Medical University, Russia, 119435, Moscow, Bolshaya Pirogovskaya str., 2 building 9 ([malyakin\\_g\\_i@staff.sechenov.ru](mailto:malyakin_g_i@staff.sechenov.ru))

**Elizaveta S. Kapralova**, 1st year Resident of Department of Sport Medicine and Medical Rehabilitation, Sechenov First Moscow State Medical University, Russia, 119435, Moscow, Bolshaya Pirogovskaya str., 2 building 9 ([kapralova\\_e\\_s@student.sechenov.ru](mailto:kapralova_e_s@student.sechenov.ru))

**Timur M. Vakhidov**, Laboratory assistant of High Performance Sports Laboratory Sechenov First Moscow State Medical University, Russia, 125252, Moscow, 3rd Peschanaya str., 2A building 2; Student of Sechenov First Moscow State Medical University, Russia, 119991, Moscow, Trubetskaya str., 8 building 2 ([vakhidov\\_t\\_m@staff.sechenov.ru](mailto:vakhidov_t_m@staff.sechenov.ru))

**Egana D. Koroleva**, Head of the Therapeutic Nutrition department, dietitian of Central Clinical Hospital with Out-Patient Clinic of the Department of Affairs of the President of the Russian Federation, Russia, 121359, Moscow, Marshal Timoshenko str., 15 ([Egana.murtuzova@mail.ru](mailto:Egana.murtuzova@mail.ru))



<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.4>

УДК: 351.814.349.6+ 616.8-009.7

Тип статьи: Оригинальная статья / Original Research



## Зависимость выраженности болевого синдрома в нижней части спины и дегенеративных изменений в поясничном отделе позвоночника у парашютистов в зависимости от стажа занятий

А.С. Арапов<sup>1</sup>, А.Л. Гудим<sup>2</sup>, М.В. Шпагин<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Нижегородский межрегиональный нейрохирургический центр им. проф. А.П. Фраермана, Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup> Институт реабилитации и здоровья человека ФГАОУ ВО «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», Нижегородская область, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** провести оценку факторов риска развития неспецифического болевого синдрома в спине у спортсменов-парашютистов.

**Материалы и методы:** в одноцентровом проспективном нерандомизированном исследовании участвовало 173 мужчины в возрасте от 25 до 55 лет, наблюдающихся с болью в нижней части спины от 1 года до 5 лет. В основную группу вошли 89 человек, занимающихся парашютным спортом (стаж занятия от 5 до 20 лет, количество прыжков — 276 (167; 387) раз), в контрольную группу — 84 пациента, ни разу не прыгавших с парашютом. В зависимости от общего количества прыжков основная группа была разделена на 2 подгруппы: менее 198 ( $n = 29$ ) и более 198 прыжков с парашютом ( $n = 60$ ). Всем пациентам проводилось клинико-неврологическое исследование и выполнялась магнитно-резонансная томография позвоночника, с помощью которой количественно оценивали наличие протрузий, выпрямлений лордоза и спондилолистеза.

**Результаты:** установлена корреляционная связь между наличием протрузий и количеством прыжков с парашютом ( $r = 0,430$ ;  $p < 0,001$ ). Среди парашютистов наличие протрузий коррелировало с уровнем интенсивности боли ( $r = 0,337$ ;  $p < 0,001$ ) и степенью функциональных нарушений по результатам опросников Освестри ( $r = 0,325$ ;  $p < 0,001$ ) и Роланда Морриса ( $r = 0,292$ ;  $p < 0,001$ ). При этом в группе парашютистов, выполнивших менее 198 прыжков, количество протрузий и выраженность болевого синдрома была сопоставимой с участниками основной группы. Самый высокий показатель болевого синдрома и степени нарушений жизнедеятельности был в подгруппе парашютистов с большим стажем ( $p < 0,05$ ), тогда как другие группы пациентов по данному показателю между собой различий не имели.

**Выводы:** у спортсменов-парашютистов с большим стажем занятий (198 прыжков с парашютом и более) чаще определяются протрузии и наблюдается более выраженный болевой синдром в нижней части спины в сравнении с представителями общей популяции. Однако среди спортсменов-парашютистов со стажем занятий менее 198 прыжков интенсивность болевого синдрома в нижней части спины и количество протрузий в позвоночнике среди не отличались от аналогичных параметров представителей общей популяции, не занимающихся парашютным спортом.

**Ключевые слова:** парашют, парашютный спорт, боль в спине, боль нижней части спины, дегенеративные заболевания позвоночника, визуально-аналоговая шкала

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

**Для цитирования:** Арапов А.С., Гудим А.Л., Шпагин М.В. Зависимость выраженности болевого синдрома в нижней части спины и дегенеративных изменений в поясничном отделе позвоночника у парашютистов в зависимости от стажа занятий // *Спортивная медицина: наука и практика*. 2023;13(3):12–19. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.4>

Поступила в редакцию: 14.02.2023

Принята к публикации: 10.11.2023

Online first: 30.11.2023

Опубликована: 28.12.2023

\* Автор, ответственный за переписку

# Dependence of the severity of pain in the lower back and degenerative changes in the lumbar spine in skydivers depending on the experience of training

Artem S. Arapov<sup>1</sup>, Andrey L. Gudim<sup>2</sup>, Maksim V. Shpagin<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Fraerman Interregional Neurosurgical Center, Russia

<sup>2</sup>Institute of Rehabilitation and Human Health, Nizhny Novgorod, Russia

## ABSTRACT

**Purpose of the study:** to assess risk factors for the development of nonspecific back pain syndrome in skydivers.

**Materials and methods:** A single-center, prospective, non-randomized study included 173 men aged 25 to 55 years who had been followed up with low back pain for 1 to 5 years. The main group included 89 people involved in parachuting (experience from 5 to 20 years, number of jumps — 276 (167; 387) times), the comparison group — 84 patients who had never jumped with a parachute. Depending on the total number of jumps, the main group was divided into 2 subgroups: less than 198 ( $n = 29$ ) and more than 198 parachute jumps ( $n = 60$ ). All patients underwent clinical neurological examination and magnetic resonance imaging (MRI) of the spine. MRI was used to quantify the presence of disc tissue displacements, the presence of straightening lordosis, and spondylolisthesis.

Statistical processing of the obtained data was carried out using the IBM SPSS Statistics 25 program.

**Results:** a correlation was established between the appearance of disc tissue displacement in the spine according to MRI and the number of parachute jumps in the main group ( $r = 0.430$ ;  $p < 0.001$ ). The indicated pathological changes in the spine in paratroopers occurred when the total number of jumps was 198 or more. Among parachutists of the main group, displacement of disc tissue in the spine correlated with the level of pain intensity ( $r = 0.337$ ;  $p < 0.001$ ) and the degree of functional impairment according to the results of the questionnaires Oswestry ( $r = 0.325$ ;  $p < 0.001$ ) and Roland Morris ( $r = 0.292$ ;  $p < 0.001$ ). The highest rate of pain syndrome and degree of disability was in the subgroup of paratroopers with extensive experience ( $p < 0.05$ ), while other groups of patients had no differences in this indicator.

**Conclusions:** in skydiving athletes, the intensity of pain in the lower back and the degree of degenerative-dystrophic changes depended on the number of parachute jumps.

**Keywords:** parachute, parachuting, back pain, lower back pain, degenerative diseases of the spine, visual analogue scale

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

**For citation:** Arapov A.S., Gudim A.L., Shpagin M.V. Dependence of the severity of pain in the lower back and degenerative changes in the lumbar spine in skydivers depending on the experience of training. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2023;13(3):12–19. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.4>

**Received:** 14 February 2023

**Accepted:** 10 November 2023

**Online first:** 30 November 2023

**Published:** 28 December 2023

\*Corresponding author

## 1. Введение

Парашютный спорт все больше приобретает популярность, но при этом известен несчастными случаями и травмами, связанными с прыжками. Частота травм в этом виде спорта по разным данным составляет 3–24 на 1000 человек и достаточно часто (более чем в 18% случаев) они локализируются в позвоночнике [1]. Тем не менее до сих пор сохраняется дефицит исследований, описывающих эргономические риски и профессиональные заболевания опорно-двигательного аппарата у спортсменов-парашютистов [2]. Проведенный обзор отечественной и зарубежной литературы продемонстрировал, что среди спортсменов-парашютистов исследования проводились только в связи со скелетно-мышечными болями в области шеи, возникающими во время удара при раскрытии парашюта [2, 3]. В то же время, согласно данным зарубежной литературы, свыше 75,0% инструкторов парашютного спорта страдают от неспецифических болей в нижней части спины,

что может быть связано с тем, что во время выполнения прыжков они принимают позы и выполняют движения, способствующие возникновению неспецифической боли в пояснице [4].

Боль в нижней части спины (БНЧС) — это боль, локализуемая в крестце и крестцово-подвздошной области, которая может иррадиировать в ягодицы и нижние конечности. Согласно МКБ-10, относится к классу «болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани», блоку М40–М54 — «дорсопатии». Распространенность хронической БНЧС имеет тенденцию к увеличению с возрастом и превышает 50% у лиц старше 60 лет [5, 6].

БНЧС является наиболее частой причиной временной утраты трудоспособности и ограничения физической активности пациентов моложе 45 лет и самой частой жалобой после простудных заболеваний — не менее 60–80% населения испытали ее хотя бы один раз [7, 8].

### Патогенез хронических болей в нижней части спины

Регулярные статодинамические нарушения приводят к функциональным нарушениям подвижности в позвоночно-двигательных сегментах, которые включают в себя дугоотростчатые суставы, а ограничение их нормальной физиологической пассивной подвижности, в свою очередь, вызывает нейрорефлекторные, нейротрофические изменения с формированием в дерматоме гипералгических зон, а в миотоме мышечного спазма, миофасциальных триггерных точек, локального укорочения или расслабления мышц с их гипер- или гипотрофией. Результатом этого патологического каскада является нарушение функционирования всего двигательного стереотипа, изменение его физиологичности, которое закрепляется в центрах краткосрочной, а затем и долгосрочной памяти, приводя к формированию компенсаторного двигательного стереотипа и формированию региональной соматической дисфункции (СД). Причиной СД помимо генетической предрасположенности являются дегенеративно-дистрофические изменения позвоночника, травмы и микротравмы с последующим напряжением тонических мышц, постоянное мышечное напряжение вследствие патологического пострурального фактора, стереотипных однообразных мышечных нагрузок, что приводит к формированию болезненных мышечных уплотнений и триггерных точек [9–14].

**Цель исследования:** провести оценку факторов риска развития неспецифического болевого синдрома в спине у спортсменов-парашютистов.

### 2. Материалы и методы

В одноцентровом проспективном нерандомизированном исследовании участвовали 173 мужчины в возрасте от 25 до 55 лет, наблюдающихся с болью в нижней части спины от 1 года до 5 лет.

В зависимости от принадлежности к парашютному спорту пациенты были разделены на 2 группы: основную группу составили 89 человек, занимающихся парашютным спортом, в группу сравнения вошли 84 пациента, ни разу не прыгавших с парашютом. В последующем из основной группы были сформированы две подгруппы в зависимости от общего количества прыжков с парашютом: подгруппа 1 ( $n = 29$ ) — количество прыжков с парашютом менее 198 и подгруппа 2 ( $n = 60$ ) — 198 прыжков и более.

В исследование не включали пациентов, имеющих травмы и последствия травм опорно-двигательного аппарата, заболевания позвоночника (опухоли, инфекции, нарушения метаболизма и др.).

Критерии включения в исследование: мужской пол, возраст старше 18 лет, не менее 50 прыжков с парашютом для основной группы.

Всем пациентам проведено клиничко-неврологическое и нейроручевое исследование. Клиничко-неврологический осмотр включал в себя сбор жалоб, анамнеза

заболевания (учитывалось количество прыжков на протяжении всей карьеры, связь возникновения болей в спине с выполнением других физических упражнений или видов деятельности), объективное обследование (измерение индекса массы тела, оценка неврологического статуса).

Для объективизации интенсивности боли использовались 100-балльная визуально-аналоговая шкала (ВАШ), валидизированные русскоязычные версии опросников Освестри (версия 2.1 а) и Роланда-Морриса «Боль в нижней части спины и нарушение жизнедеятельности». Оценка интенсивности боли у исследуемых проводилась в момент обращения до назначения лекарственной терапии [15].

Диагностика структурно-анатомических нарушений осуществлялась на МРТ-сканере Philips Ingenia Ambition S (1,5 тесла) при стандартном МРТ-исследовании позвоночника в положении лежа с толщиной среза 3 мм. В сагиттальной, коронарной и аксиальной плоскостях поясничного отдела позвоночника в режимах T2, T1 и T2 FAT SAT количественно оценивали протрузии — ткань межпозвоночного диска, выходящей за края кольцевых апофизов по всей его окружности. Кроме того, при выполнении МРТ фиксировали наличие выпрямления лордоза и смещение позвонков относительно друг друга (спондилолистез).

Исследование выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики и принципами Хельсинкской декларации. У всех пациентов было получено письменное информированное согласие на участие в исследовании. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом Института биологии и биомедицины ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» (протокол № 42 от 28.04.2022 г.).

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программы IBM SPSS Statistics 25. Количественные данные представлены в виде медианы (Me) и квартилей (Q1; Q3), качественные — абсолютные значения (абс.), проценты (%). Для оценки различий количественных данных применялся *W*-критерий Уилкоксона с поправкой Бонферрони при множественных сравнениях, качественных — хи-квадрат с поправкой на правдоподобие. Корреляционный анализ проводился с помощью коэффициента корреляции Спирмена (*r*). Оптимальные пороговые значения определяли с помощью ROC-анализа. Нулевая гипотеза об отсутствии статистически значимых различий отвергалась при  $p < 0,05$ .

### 3. Результаты

Возраст участников в основной группе составил 34 (31; 38) года и был сопоставим с возрастом участников контрольной группы — 34 (29; 37) года ( $p = 0,409$ ). Индекс массы тела в обеих группах не превышал 33,2 кг/м<sup>2</sup>, но в основной группе он был ниже — 27,3



(26,2; 28,8) и 28,5 (27,6; 29,7) кг/м<sup>2</sup> соответственно ( $p = 0,005$ ). При этом ожирение среди участников обеих групп встречалось с одинаковой частотой — 22,6 и 19,1 % пациентов соответственно ( $p = 0,580$ ).

Количество прыжков в основной группе составило 276 (167; 387) раз.

Функциональные нарушения, связанные с болью в нижней части спины, оцениваемые с помощью опросников Осверсти и Морриса, в основной группе были более выражены ( $p < 0,001$ ), но интенсивность болевого синдрома по данным ВАШ в обеих группах была сопоставима ( $p = 0,074$ ) (таблица 1).

Анализ структурно-анатомических нарушений позвоночника по данным МРТ не выявил значимых межгрупповых различий по частоте и размерам протрузий и спондилолистеза ( $p > 0,05$ ), но в основной группе чаще диагностировали выпрямление лордоза ( $p = 0,049$ ) (табл. 2).

По данным корреляционного анализа, наличие протрузий в позвоночнике коррелировало с уровнем интенсивности боли ( $r = 0,337$ ;  $p < 0,001$ ) и степенью функциональных нарушений по результатам опросников Осверсти ( $r = 0,325$ ;  $p < 0,001$ ) и Роланда Морриса ( $r = 0,292$ ;  $p < 0,001$ ).

Учитывая корреляционную связь между появлением протрузий в позвоночнике и количеством прыжков с парашютом ( $r = 0,430$ ;  $p < 0,001$ ), был проведен

ROC-анализ (рис. 1), который установил, что протрузии чаще возникали у парашютистов возникали при сумме прыжков 198 и более (площадь по кривой AUC = 0,776, 95 % ДИ = 0,676–0,858,  $p < 0,001$ ). Исходя из полученных данных, были сформированы две подгруппы: в первую ( $n = 29$ ) вошли парашютисты с маленьким стажем, у которых количество прыжков с парашютом было менее 198, во вторую ( $n = 60$ ) — парашютисты с большим стажем (198 прыжков и более).

Сравнительный анализ показал, что от количества прыжков с парашютом зависела интенсивность болевого синдрома в нижней части спины пациентов. Самый высокий показатель ВАШ был в группе парашютистов с большим стажем — 68 (65; 75) баллов ( $p < 0,05$ ), тогда как другие группы по данному показателю между собой различий не имели. Вышеперечисленные закономерности наблюдались и при оценке степени нарушений жизнедеятельности по данным опросника Осверсти. Различия по уровню общего балла опросника Роланда Морриса были статистически значимыми при сравнении всех групп ( $p < 0,05$ ), при этом максимальные значения отмечены у парашютистов с большим стажем (9 (9; 11) баллов), минимальные — в контрольной группе (8 (7; 9) баллов).

Распространенность протрузий у парашютистов с большим стажем была в 1,3 раза выше, чем в контрольной группе сравнения ( $p = 0,005$ ), и в 2 раза выше

Таблица 1

Сравнительная характеристика интенсивности боли и степени нарушения жизнедеятельности у обследуемых

Table 1

Comparative characteristics of the intensity of pain and the degree of disability in the subjects

Параметр	Основная группа ( $n = 89$ )	Группа сравнения ( $n = 84$ )	W Уилкоксона	$p$
Визуально-аналоговая шкала, баллы	67 (65; 73)	67 (65; 70)	6723,0	0,074
Осверсти, баллы	38 (35; 44)	34 (32; 38)	5608,5	< 0,001
Роланда Морриса, баллы	9 (8; 10)	7 (7; 8)	5029,5	< 0,001

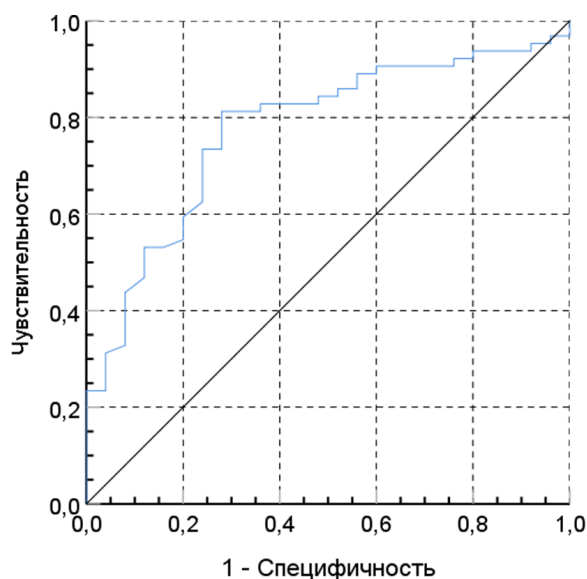
Таблица 2

Сравнительная характеристика структурно-анатомических нарушений позвоночника по данным МРТ у обследуемых

Table 2

Comparative characteristics of structural and anatomical disorders of the spine according to MRI in subjects

Показатель	Основная группа ( $n = 89$ )	Группа сравнения ( $n = 84$ )	$p$
Наличие смещения дисковой ткани	64 (71,9%)	54 (64,3%)	0,361
Величина смещения дисковой ткани, мм	1	17 (19,1%)	0,450
	2	33 (37,1%)	
	3	12 (13,5%)	
	4	2 (2,2%)	
Спондилолистез	5 (5,6%)	4 (4,8%)	1,000
Выпрямление лордоза	31 (34,8%)	17 (20,2%)	0,049



**Рис. 1.** Значения ROC-кривой определения смещений дисковой ткани позвоночника в зависимости от количества прыжков с парашютом

**Fig. 1.** Values of the ROC curve for determining the displacement of spinal disc tissue depending on the number of parachute jumps

по сравнению со спортсменами с меньшим стажем ( $p < 0,001$ ) (табл. 4).

Занятия парашютным спортом не оказали влияние на величину протрузий и частоту спондилолистеза ( $p > 0,05$ ), при этом у спортсменов, интенсивно занимающихся парашютным спортом чаще чем в других группах встречалось выпрямление лордоза ( $p = 0,001$ ).

Стоит отметить, что парашютисты с небольшим стажем не отличались от группы сравнения по частоте патологических изменений позвоночника по результатам МРТ ( $p > 0,05$ ), что подчеркивают важность продолжительности и интенсивности нагрузок

на позвоночный столб при формировании патологических нарушений.

#### 4. Обсуждение

Распространенность боли в пояснице у спортсменов составляет от 18 до 65% (самая высокая в гребле и самая низкая в баскетболе), что соответствует результатам проведенного исследования [16]. В целом ряде исследований была показана связь между возникновением болей в пояснице и значительной физической активной деятельностью. Данные этих исследований использовались для разработки руководств, протоколов и рекомендаций для спортсменов [4, 20].

Анатомические и биомеханические факторы, влияющие на появление боли в пояснице у спортсменов различных видов спорта, изучаются давно [12, 14, 17, 18, 19, 21]. Результаты исследований показали, что боль в пояснице вызывается четырьмя механизмами:

- дегенеративно-дистрофическими изменениями в позвоночнике;
- мышечными перегрузками, связанными с физкультурно-спортивной деятельностью;
- многочисленными микротравмами (ушибами, растяжениями);
- острыми травмами (переломами позвонков) и их последствиями [4].

В настоящем исследовании установлена связь между выраженностью болевого синдрома и количеством прыжков с парашютом, что не всегда находит подтверждение по данным научной литературы. Так, в исследовании Rodríguez-Ayala и соавт. обнаружили, что 42% начинающих парашютистов испытывают боль в спине, и связали ее с количеством прыжков и эффектом повторных микротравм при ударах во время приземления и эффектом резкой вертикальной тяги при раскрытии парашюта [17].

Таблица 3

#### Сравнительная характеристика интенсивности боли и степени нарушения жизнедеятельности у обследуемых в зависимости от количества прыжков

Table 3

#### Comparative characteristics of the intensity of pain and the degree of impairment of life in the examined, depending on the number of jumps

Параметр	Парашютисты с маленьким стажем (n = 29)	Парашютисты с большим стажем (n = 60)	Группа сравнения (n = 84)	p1-2	p2-3	p1-3
ВАШ, баллы	65 (60; 68)	68 (65; 75)	67 (65; 70)	0,014	0,004	0,439
Освестри, баллы	36 (34; 38)	40 (37; 44)	34 (32; 38)	< 0,001	< 0,001	1,000
Роланда Морриса, баллы	8 (7; 9)	9 (9; 11)	7 (7; 8)	0,038	< 0,001	0,012

Примечание: p1-2 — статистическая значимость между группами парашютистов; p2-3 — статистическая значимость между парашютистами с большим стажем и группой сравнения; p1-3 — статистическая значимость между парашютистами с маленьким стажем и группой сравнения.

Note: p1-2 — statistical significance between groups of parachutists; p2-3 — statistical significance between skydivers with extensive experience and the comparison group; p1-3 — statistical significance between skydivers with little experience and the comparison group.

Таблица 4

Сравнительная характеристика структурно-анатомических нарушений позвоночника по данным МРТ у обследуемых в зависимости от количества прыжков

Table 4

Comparative characteristics of structural and anatomical disorders of the spine according to MRI data in subjects depending on the number of jumps

Параметр	Паращютисты с маленьким стажем (n = 29)	Паращютисты с большим стажем (n = 60)	Группа сравнения (n = 84)	p1-2	p2-3	p1-3
Наличие смещения дисковой ткани	12 (41,4%)	52 (86,7%)	54 (64,3%)	< 0,001	0,005	0,052
Величина смещения дисковой ткани, мм	1	5 (41,7%)	12 (23,1%)	0,392	0,311	0,962
	2	6 (50%)	27 (51,9%)			
	3	1 (8,3%)	11 (21,2%)			
	4	0	2 (3,8%)			
Спондилолистез	1 (3,4%)	4 (6,7%)	4 (4,8%)	0,520	0,902	1,000
Выпрямление лордоза	3 (10,3%)	28 (46,7%)	17 (20,2%)	0,001	0,001	0,357

Примечание: p1-2 — статистическая значимость между группами паращютистов; p2-3 — статистическая значимость между паращютистами с большим стажем и группой сравнения; p1-3 — статистическая значимость между паращютистами с маленьким стажем и группой сравнения.

Note: p1-2 — statistical significance between groups of parachutists; p2-3 — statistical significance between skydivers with extensive experience and the comparison group; p1-3 — statistical significance between skydivers with little experience and the comparison group.

В то же время Dhar D. в ретроспективном исследовании травм у военных десантников, опубликованном в 2007 году, отметил отсутствие связи между многолетним опытом прыжков с парашютом и возникновением боли в спине [22].

Martínez-González-moro и соавт. также не выявили взаимосвязь между количеством прыжков и болью в пояснице. Но эти же авторы указывали, что в их исследовании принимали участие опытные инструкторы, обученные технике профилактики травм, связанных с парашютным спортом [4].

Таким образом, с одной стороны доказана связь возникновения у спортсменов болей в спине с физической деятельностью, но с другой стороны, в отношении спортсменов-паращютистов, зависимость возникновения и выраженности болевого синдрома в нижней части спины и дегенеративных изменений в поясничном отделе позвоночника от стажа занятий остается спорной.

Ограничением настоящего исследования является оценка узкого спектра патологических изменений в позвоночнике, выявляемых при МРТ-исследовании. В частности, такие патологические изменения МРТ-картины позвоночного столба, как наличие остеофитов,

грыж Шморля и др., могут быть связаны как с естественными дегенеративно-дистрофическими процессами, так и с регулярными чрезмерными вертикальными нагрузками на позвоночный столб, что требует дальнейшего изучения.

Перспективным направлением настоящего исследования является дальнейший поиск выявленных факторов риска болевого синдрома в спине у спортсменов-паращютистов, а также изучение их влияния на эффективность лечения.

### 5. Выводы

В результате нашего исследования установлено, что у спортсменов-паращютистов с чрезмерной регулярной вертикальной нагрузкой на позвоночник (198 прыжков с парашютом и более) чаще определяются протрузии и наблюдается более выраженный болевой синдром в нижней части спины в сравнении с контрольной группой. Однако среди спортсменов-паращютистов со стажем занятий менее 198 прыжков распространенность протрузий и выраженность болевого синдрома не отличались от аналогичных параметров представителей общей популяции, не занимающихся парашютным спортом.

### Author contributions:

**Artem S. Arapov** — concept and publication design, collection and analysis of research data;

**Andrey L. Gudim** — statistical analysis of research data, text editing;

**Maksim V. Shpagin** — editing of the text, concept and publication design, writing the first draft of manuscript.

### Вклад авторов:

**Арапов Артем Сергеевич** — концепция и дизайн публикации, сбор и анализ данных исследования;

**Гудим Андрей Леонидович** — статистический анализ данных исследования, редактирование текста;

**Шпагин Максим Владимирович** — написание и редактирование текста, концепция и дизайн публикации, написание первой версии текста.

## Список литературы

## References

1. Sahin T., Batın S. A descriptive study of orthopaedic injuries due to parachute jumping in soldiers. *BMC Emerg. Med.* 2020;20(1):58. <https://doi.org/10.1186/s12873-020-00354-7>
2. Coşkun Beyan A., Demiral Y., Dilek B., Alici N.Ş., Bediz C., Çimrin A. Skydiving and the risk of cervical disc herniation. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health.* 2018;31(2):243–249. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01032>
3. Nilsson J., Fridén C., Burén V., Westman A., Lindholm P., Ang B.O. Musculoskeletal pain and related risks in skydivers: a population-based survey. *Aviat. Space Environ. Med.* 2013;84(10):1034–1040. <https://doi.org/10.3357/asem.3570.2013>
4. Martínez-González-moro I., Lomas-Albaladejo J.L., Serrano-Gisbert M.F., Alvaredo-Mateos M.A., Carrasco-Poyatos M., Camacho R.L. Factors related to low back pain of instructors for skydiving in the wind tunnel. *Archivos de Medicina del Deporte.* 2015;32:149–155.
5. Парфенов В.А. Причины болей в нижней части спины. *Российский неврологический журнал.* 2019 24(5):14–20. <https://doi.org/10.30629/2658-7947-2019-24-5-14-20>
6. Новиков А.Ю., Цыкунов М.Б., Сафин Ш.М., Новиков Ю.О. Неспецифическая боль в нижней части спины: обзор литературы. *Мануальная терапия.* 2020;(1-2):57–67.
7. Пизова Н.В. Острая и хроническая боль в нижней части спины. *Неврология и Ревматология (Прил. к журн. Consilium Medicum).* 2019;(1):25–30. <https://doi.org/10.26442/2414357X.2019.1.190348>
8. Maher C., Underwood M., Buchbinder R. Non-specific low back pain. *The Lancet.* 2017;389(10070):736–747. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30970-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30970-9)
9. Занер-Биссиг Ж., Хамилтон К., Кройцгер Р., Майзер Ш. Причины и методы устранения боли в спине. *Лечебная физкультура и спортивная медицина.* 2010;8(80):50–57.
10. Исайкин А.И., Язикова М.С., Кавелина А.В., Куршев В.В. Боль в поясничной области у спортсменов. *Неврология и ревматология (Прил. к журн. Consilium Medicum).* 2013;(2):83–89.
11. Мингалева Е.С. Боль в спине: причины, лечение, профилактика. В: *Физическая культура и спорт в современном мире: проблемы и решения. Материалы Международной научно-практической конференции.* 2016;(1):71–75.
12. Никитченко С.Ю., Веселова И.М., Далнаев И.У. Причины возникновения поясничных болей у спортсменов разрядников в силовых видах спорта. *Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта.* 2019;10(176):244–247.
13. Новикова Л.Б., Акопян А.П., Шаропова К.М., Латыпова Р.Ф. Факторы риска хронизации болевого синдрома в нижней части спины. *Российский неврологический журнал.* 2022;27(3):54–59. <https://doi.org/10.30629/2658-7947-2022-27-3-54-59>
14. Халимова Д.Ж. Боль в области спины у спортсменов тяжелоатлетов Узбекистана. *Биология и интегративная медицина.* 2020;(3):36–44.
15. Бахтадзе М.А., Лусникова И.В., Канаев С.П., Расстригин С.Н. Боль в нижней части спины: какие шкалы и опросники выбрать? *Российский журнал боли.* 2020;18(1):22–28 <https://doi.org/10.17116/pain20201801122>
16. Trompeter K., Fett D., Platen P. Prevalence of Back Pain in Sports: A Systematic Review of the Literature / K. Trompeter. *Sports Medicine.* 2017;47(6):1183–1207. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0645-3>
17. Rodríguez-Ayala J., Rodríguez-de la Cruz R. Alteraciones en columna lumbar y saltos en paracaídas. *Rev Sanid Milit Mex.* 2006;60:154–159.
1. Sahin T., Batın S. A descriptive study of orthopaedic injuries due to parachute jumping in soldiers. *BMC Emerg. Med.* 2020;20(1):58. <https://doi.org/10.1186/s12873-020-00354-7>
2. Coşkun Beyan A., Demiral Y., Dilek B., Alici N.Ş., Bediz C., Çimrin A. Skydiving and the risk of cervical disc herniation. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health.* 2018;31(2):243–249. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01032>
3. Nilsson J., Fridén C., Burén V., Westman A., Lindholm P., Ang B.O. Musculoskeletal pain and related risks in skydivers: a population-based survey. *Aviat. Space Environ. Med.* 2013;84(10):1034–1040. <https://doi.org/10.3357/asem.3570.2013>
4. Martínez-González-moro I., Lomas-Albaladejo J.L., Serrano-Gisbert M.F., Alvaredo-Mateos M.A., Carrasco-Poyatos M., Camacho R.L. Factors related to low back pain of instructors for skydiving in the wind tunnel. *Archivos de Medicina del Deporte.* 2015;32:149–155.
5. Parfenov V.A. Causes of pain in the lower back. *Russian neurological journal.* 2019;24(5):14–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.30629/2658-7947-2019-24-5-14-20>
6. Novikov A.Yu., Tsykunov M.B., Safin Sh.M., Novikov Yu.O. Nonspecific pain in the lower back: a review of the literature. *Manual Therapy Journal.* 2020;(1-2):57–67. (In Russ.).
7. Pizova N.V. Acute and chronic pain in the lower back. *Neurology and Rheumatology (Suppl. Consilium Medicum).* 2019;(1):25–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.26442/2414357X.2019.1.190348>
8. Maher C., Underwood M., Buchbinder R. Non-specific low back pain. *The Lancet.* 2017;389(10070):736–747. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30970-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30970-9)
9. Zaner-Bissig J., Hamilton K., Kroitzer R., Meiser S. Causes and management of back pain. *Lechebnaya fizkultura i sportivnaya medicina [Physiotherapy and sports medicine].* 2010;8(80):50–57. (In Russ.).
10. Isaikin A.I., Yazikova M.S., Kavelina A.V., Kurshev V.V. Pain in the lumbar region in athletes. *Neurology and rheumatology (Suppl. Consilium Medicum).* 2013;(2):83–89. (In Russ.).
11. Mingaleva E.S. Back pain: causes, treatment, prevention. In: *Physical culture and sport in the modern world: problems and solutions. Materials of the International Scientific and Practical Conference.* 2016;(1):71–75. (In Russ.).
12. Nikitchenko S.Yu., Veselova I.M., Dalnaev I.U. Causes of lumbar pain in sportsmen of dischargers in power sports. *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta.* 2019;10(176):244–247. (In Russ.).
13. Novikova L.B., Akopyan A.P., Sharapova K.M., Lатыпова R.F. Risk factors for chronic pain in the lower back. *Russian neurological journal.* 2022;27(3):54–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.30629/2658-7947-2022-27-3-54-59>
14. Khalimova D.Zh. Pain in the back area in weightlifters of Uzbekistan. *Biologiya i integrativnaya meditsina.* 2020;(3):36–44. (In Russ.).
15. Bakhtadze M.A., Lusnikova I.V., Kanaev S.P., Rasstrigin S.N. Pain in the lower back: which scales and questionnaires to choose? *Russian Journal of Pain.* 2020;18(1):22–28. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/pain20201801122>
16. Trompeter K., Fett D., Platen P. Prevalence of Back Pain in Sports: A Systematic Review of the Literature / K. Trompeter. *Sports Medicine.* 2017;47(6):1183–1207. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0645-3>
17. Rodríguez-Ayala J., Rodríguez-de la Cruz R. Alteraciones en columna lumbar y saltos en paracaídas. *Rev Sanid Milit Mex.* 2006;60:154–159.



18. Bezuglov E., Lazarev A., Petrov A., Brodskaya A., Lyubushkina A., Kubacheva K., et al. Asymptomatic Degenerative Changes in the Lumbar Spine Among Professional Soccer Players. *Spine*. 2021;46(2):122–128. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003726>

19. Liddle S.D., Baxter G.D., Gracey J.H. Exercise and chronic low back pain: what works? *Pain*. 2004;107(1-2):176–190. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2003.10.017>

20. Delitto A., George S.Z., van Dillen I., Whitman J.M., Sowa G., Shekelle P., Denninger T.R., Godges J.J. Low Back Pain. Clinical Practice Guidelines Linked to the International Classification of Functioning, Disability, and Health from the Orthopaedic Section of the American Physical Therapy Association. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2012;42(4):A1-A57. <https://doi.org/10.2519/jospt.2012.0301>

21. Fritz J.M., Clifford S.N. Low back pain in adolescents: a comparison of clinical outcomes in sports participants and nonparticipants. *J. Athl. Train.* 2010;45(1):61–66. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-45.1.61>

22. Dhar D. Retrospective study of injuries in military parachuting. *Med. J. Armed Forces India*. 2007;63(4):353–355. [https://doi.org/10.1016/S0377-1237\(07\)80014-1](https://doi.org/10.1016/S0377-1237(07)80014-1)

18. Bezuglov E., Lazarev A., Petrov A., Brodskaya A., Lyubushkina A., Kubacheva K., et al. Asymptomatic Degenerative Changes in the Lumbar Spine Among Professional Soccer Players. *Spine*. 2021;46(2):122–128. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003726>

19. Liddle S.D., Baxter G.D., Gracey J.H. Exercise and chronic low back pain: what works? *Pain*. 2004;107(1-2):176–190. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2003.10.017>

20. Delitto A., George S.Z., van Dillen I., Whitman J.M., Sowa G., Shekelle P., Denninger T.R., Godges J.J. Low Back Pain. Clinical Practice Guidelines Linked to the International Classification of Functioning, Disability, and Health from the Orthopaedic Section of the American Physical Therapy Association. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2012;42(4):A1-A57. <https://doi.org/10.2519/jospt.2012.0301>

21. Fritz J.M., Clifford S.N. Low back pain in adolescents: a comparison of clinical outcomes in sports participants and nonparticipants. *J. Athl. Train.* 2010;45(1):61–66. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-45.1.61>

22. Dhar D. Retrospective study of injuries in military parachuting. *Med. J. Armed Forces India*. 2007;63(4):353–355. [https://doi.org/10.1016/S0377-1237\(07\)80014-1](https://doi.org/10.1016/S0377-1237(07)80014-1)

#### Информация об авторах:

**Арапов Артем Сергеевич**, врач-невролог, мануальный терапевт, Нижегородский межрегиональный нейрохирургический центр им. проф. А.П. Фраермана, Россия, 603122, Нижний Новгород, ул. Генерала Ивлиева, 30/1, 37 ([frigmat1317@yandex.ru](mailto:frigmat1317@yandex.ru))

**Гудим Андрей Леонидович**, к.м.н., ассистент кафедры физической и реабилитационной медицины Института реабилитации и здоровья человека ФГАОУ ВО «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», Россия, 603087, Нижегородская область, Кстовский район, д. Афоново, Красная Поляна ([Andr6665@mail.ru](mailto:Andr6665@mail.ru))

**Шпагин Максим Владимирович\***, к.м.н., врач-нейрохирург, Нижегородский межрегиональный нейрохирургический центр им. проф. А.П. Фраермана, Россия, 603057, Нижний Новгород, проезд Светлогорский, 4, 101 ([shpagin-maksim@rambler.ru](mailto:shpagin-maksim@rambler.ru))

#### Information about the authors:

**Artem S. Arapov**, neurologist, chiropractor, Nizhny Novgorod Interregional Neurosurgical Center named after prof. A.P. Fraerman, Russia, 603122, Nizhny Novgorod, st. Generala Ivlieva, 30/1, 37 ([frigmat1317@yandex.ru](mailto:frigmat1317@yandex.ru))

**Andrey L. Gudim**, Ph.D. (Medicine), department assistant, Department of Physical and Rehabilitation Medicine, Institute of Rehabilitation and Human Health, UNN named after N.I. Lobachevsky, Russia, 603087, Nizhny Novgorod region, Kstovsky district, Afonino village, Krasnaya Polyana, 3 ([Andr6665@mail.ru](mailto:Andr6665@mail.ru))

**Maksim V. Shpagin\***, Ph.D. (Medicine), neurosurgeon, Nizhny Novgorod Interregional Neurosurgical Center named after prof. A.P. Fraerman, Russia, 603057, Nizhny Novgorod, Svetlogorsky proezd, 4, 101 ([shpagin-maksim@rambler.ru](mailto:shpagin-maksim@rambler.ru))

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.6>

УДК: 796.92+616-072

Тип статьи: Оригинальная статья / Original Research



## Реакция кардиореспираторной системы лыжниц различной спортивной квалификации на максимальный велоэргометрический тест

И.О. Гарнов<sup>1,\*</sup>, Т.П. Логинова<sup>1</sup>, Е.Р. Бойко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт физиологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина», Сыктывкар, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** определение функциональных особенностей деятельности кардиореспираторной системы лыжниц-гонщиц различных спортивных квалификаций в динамике выполнения максимального велоэргометрического теста.

**Материалы и методы:** обследованы 70 лыжниц-гонщиц различных спортивных квалификаций, которые были разделены на три группы. В первую группу вошла 21 лыжница-гонщица спортивной квалификации первого взрослого разряда, во вторую — 25 кандидаток в мастера спорта, в третью группу — 24 спортсменки звания мастер спорта по лыжным гонкам. Спортсменки выполняли ступенчатый велоэргометрический тест «до отказа» с использованием эргоспирометрической установки «Охусон Про».

**Результаты:** наблюдались статистически значимые различия показателей пульса, потребления кислорода, кислородного пульса в динамике выполнения тестовой нагрузки между группами спортсменок различной квалификации.

**Заключение.** Было показано влияние спортивной квалификации на физиологические параметры при максимальном тестировании: у спортсменок первой группы выполнение нагрузки происходит за счет напряжения сердечно-сосудистой системы, а в группе квалифицированных лыжниц — за счет улучшения механизма доставки кислорода.

**Ключевые слова:** лыжницы-гонщицы, максимальный велоэргометрический тест, кардиореспираторная система, спортивная квалификация, максимальное потребление кислорода

**Благодарности:** исследования проведены в рамках НИР ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Физиолого-биохимические механизмы устойчивости организма человека и животных к факторам Севера и физическим нагрузкам, способы ее повышения и прогностической оценки» (FUUU-2022-0063, № НИОКТР 122040100039-4).

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

**Для цитирования:** Гарнов И.О., Логинова Т.П., Бойко Е.Р. Реакция кардиореспираторной системы лыжниц-гонщиц различных спортивных квалификаций на максимальный велоэргометрический тест. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2023;13(3):20–29. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.6>

**Поступила в редакцию:** 16.02.2023

**Принята к публикации:** 27.11.2023

**Online first:** 21.12.2023

**Опубликована:** 28.12.2023

\* Автор, ответственный за переписку

# Response of cardiorespiratory system during maximal exercise cycle ergometer test in women cross-country skiers with different skills levels

Igor O. Garnov<sup>1,\*</sup>, Tatyana P. Loginova<sup>1</sup>, Evgeny R. Boyko<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Physiology of the Komi Science Center of the Ural Branch of Russian Academy of Science, Syktyvkar, Russia

<sup>2</sup> Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

## ABSTRACT

**Objective:** to estimate the functional features of the cardiorespiratory system of female cross-country skiers with different skills levels at the maximal bicycle ergometer test.

**Material and methods:** 70 female cross-country skiers were divided into three groups. The first group included 21 cross-country skiers with first adult sporting rank, the second — 25 candidates in master of sports, the third group — 24 sport masters in cross-country skiing. Maximal exercise tests were used to determine cardiorespiratory fitness via spiroergometric system «Oxycon Pro» (Jaeger, Hoechberg, Germany).

**Results:** The most notable differences were observed between the first-class and the masters of the sports groups. In the first-class group the heart rate during the maximal exercise test was, on average, 11 beats/min higher than in the master of sports group ( $p < 0.05$ ), and the oxygen consumption at the anaerobic threshold was, on average, lower by 7.7 ml/min/kg ( $p < 0.05$ ) when comparing the same groups.

**Conclusion:** The influence of skills levels on physiological parameters at maximal bicycle ergometer test was shown. The capacity in the first group occurs due to cardiovascular system tension, and the same in the group high qualification skiers happen due to the mechanisms of oxygen transport development.

**Keywords:** cross-country female skiers, maximal bicycle ergometer test, cardiorespiratory system, maximal oxygen consumption

**Acknowledgments:** The study was carried out as part of the Federal Research Center Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences project “Physiological and biochemical mechanisms of resistance of the human and animal body to northern factors and physical stress, methods of increasing it and prognostic assessment” (FUUU-2022-0063, No. NIOKTR 122040100039-4).

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

**For citation:** Garnov I.O., Loginova T.P., Boyko E.R. Response of cardiorespiratory system during maximal exercise cycle ergometer test in women cross-country skiers with different skills levels. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2023;13(3):20–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.6>

**Received:** 16 February 2023

**Accepted:** 27 November 2023

**Online first:** 21 December 2023

**Published:** 28 December 2023

\*Corresponding author

## 1. Введение

Лыжные гонки относятся к одним из наиболее требовательных к функциональным возможностям кардиореспираторной системы (КРС) зимних видов спорта. Физиологические запросы, предъявляемые организму в лыжных гонках, требуют от него высоких значений максимального потребления кислорода (МПК) и анаэробных порогов, которые определяют спортивную результативность [1, 2]. Тренировочный процесс (ТП) лыжниц-гонщиц включает в себя длительные интенсивные и объемные по циклической нагрузке учебно-тренировочные занятия (УТЗ), которые необходимо планировать и реализовывать в соответствии с особенностями онтогенеза и спортивной квалификации [3, 4]. В свою очередь, функциональный мониторинг, используемый для получения срочной информации о состоянии спортсменки, может помочь тренерскому штабу своевременно вносить коррективы как в объемы средств подготовки, так и интенсивность нагрузок. Такие показатели КРС, как потребление кислорода (ПК), частота сердечных сокращений (ЧСС) и частота дыхания (ЧД),

являются удобными маркерами переносимости нагрузки на УТЗ для спортсменок различных спортивных квалификаций. В доступных источниках представлено недостаточно информации о деятельности КРС во время проведения максимального велоэргометрического теста (ВЭТ) у лыжниц-гонщиц разных спортивных квалификаций, что определило актуальность нашего исследования, основной целью которого стало определение функциональных особенностей деятельности кардиореспираторной системы лыжниц-гонщиц различных спортивных квалификаций во время выполнения максимального велоэргометрического теста.

## 2. Материалы и методы исследования

Исследование было проведено в конце подготовительного периода ТП (август — сентябрь) в отделе экологической и медицинской физиологии Института физиологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Все тестирования проводились в помещении с температурой

воздуха в пределах  $23 \pm 1,5$  °C с 9:30 до 12:30 в будние дни (для исключения влияния циркадных ритмов).

Всего в исследовании приняли участие 376 лыжниц-гонщиц различной спортивной квалификации, которые выполняли ВЭТ «до отказа» для определения МПК. Для исключения влияния интенсивности максимальной выполненной нагрузки на показатели КРС, из числа обследованных были выбраны только те, которые закончили ВЭТ на определенной ступени нагрузки — 280 Вт. Кроме того, число спортсменок, которые закончили нагрузку при данной мощности, было примерно одинаковым во всех квалификациях, что и повлияло на выбор именно этого диапазона нагрузки.

#### Характеристика участников исследования

В итоговую выборку вошли 70 лыжниц, которые были разделены на три группы. В первую группу вошла 21 девушка первого спортивного разряда (I взр.), во вторую группу вошли 25 лыжниц — кандидатов в мастера спорта (КМС), а в третью группу — 24 лыжницы, имеющие звание «мастер спорта России» (МС). Спортсменки являлись действующими членами сборных команд Республики Коми и России по лыжным гонкам, постоянно проживали на европейском Севере ( $62^{\circ}$ С. ш.,  $51^{\circ}$  в. д.) и имели спортивное амплуа — универсал.

При проведении обследования группы спортсменок не учитывали день овуляторно-менструального цикла (ОМЦ), поскольку, по данным литературы, фаза ОМЦ не влияет на показатели КРС при физической нагрузке либо оказывает незначительное влияние [5, 6].

Длину и массу тела спортсменок измеряли с помощью медицинского весоростомера, индекс массы тела (ИМТ) рассчитывали по формуле Кетле.

#### Тестирование физической работоспособности

Лыжницы выполняли ВЭТ для определения МПК с использованием системы Oxycon Pro (Erich Jaeger, Германия) в режиме breath-by-breath со ступенчатым возрастанием нагрузки, начиная с 80 Вт и усреднением показателей по 15-секундным отрезкам, как описано в ранее проведенных исследованиях [7]. Протокол тестирования включал в себя следующую последовательность действий: две минуты в покое лежа, две минуты в покое сидя на велоэргометре, одна минута педалирования без нагрузки с частотой 60 об/мин, ступенчато повышающаяся нагрузка (на 40 Вт каждые две минуты) и пятиминутное восстановление после окончания теста. Респираторный порог анаэробного обмена (ПАНО) определяли по достижению дыхательным коэффициентом единицы [7].

Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным этическим комитетом ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар (протокол от 15.11.2022 г.). Каждый участник исследования

представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

#### Статистический анализ

Статистическая обработка результатов была проведена с использованием программ Statistica (версия 8.0, Statsoft Inc.). Для расчета статистической значимости различий между группами применялся непараметрический критерий Краскела — Уоллиса. Различия считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ . Данные, полученные в ходе исследования, представлены в виде медианы, 25-го и 75-го перцентиля (Me (25%; 75 %)).

#### 3. Результаты исследования

Самыми «возрастными» спортсменками являлись представительницы третьей группы. Аналогичные различия наблюдались для показателя спортивного стажа — он статистически значимо увеличивался по мере повышения спортивного мастерства. Антропометрические показатели (длина и масса тела, ИМТ) имели обратную динамику и уменьшались от первой к третьей группе (табл. 1).

Во время проведения тестирования ЧСС у лыжниц первой группы была статистически значимо выше по сравнению с участницами из второй (в среднем на 6 уд/мин при педалировании без нагрузки на мощности 160–280 Вт) и третьей (в среднем на 11 уд/мин, при педалировании без нагрузки и на всех этапах тестирования) групп (рис. 1). Во второй группе по сравнению с третьей ЧСС была выше при нагрузках в диапазоне от 120 до 280 Вт. В период постнагрузочного восстановления самая высокая ЧСС также была у лыжниц из первой группы. Разница ЧСС к концу первой минуты восстановления между спортсменками первой группы и второй и третьей групп составила 6 и 7,3% соответственно, а на пятой минуте — 6,5 и 10,7% соответственно. В среднем разница в ЧСС составляла 10 уд/мин в течение всего периода восстановления.

У обследованных спортсменок ЧД статистически значимо различалась только в состоянии покоя лежа — у спортсменок второй группы наблюдалось более высокое значение ЧД по сравнению с первой и третьей группами ( $p < 0,05$ ). На остальных этапах тестирования отличий выявлено не было.

Показатели дыхательного объема (ДО) у лыжниц третьей группы были статистически значимо выше на этапе нагрузки 240 Вт по сравнению с лыжницами из первой и второй групп, и на первой минуте восстановления по сравнению с спортсменками второй группы (рис. 2).

По показателям минутного объема дыхания (МОД) между первой и второй группами отсутствовала статистическая значимость. У спортсменок первой группы по сравнению со спортсменками третьей группы было



Таблица 1

**Характеристики исследуемых групп (Me (25 %; 75 %))**

Table 1

**Characteristics of female athletes (Me (25 %; 75 %))**

Показатели	I группа	II группа	III группа
Возраст, лет	17,5 (16,0; 19,0)	19,0 (17,0; 20,0)	23,0 (21,0; 24,5)*
Спортивный стаж, лет	8,0 (6,0; 9,0)	9,0 (7,0; 10,0)*	13,0 (12,0; 16,2)*#
Длина тела, см	167,0 (165,5; 168,5)	166,0 (163,5; 175,0)	165,0 (164,7; 167,0)*
Масса тела, кг	63,3 (60,7; 65,0)	60,8 (58,3; 65,0)	56,9 (55,2; 60,2)*#
ИМТ, м <sup>2</sup>	22,4 (21,4; 23,1)	21,5 (21,1; 22,3)	20,4 (20,2; 21,7)**

Примечание: данные представлены в виде медианы и 25 % и 75 %;

\* — статистическая значимость между первой и второй–третьей группами;

# — статистическая разница между второй и третьей группами (здесь и далее в таблицах).

Note: data are presented as median and 25 % and 75 %;

\* — statistical difference between the first and second–third groups;

# — statistical difference between the second and third groups (here and in other tables).

отмечено более высокое значение МОД на нагрузке 120 Вт ( $p < 0,05$ ), а также на первой минуте восстановления ( $p < 0,04$ ). Между второй и третьей группами отсутствовали статистически значимые различия по показателю МОД.

Показатели относительного ПК/кг у обследованных лыжниц первой группы относительно второй были статистически значимо ниже только на этапах восстановления (рис. 3). По сравнению с третьей группой ПК/кг в первой группе был ниже на нагрузке 80–160 Вт и в период восстановления. Во второй группе более низкие значения ПК/кг по сравнению с третьей наблюдались на нагрузке 80–240 Вт и в период восстановления.

Кислородный пульс (КП) у обследованных спортсменок первой группы был ниже, чем у спортсменок третьей группы на этапах педалирования без нагрузки, на нагрузке 80–200 Вт и на первой минуте восстановления (рис. 4). У спортсменок второй группы по сравнению с третьей КП был статистически значимо ниже на нагрузке 120 Вт, а также на 3–5-й минутах восстановления.

Важным аспектом оценки функциональных возможностей спортсмена является анализ показателей на этапах достижения вентиляторного порога анаэробного обмена (ПАНО) и максимального потребления кислорода (МПК). В отношении ЧСС можно отметить, что ПАНО у лыжниц третьей группы наблюдается при более низкой ЧСС — в среднем она была на 1,2% ниже, чем у спортсменок первой и второй групп. В момент наступления МПК у лыжниц третьей группы также наблюдается более низкое значение ЧСС. На ПАНО МОД ниже в первой группе по сравнению с третьей, а показатель ПК/кг на ПАНО было меньше в первой и второй группах по сравнению с третьей.

Самое большее значение МПК было отмечено в третьей группе, а самое низкое — в первой группе. В момент

наступления МПК ЧСС была статистически значимо больше в первой группе по сравнению со второй и третьей, а также во второй по сравнению с третьей группой. Показатель МОД в момент МПК в первой группе был ниже, чем в третьей (табл. 2).

#### 4. Обсуждение

Антропометрические характеристики лыжниц первого взрослого разряда были ниже по сравнению с аналогичными показателями, ранее описанными в научной литературе [8]. Эти же показатели лыжниц самой высокой квалификации (МС) были меньше, чем у менее квалифицированных спортсменок и были сопоставимы по длине тела с ведущими российскими лыжницами [8]. Масса тела, длина тела и ИМТ у участниц исследования статистически значимо снижались от первой к третьей группе. У обследованных ранее аналогичных по квалификации лыжников мужского пола зависимость между квалификацией и антропометрическими характеристиками была обратной [11]. Таким образом, можно предположить, что в отличие от мужчин вклад силового компонента (увеличения мышечной массы) не является определяющим для повышения спортивной квалификации у женщин.

В лыжных гонках ТП вызывает структурную и функциональную адаптацию КРС, которая варьируется в зависимости от тренировочного стажа. В покое у МС, имеющих самый большой стаж занятий, отмечена брадикардия, характерная для хорошо тренированных спортсменов. Это может быть связано с тем, что длительные и объемные по циклической нагрузке УТЗ вызывают повышение парасимпатического тонуса и эксцентрическую гипертрофию миокарда [10].

Изменение значений ЧСС в динамике нагрузочного тестирования и периода восстановления

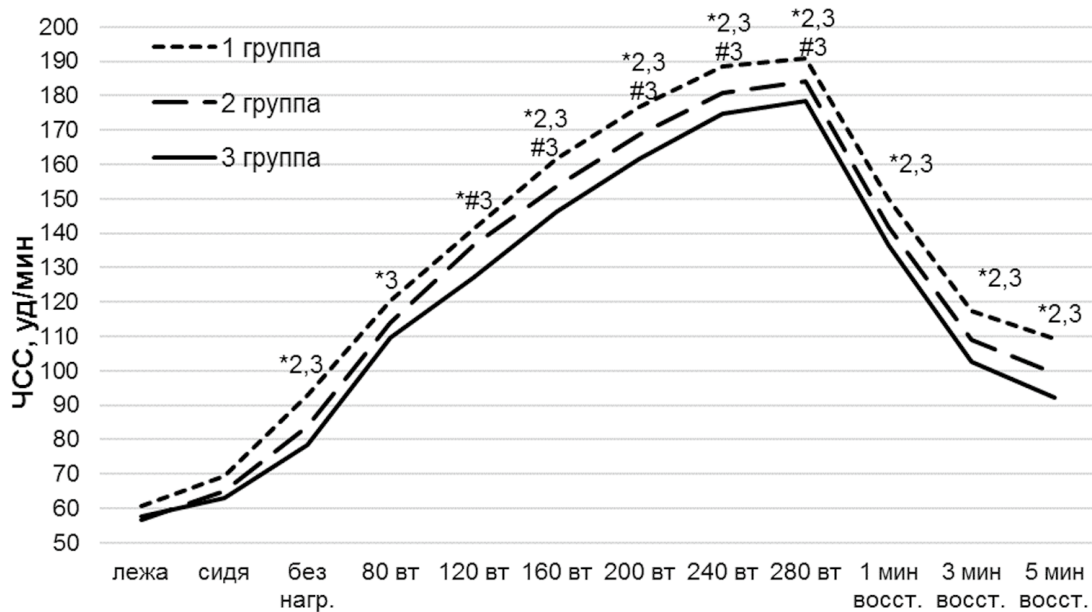


Рис. 1. Динамика частоты сердечных сокращений у лыжниц различной спортивной классификации  
Примечание: \* — статистическая значимость между первой и второй–третьей группами; # — статистическая разница между второй и третьей группами (здесь и далее в рисунках).

Fig. 1. Dynamics of heart rate in the examined female skiers.  
Note: \* — statistical difference between the first and second–third groups; # — statistical difference between the second and third groups (here and other diagrams).

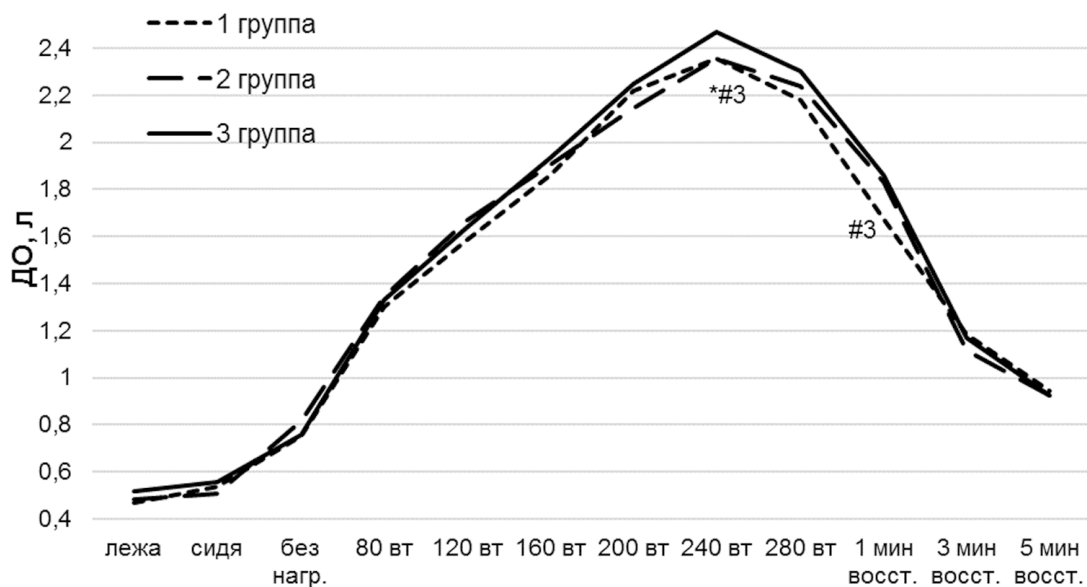


Рис. 2. Динамика ДО у обследованных лыжниц различной спортивной классификации  
Fig. 2. Dynamics of respiratory volume in the examined female skiers

может использоваться как прогностический инструмент оценки уровня физической работоспособности и адекватности применяемых нагрузок, а также для построения тренировочных зон у различных спортивных квалификаций в циклических видах спорта [11, 13]. В нашем обследовании при нагрузке и восстановлении

наблюдается четкая зависимость между ЧСС и спортивной квалификацией спортсмена: чем выше квалификация, тем ниже ЧСС (рис. 1). В то же время следует отметить, что максимальные значения ЧСС участниц исследования (178–191 уд/мин) ниже ранее приводимых в литературе (193–195 уд/мин) [12].

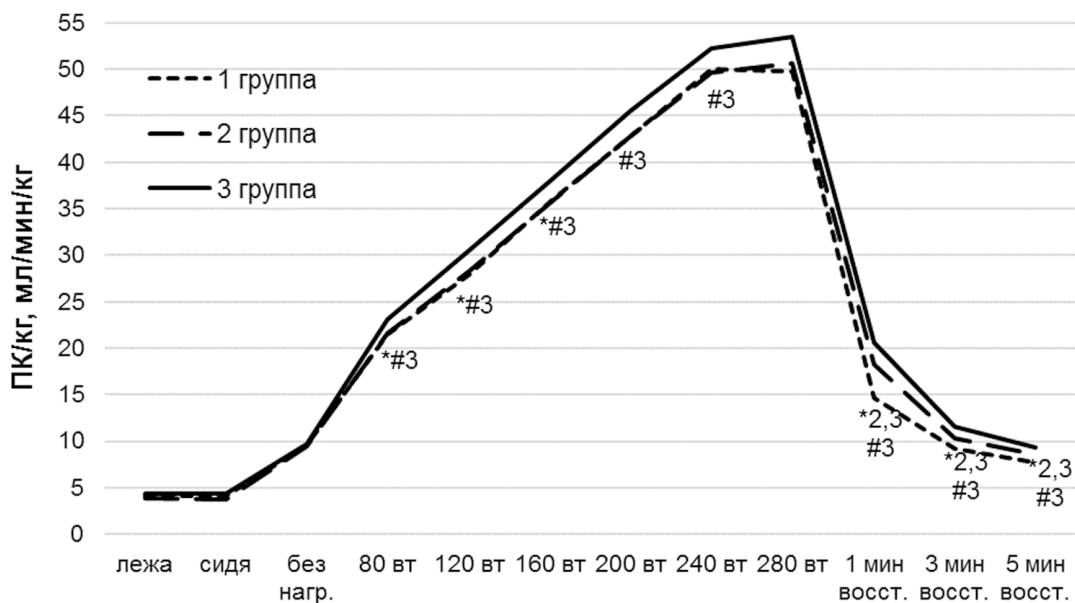


Рис. 3. Динамика относительного потребления кислорода у лыжниц различной спортивной классификации  
Fig. 3. Dynamics of oxygen consumption in the examined female skiers

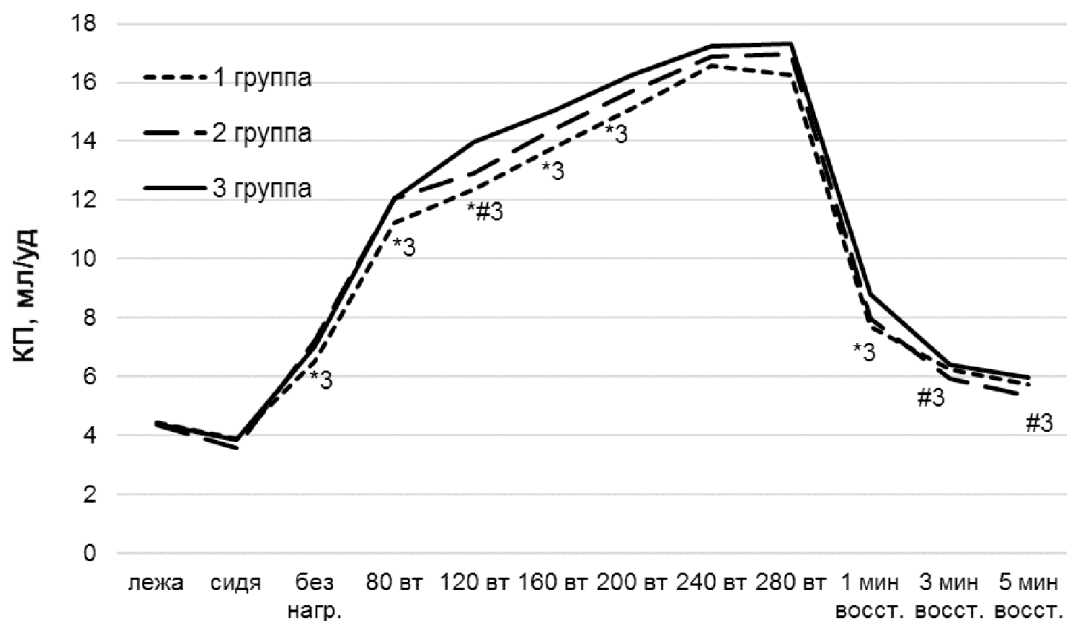


Рис. 4. Динамика КП у обследованных лыжниц различной спортивной классификации  
Fig. 4. Dynamics of oxygen pulse in the examined female skiers

Одной из причин этого может быть брадикардическое влияние условий Севера [7].

Способность организма утилизировать кислород при физической нагрузке обусловлена множеством факторов: объемом легких, сердца и циркулирующей крови, бронхиальной проводимостью, количеством и составом вовлеченных в работу мышечных единиц, количеством и размером митохондрий в клетках и т. д. [1]. Учитывая, что среди обследованных групп во время ВЭТ группа наиболее квалифицированных лыжниц характеризовалась статистически значимо минимальными значениями

пульса (рис. 1), а ЧД, ДО и МОД практически не имели различий между группами, важным показателем, отражающим глубинные механизмы функциональных перестроек организма по мере увеличения спортивного мастерства, является ПК/кг (рис. 3). Следует отметить, что если ЧСС на ПАНО обследованных лыжниц не отличалась от показателей, полученных другими авторами [3, 4, 12], то МПК (табл. 2) было ниже показателей, ранее приводимых в литературе (52,8–55,1 мл/мин/кг) [12].

Необходимо отметить, что во время проведения ВЭТ на нагрузке 240–280 Вт при повышающихся МОД

Таблица 2

Показатели на ПАНО и в момент МПК в исследуемых группах лыжниц различной квалификации (Me (25 %; 75 %))

Table 2

Indicators at the anaerobic threshold, at maximal oxygen consumption in the studied groups of female skiers (Me (25 %; 75 %))

Показатель	I группа	II группа	III группа
ПАНО			
ЧСС, уд/мин	171,0 (158,0; 182,0)	169,0 (153,5; 183,0)	167,0 (159,5; 171,5)
ЧД, дых/мин	30,0 (28,0; 35,0)	34,5 (29,5; 38,0)	34,0 (30,0; 39,0)
МОД, л	62,0 (51,0; 76,0)	67,5 (57,0; 75,2)	78,0 (68,2; 82,7)*
ПК, мл/мин/кг	37,8 (33,1; 46,2)	38,7 (35,2; 47,7)	45,5 (43,0; 51,4)*#
МПК			
ЧСС, уд/мин	191,0 (186,0; 194,0)	184,0 (180,0; 186,0)*	176,5 (173,0; 182,0)*#
ЧД, дых/мин	46,0 (42,0; 54,0)	49,0 (46,0; 51,0)	48,0 (43,2; 51,7)
МОД, л	109,0 (98,0; 114,0)	113,0 (103,0; 122,0)	117,5 (110,0; 128,5)*
МПК, мл/мин/кг	52,1 (48,4; 56,9)	54,1 (50,1; 55,4)	55,2 (52,0; 59,0) *

Примечание: данные представлены в виде медианы и 25 % и 75 %.  
Note: data are presented as median and 25 % and 75 %.

и ЧД в исследуемых группах происходило снижение ДО на мощности 280 Вт (рис. 2). Наблюдаемые изменения, по-видимому, связаны с изменением структуры дыхания для обеспечения кислородных потребностей организма — происходит увеличение ЧД и снижение ДО [13]. Подобные изменения указывают на увеличение вклада анаэробных гликолитических процессов, использование менее экономного и более кислородозатратного способа обеспечения необходимого уровня легочной вентиляции за счет увеличения ЧД и может служить предиктором завершения физической нагрузки. Уменьшение прироста ПК/кг и КП на нагрузке 280 Вт (рис. 3, 4) также отражает истощение функциональных возможностей системы дыхания.

Одним из широко используемых показателей для характеристики функциональных возможностей спортсменов является МПК, особенно в видах спорта на выносливость [14, 15]. Показатели обследованных спортсменок (табл. 2) значительно отличались от значений элитных зарубежных лыжниц (около 80 мл/кг/мин) [16] и были несколько ниже, чем у российских, — от 58,5 до 62,78 мл/кг/мин [12, 17]. Причинами этого могут быть различные специализации лыжниц (спринтеры, универсалы, стайеры), что, в свою очередь, оказывает влияние на показатели [18], различные методы тестирования — тредбан, велотренажер [18], а также обследование на разных этапах ТП, что также может оказывать влияние на функциональное состояние спортсменов [17, 19].

Показатель, характеризующий экономичность и эффективность системы снабжения организма кислородом — КП [20] у обследованных нами лыжниц по сравнению с данными элитных спортсменок имел более низкие значения: 17,13–17,98 и 18,73–19,43 мл/уд [12] соответственно. Причиной этого, как указано было выше,

могут быть различные способы тестирования [18], разные этапы ТП [17] и влияние повышения спортивной классификации [21].

Важным аспектом в оценке функциональных показателей спортсменов является их изменение относительно значений в состоянии покоя (рис. 5). При анализе ПК/кг в группе спортсменок первой группы на уровне ПАНО наблюдалось статистически значимое увеличение (на 811 %) процента ПК относительно значений покоя, тогда как у лыжниц второй и третьей групп это увеличение составило 998 и 977 % соответственно. При достижении МПК прирост ПК у лыжниц первой, второй и третьей групп составил 1279, 1447 и 1398 % соответственно. Таким образом, можно сказать, что у участниц исследования наблюдается повышение максимальных возможностей обеспечения кислородом по мере повышения спортивного мастерства, что наиболее четко проявляется в переходе от первого взрослого разряда к уровню кандидата в мастера спорта.

Исходя из того, что ДО, ЧД у обследованных лыжниц практически не различалось, ЧСС у спортсменок третьей группы было статистически значимо ниже (рис. 1), а ПК выше практически на всех этапах нагрузки (рис. 3), можно сделать вывод, что у лыжниц первого взрослого разряда выполнение нагрузки в значительной степени обусловлено напряжением КРС, у спортсменок более высокой квалификации за счет совершенствования функции доставки кислорода к тканям. Это может происходить за счет улучшения вентиляции легких, газотранспортной функции крови, а также утилизации кислорода мышцами [22], что, по-видимому, является отражением процессов спортивного [23] и биологического онтогенеза.

Представленные функциональные характеристики КРС на каждой из ступеней ВЭТ позволят более целенаправленно осуществлять мониторинг и сопоставлять



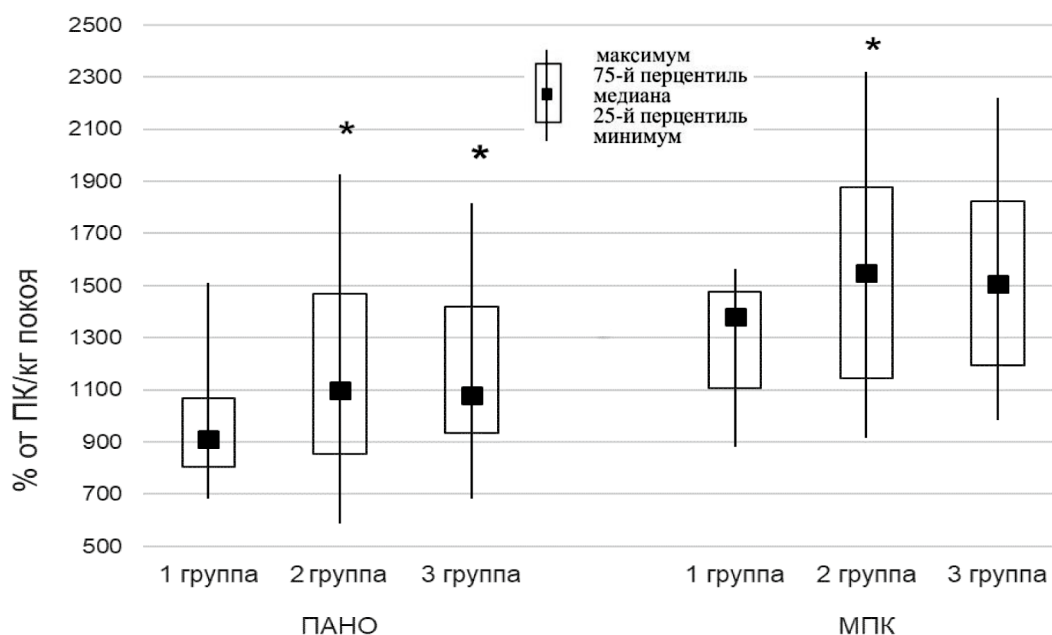


Рис. 5. Процент относительного потребления кислорода от значений покоя на ПАНО и в момент МПК у лыжниц различной квалификации  
Fig. 5. The percentage of relative oxygen consumption (from the values of rest) at anaerobic threshold and maximal oxygen consumption in the examined female skiers

функциональный статус лыжниц массовых разрядов и спортивных званий. Также они могут выступать маркерами определения «зрелости» физиологических функций к выполнению квалификаций и уровня физической работоспособности, а также для построения и корректировки ТП и адекватности переносимости нагрузок в циклических видах спорта.

### 5. Заключение

Среди лыжниц различной квалификации отсутствует положительная зависимость между уровнем

#### Вклад авторов:

**Гарнов Игорь Олегович** — концепция и дизайн публикации, сбор и анализ данных исследования; написание и редактирование текста;

**Логинова Татьяна Петровна** — концепция и дизайн публикации, сбор и анализ данных исследования, написание и редактирование текста;

**Бойко Евгений Рафаилович** — концепция и дизайн публикации, сбор и анализ данных исследования, написание и редактирование текста.

мастерства и антропометрическими характеристиками, что указывает на меньший вклад мышечного компонента в процессе становления спортивного мастерства по сравнению с перестройками КРС.

У спортсменок I разряда выполнение нагрузки происходит в значительной степени за счет напряжения сердечно-сосудистой системы, а у лыжниц-гонщиц МС — за счет улучшения кислородтранспортной функции. По мере увеличения спортивного стажа наблюдаются перестройки систем организма, приводящие к экономизации функций в ответ на предъявляемые нагрузки.

#### Author contributions:

**Igor O. Garnov** — concept and publication design, collection and analysis of research data; editing of the text;

**Tatyana P. Loginova** — concept and publication design, collection and analysis of research data; editing of the text;

**Evgeny R. Boyko** — concept and publication design, collection and analysis of research data; editing of the text.

### Список литературы

1. Hoffman M.D., Clifford P.S. Physiological aspects of competitive cross-country skiing. J. Sports Sci. 1992;10(1):3–27. <https://doi.org/10.1080/02640419208729903>
2. Попов Д.В., Грушин А.А., Виноградова О.Л. Физиологические основы оценки аэробных возможностей и подбора тренировочных нагрузок в лыжном спорте и биатлоне. Москва: Совет. спорт; 2014.
3. Ростовцев В.Л., Кряжев В.Д. Маркеры специальной подготовленности высококвалифицированных спортсменок по

### References

1. Hoffman M.D., Clifford P.S. Physiological aspects of competitive cross-country skiing. J. Sports Sci. 1992;10(1):3–27. <https://doi.org/10.1080/02640419208729903>
2. Popov D.V., Grushin A.A., Vinogradova O.L. Physiological basis for assessing aerobic capacity and selecting training loads in skiing and biathlon. Moscow: Sovetskii sport Publ.; 2014. (In Russ.)
3. Rostovtsev V.L., Kryazhev V.D. Markers of special physical fitness of highly qualified athletes in terms of gas analysis. Uchenye

показателям. Ученые записки университета Лесгафта. 2021;(4):396–401. <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2021.4.p396-401>

4. **Rusko H., Rahkila P., Karvinen E.** Anaerobic threshold, skeletal muscle enzymes and fiber composition in young female cross-country skiers. *Acta Physiol. Scand.* 1980;108(3):263–268. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1980.tb06532.x>

5. **Smekal G., von Duvillard S.P., Frigo P., Tegelhofer T., Pokan R., Hofmann P., et al.** Menstrual cycle: no effect on exercise cardiorespiratory variables or blood lactate concentration. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2007;39(7):1098–1106. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31805371e7>.

6. **McNulty K. L., Elliott-Sale K.J., Dolan E., Swinton P.A., Ansdell P., Goodall S., Thomas K., Hicks K.M.** The effects of menstrual cycle phase on exercise performance in eumenorrheic women: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2020;50(10):1813–1827. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01319-3>

7. **Бойко Е.Р., Логинова Т.П., Варламова Н.Г., Марков А.Л., Солонин Ю.Г., Дерновой Б.Ф. и др.** Физиолого-биохимические механизмы обеспечения спортивной деятельности зимних циклических видов спорта. Сыктывкар: Коми республиканская типография; 2019.

8. **Абрамова Т.Ф., Никитина Т.М., Кочеткова Н.И.** Лабильные компоненты массы тела — критерии общей физической подготовленности и контроля текущей и долговременной адаптации к тренировочным нагрузкам. Москва: Скайпринт; 2013.

9. **Варламова Н.Г., Логинова Т.П., Гарнов И.О., Черных А.А., Бойко Е.Р.** Частота сердечных сокращений, потребление кислорода и артериальное давление у лыжников разной квалификации в тесте «до отказа». *Человек. Спорт. Медицина.* 2021;21(1):53–61.

10. **Rusko H.** Cross country skiing. *Handbook of sports medicine and science.* UK: Science Ltd., Blackwell; 2003. <https://doi.org/10.1002/9780470693834>

11. **Максимов А.Л., Аверьянова И.В.** Информативные маркеры состояния кардиогемодинамики у юношей с различными типами вегетативной регуляции в процессе велоэргометрической нагрузки субмаксимальной мощности. *Физиология человека.* 2019;45(3):61–68.

12. **Головачев А.И., Кольхматов В.И., Широкова С.В.** Особенности достижения модельных показателей функциональных возможностей систем энергообеспечения лыжниц-гонщиц высокой квалификации при подготовке к Олимпийским играм. *Человек. Спорт. Медицина.* 2021;21(3):38–45.

13. **Губа В.П., Маринич В.В.** Теория и методика современных спортивных исследований: монография. Москва: Спорт; 2016.

14. **Ландырь А.П., Ачкасов Е.Е.** Мониторинг сердечной деятельности в управлении тренировочным процессом в физической культуре и спорте. Москва: Триада-X; 2011. <https://doi.org/10.53725/9785950018114>

15. **Laursen P.B., Jenkins D.G.** The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports. Med.* 2002;32(1):53–73. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232010-00003>

16. **Haugen T., Paulsen G., Seiler S., Sandbakk Ø.** New records in human power. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2018;13(6):678–686. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0441>

17. **Головачев А.И., Кольхматов В.И., Широкова С.В.** Динамика функциональных возможностей систем энергообеспечения лыжниц-гонщиц высокой квалификации, специали-

zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta. 2021;(4):396–401. (In Russ.). <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2021.4.p396-401>

4. **Rusko H., Rahkila P., Karvinen E.** Anaerobic threshold, skeletal muscle enzymes and fiber composition in young female cross-country skiers. *Acta Physiol. Scand.* 1980;108(3):263–268. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1980.tb06532.x>

5. **Smekal G., von Duvillard S.P., Frigo P., Tegelhofer T., Pokan R., Hofmann P., et al.** Menstrual cycle: no effect on exercise cardiorespiratory variables or blood lactate concentration. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2007;39(7):1098–1106. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31805371e7>.

6. **McNulty K. L., Elliott-Sale K.J., Dolan E., Swinton P.A., Ansdell P., Goodall S., Thomas K., Hicks K.M.** The effects of menstrual cycle phase on exercise performance in eumenorrheic women: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2020;50(10):1813–1827. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01319-3>

7. **Boiko E.R., Loginova T.P., Varlamova N.G., Markov A.L., Solonin Yu.G., Dervovoi B.F. et al.** Physiological and biochemical mechanisms to ensure the sports activities of winter cyclic sports. Sy`kty`vkar: Komi Republican Printing House; 2019. (In Russ.).

8. **Abramova T.F., Nikitina T.M., Kochetkova N.I.** Labile components of body weight — criteria for general physical fitness and control of current and long-term adaptation to training loads. Moscow: Skaiprint Publ.; 2013. (In Russ.)

9. **Varlamova N., Loginova T., Garnov I., Chernykh A., Boiko E.** Heart rate, oxygen consumption and arterial pressure in skiers of different skill levels in the test to exhaustion. *Human. Sport. Medicine.* 2021;21(1):53–61. (In Russ.)

10. **Rusko H.** Cross country skiing. *Handbook of sports medicine and science.* UK: Science Ltd., Blackwell; 2003. <https://doi.org/10.1002/9780470693834>

11. **Maksimov A.L., Averyanova I.V.** Informative markers of cardiohemodynamic state in young men with different types of autonomic regulation during submaximal bicycle exercise test. *Human Physiology.* 2019;45(3):283–290. <https://doi.org/10.1134/S0362119719020051>

12. **Golovachev A., Kolykhmatov V., Shirokova S.** (2021). Achieving the model performance of energy systems in elite cross-country female skiers before the Olympics. *Human. Sport. Medicine.* 2021;21(3):38–45. (In Russ.)

13. **Guba V.P., Marinich V.V.** Theory and methodology of modern sports research: monograph. Moscow: Sport Publ.; 2016. (In Russ.)

14. **Landy`r` A.P., Achkasov E.E.** Monitoring of cardiac activity in the management of the training process in physical culture and sports. Moscow: Triada-X Publ.; 2011. (In Russ.). <https://doi.org/10.53725/9785950018114>

15. **Laursen P.B., Jenkins D.G.** The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports. Med.* 2002;32(1):53–73. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232010-00003>

16. **Haugen T., Paulsen G., Seiler S., Sandbakk Ø.** New records in human power. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2018;13(6):678–686. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0441>

17. **Golovachev A.I., Kolykhmatov V.I., Shirokova S.V.** Dynamics of functional capabilities of the power supply systems of female skiers of high qualification specializing in various types of

зирующихся в различных видах соревновательной деятельности. Вестник спортивной науки. 2019;(3):8–14.

18. Головин М.С., Айзман Р.И. Физиологические и биохимические показатели, характеризующие физическую работоспособность при нагрузочном тестировании на тредбане и велоэргометре. Человек. Спорт. Медицина. 2022;22(1):14–21.

19. Гарнов И.О., Чалышева А.А., Варламова Н.Г., Логинова Т.П., Козловская А.В., Бойко Е.Р. Динамика физической работоспособности и стресс-восстановления у лыжниц-гонщиц в подготовительный и соревновательный периоды. Журн. мед.-биол. исследований. 2018;6(3):214–222. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.214>

20. Горбанёва Е.П. Качественные характеристики функциональной подготовленности спортсменов. Саратов: Научная Книга; 2008.

21. Катунцев В.П., Шамардин А.И., Медведев Д.В. Параметры функциональной экономичности и эффективности у спортсменов футболистов разной степени адаптированности к физическим нагрузкам. Современные проблемы науки и образования. 2014;(5):45–50

22. Филиппов М. М. Условия массопереноса кислорода в организме при максимальной физической нагрузке. Ульяновский медико-биологический журнал. 2012;(4):120–124.

23. Абрамова Т.Ф., Головачев А.И., Никитина Т.М., Кочеткова Н.И., Гилярова О.А. Динамика особенностей телосложения, показателей работоспособности и энергообеспечения у лыжников на этапах «спортивного» онтогенеза с учетом биологической зрелости. Вестник Московского университета. Серия 23. Антропология. 2012;(3):38–55.

competitive activities. Sports Science Bulletin. 2019;(3):8–14. (In Russ.)

18. Golovin M.S., Aizman R.I. Physiological and biochemical indicators of physical performance during exercise test (treadmill and bicycle ergometer). Human. Sport. Medicine. 2022;22(1):14–21. (In Russ.)

19. Garnov I.O., Chalysheva A.A., Varlamova N.G., Loginova T.P., Kozlovskaya A.V., Boyko E.R. Dynamics of Physical Working Capacity and Recovery-Stress of Female Cross-Country Skiers During the Preparatory and Competitive Phases. Journal of Medical and Biological Research. 2018;6(3):214–222. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.214>

20. Gorbanyova E.P. Qualitative characteristics of functional readiness of athletes. Saratov: Nauchnaya Kniga Publ.; 2008. (In Russ.)

21. Katuntsev V.P., Shamardin A.I., Medvedev D.V. Functional effectiveness parameters of football players with different degree adaptation to physical activity. Modern Problems of Science and Education. 2014;(5):45–50. (In Russ.)

22. Filippov M.M. The conditions for oxygen movement change at maximum exercise. Ulyanovsk Medico-biological Journal. 2012;(4):120–124. (In Russ.)

23. Abramova T.F., Golovachev A.I., Nikitina T.M., Kochetkova N.I., Gilyarova O.A. The dynamics of constitution features, capacity for work indices and energy supply of skiers at the steps of «sport» ontogenesis with considering biologic maturity. Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria XXIII. Antropologia = Moscow University Anthropology Bulletin. 2012;(3):38–55. (In Russ.)

#### Информация об авторах:

**Гарнов Игорь Олегович\***, научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии, Институт физиологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Россия, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, 50 (566552@inbox.ru)

**Логинова Татьяна Петровна**, к.б.н., научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии, Институт физиологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Россия, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, 50 (log73@yandex.ru)

**Бойко Евгений Рафаилович**, д.м.н., директор, Институт физиологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Россия, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, 50; профессор, заведующий кафедрой биохимии и физиологии ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина», Россия, 167001, Республика Коми, г. Сыктывкар, Октябрьский пр., 55 (boiko60@inbox.ru)

#### Information about the authors:

**Igor O. Garnov\***, Scientist of the Department of Ecological and Medical Physiology of the Institute of Physiology of Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, 167982, Komi Republic, Syktyvkar, GSP-2, str. Pervomayskaya, 50 (566552@inbox.ru)

**Tatyana P. Loginova**, Ph.D. (Biology), Scientist of the Department of Ecological and Medical Physiology of the Institute of Physiology of Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, 167982, Komi Republic, Syktyvkar, GSP-2, str. Pervomayskaya, 50 (log73@yandex.ru)

**Evgeny R. Boyko**, Dr. Sci. (Medicine), Prof., Director of the Institute of Physiology of the Komi Science Center of the Ural Branch of Russian Academy of Science, Russia, 167982, Komi Republic, Syktyvkar, GSP-2, str. Pervomayskaya 50; the head of the department of Biochemistry and Physiology, Professor, Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Russia, 167001, Komi Republic, Syktyvkar, Oktyabrsky ave., 55 (boiko60@inbox.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.9>

УДК: 616.008.9(572.951)

Тип статьи: Оригинальная статья/ Original Research



## Изменение оксидантно-антиоксидантного статуса крови у борцов вольного стиля под влиянием физических нагрузок

Н.А. Курашова<sup>1,\*</sup>, А.А. Юрьева<sup>2</sup>, И.Н. Гутник<sup>2</sup>, Л.А. Гребенкина<sup>1</sup>, А.В. Лabyгина<sup>1</sup>,  
Л.И. Колесникова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», Иркутск, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Иркутск, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** оценка системы «перекисное окисление липидов — антиоксидантная защита» у борцов вольного стиля под влиянием интенсивных физических нагрузок с целью выявления характера окислительных процессов и антиоксидантного статуса организма спортсменов.

**Материалы и методы:** в исследовании приняли участие борцы вольного стиля в возрасте 18–22 лет, имеющие спортивную квалификацию кандидат в мастера спорта или мастер спорта. В качестве контрольной группы выступили студенты, сопоставимые по полу, возрасту и весу с группой сравнения, не имеющие спортивных разрядов и не занимающиеся регулярно спортом.

**Материалом для исследования** служили плазма и эритроциты крови. Забор крови проводился в утренние часы натощак в конце подготовительного и соревновательного периодов. Компоненты перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты определяли с помощью спектрофотометрических и флюорометрических методов.

**Результаты:** У борцов после интенсивной физической нагрузки (соревновательный период) происходит достоверно значимое снижение субстратов с двойными связями (на 61%), первичных и промежуточных продуктов (на 59 и 44% соответственно), повышение конечных продуктов перекисного окисления липидов (на 25%) на фоне снижения активности таких компонентов антиоксидантной защиты, как ретинол, супероксиддисмутаза и восстановленный глутатион (на 40, 7 и 11% соответственно).

**Заключение:** Уровень свободнорадикальных процессов повышается при физической нагрузке за счет накопления кислорода в органах и тканях и зависит от интенсивности и длительности нагрузки. В подготовительный и соревновательный периоды у борцов вольного стиля происходит активация процессов перекисного окисления липидов и угнетение ферментативного и неферментативного звеньев антиоксидантной защиты и выраженность этих изменений зависит от уровня интенсивности физических нагрузок.

**Ключевые слова:** перекисное окисление липидов, борцы вольного стиля, адаптация, антиоксиданты

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

**Для цитирования:** Курашова Н.А., Юрьева А.А., Гутник И.Н., Гребенкина Л.А., Лabyгина А.В., Колесникова Л.И. Изменение оксидантно-антиоксидантного статуса крови у борцов вольного стиля под влиянием физических нагрузок. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2023;13(3):30–36. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.9>

Поступила в редакцию: 17.01.2022

Принята к публикации: 12.12.2023

Online first: 21.12.2023

Опубликована: 28.12.2023

\* Автор, ответственный за переписку

## Changes in the oxidative-antioxidant status of blood in freestyle wrestlers under the influence of physical exertion

N.A. Kurashova<sup>1,\*</sup>, A.A. Yureva<sup>2</sup>, I.N. Gutnik<sup>2</sup>, L.A. Grebenkina<sup>1</sup>, A.V. Labygina<sup>1</sup>, L.I. Kolesnikova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Scientific center for family health and human reproduction problems, Irkutsk, Russia

<sup>2</sup> Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

**Purpose of the study:** to evaluate the “lipid peroxidation-antioxidant protection” system in freestyle wrestlers under the influence of intense physical activity in order to identify the nature of oxidative processes and the antioxidant status of the athletes’ body.

**Materials and methods:** the study involved athletes — freestyle wrestlers, boys 18–22 years old, with sports qualifications: candidate master of sports or master of sports, regularly involved in freestyle wrestling. The control group consisted of students who did not have a sports category and were not involved in sports activities, comparable in gender, age, weight category with the comparison group.



**The material** for the study was plasma and red blood cells. Blood sampling from athletes was carried out twice, at the end of the preparatory and competitive periods, in the morning, on an empty stomach from the ulnar vein, in accordance with generally accepted requirements. Components of lipid peroxidation and antioxidant defense were determined using spectrophotometric and fluorometric methods.

**Results:** it was found that in athletes after intense physical activity (competitive period), there is a significantly significant decrease in substrates with double bonds by 61 %, primary products by 59 % and intermediate products by 44 %, an increase in the final products of lipid peroxidation by 25 % against the background of inhibition activity of antioxidant protection components: retinol by 40 %, superoxide dismutase by 7 % and reduced glutathione by 11 %.

**Conclusion:** The level of free radical processes increases during physical activity due to the accumulation of oxygen in organs and tissues, and depends on the intensity and duration of the exercise. In the course of the study, it was established that the preparatory and competitive periods, in comparison with the control group, among freestyle wrestlers, depending on the previous level of physical activity, are characterized by activation of lipid peroxidation processes and inhibition of enzymatic and non-enzymatic components of antioxidant protection. The established changes are recommended to be taken into account when conducting comprehensive rehabilitation of athletes, when developing recommendations for improving the training process, as well as when using antioxidant complexes for athletes aimed at restoring various parts of the body's antioxidant defense.

**Keywords:** lipid peroxidation, wrestlers, adaptation, antioxidants

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

**For citation:** Kurashova N.A., Yureva A.A., Gutnik I.N., Grebenkina L.A., Labygina A.V., Kolesnikova L.I. Changes in the oxidative-antioxidant status of blood in freestyle wrestlers under the influence of physical exertion. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2023;13(3):30–36. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.9>

**Received:** 17 January 2022

**Accepted:** 12 December 2023

**Online first:** 21 December 2023

**Published:** 28 December 2023

\*Corresponding author

## 1. Введение

Обмен веществ в организме ассоциирован с уровнем двигательной активности, направленности тренировочной деятельности. При этом изменения происходят не только в мышцах, но и в других органах и тканях, затрагивая белковый, липидный, углеводный и электролитный обмены [1–4]. Увеличение потребления энергии и кислорода при физических нагрузках приводит к тому, что электрон-транспортная цепь митохондрий становится источником активных форм кислорода за счет усиления потока электронов. Способность мышцы повышать потребление кислорода в процессе сокращения неизбежно приводит к интенсификации свободнорадикальных процессов, которые в свою очередь определяют адаптационные возможности организма, интенсивность метаболизма и, в конечном счете, риск формирования окислительного стресса [3, 5–7]. Фазы развития спортивной формы являются основой периодизации тренировки и определяют длительность, структуру периодов и содержание тренировочного процесса в них [8]. В соответствии с закономерностями развития состояния спортивной формы годичный цикл у спортсменов подразделяется на три периода: подготовительный, соревновательный и переходный.

Подготовительный период соответствует фазе приобретения спортивной формы и характеризуется высокими, но находящимися в пределах адаптационных возможностей организма спортсмена, физическими нагрузками. Соревновательный период отличается сверхвысокими нагрузками, особенно ближе к завершению данного периода, а переходный является периодом отдыха, когда уровень физической нагрузки можно назвать минимальным [9].

Окончание каждого из обозначенных периодов является точкой, представляющей интерес для изучения долговременной динамики адаптационных процессов в организме спортсмена. Несмотря на значительное внимание, уделяемое в последнее время свободнорадикальным механизмам повреждения, до сих пор существует дефицит данных о долговременных изменениях в работе системы антиоксидантной защиты в условиях систематических спортивных физических нагрузок. Целью работы явилась оценка системы «перекисное окисление липидов — антиоксидантная защита» у молодых борцов вольного стиля под влиянием интенсивных физических нагрузок для выявления выраженности и направленности окислительных процессов и изменений антиоксидантного статуса организма спортсменов.

## 2. Материалы и методы исследования

В исследовании приняли участие 20 борцов вольного стиля в возрасте 18–22 лет, которые проходили обучение в Государственном училище (колледже) олимпийского резерва г. Иркутска, имеющих спортивную квалификацию кандидат в мастера спорта или мастер спорта. Все спортсмены регулярно занимаются вольной борьбой, находятся на этапе совершенствования спортивного мастерства или высшего спортивного мастерства и не прерывали спортивную подготовку более чем на три месяца. Критериями исключения являлись отсутствие спортивного разряда и длительные перерывы в тренировочном процессе (более трех месяцев). Тренировочный процесс спортсменов борцов согласно программе спортивной подготовки по виду спорта спортивная борьба осуществляется в соответствии с годовым тренировочным планом, рассчитанным на 52 недели. Периодизация

тренировки предполагает непрерывную связь всех видов подготовки, их непрерывное круглогодичное осуществление и включает в себя 3 периода: подготовительный, соревновательный и переходный. Согласно индивидуальному плану, в соревновательном периоде спортсмен принимает участие в 1–2 значимых соревнованиях, при этом в зависимости от исхода схваток их может быть от двух до восьми в каждом из турниров. В качестве контрольной группы выступили студенты, не имеющие спортивного разряда и не занимающиеся спортивными нагрузками, сопоставимые по полу, возрасту, весовой категории с группой сравнения.

Материалом для исследования служили плазма и эритроциты крови. Забор крови у спортсменов проводился дважды (в конце подготовительного и соревновательного периодов) в утренние часы, натощак из локтевой вены, в соответствии с общепринятыми требованиями. Сроки забора материала для исследований контрольной группы совпадали со сроками забора материала спортсменов в подготовительный период.

Интенсивность процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) оценивали по содержанию диеновых конъюгатов (ДК), кетодиенов и сопряженных триенов (КД и СТ) по методу И. А. Волчегорского (1989), ТБК-активных продуктов — по методу В. Б. Гаврилова и соавт. (1987), а общую антиокислительную активность крови — по методу Г. И. Клебанова и соавт. (1988).

Содержание жирорастворимых витаминов  $\alpha$ -токоферола и ретинола определяли по методу Р. Ч. Черняускене и соавт. (1984), уровень восстановленного и окисленного глутатиона (GSH и GSSG) — по методу Р. У. Hissin, R. Hilf (1976), а активность супероксиддисмутазы (СОД) — по методу Н. Р. Misra, I. Fridovich (1972). Измерения проводили на спектрофлуориметре 02 АБФФ-Т (Россия) и спектрофотометре ВТС-350 (Испания). Все реагенты и химические вещества, используемые для биохимического анализа, были высокой аналитической чистоты (ОХЧ) и получены от стандартных коммерческих поставщиков.

Получение информированного согласия на участие в проводимом исследовании являлось обязательной процедурой. В работе с обследуемыми соблюдались этические принципы, предъявляемые Хельсинкской декларацией. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека» (протокол № 5 от 07.11.2019 г.).

Полученные результаты обрабатывали в программе Statistica 6.10 (StatSoft, Inc.). Для определения близости к нормальному закону распределения количественных признаков использовали визуально-графический метод и критерий согласия Колмогорова — Смирнова с поправкой Лиллиефорса и Шапиро — Уилка. Проверка равенства генеральных дисперсий осуществлялась с помощью  $F$ -критерия Фишера. При анализе межгрупповых различий для независимых выборок

использовали непараметрический критерий Манна — Уитни. Результаты учитывали по уровню статистической значимости не ниже 95 % ( $p \leq 0,05$ ).

### 3. Результаты

В результате проведенного исследования в плазме крови спортсменов как в подготовительном, так и в соревновательном периоде установлена активация перекисного окисления липидов и угнетение ферментативного и неферментативного звеньев антиоксидантной защиты. В подготовительный период в сравнении с контрольной группой на фоне достоверно значимого повышения первичных (на 46 %) и промежуточных продуктов (на 27 %) ПОЛ выявлено снижение жирорастворимого витамина ретинола на 42 %.

В свою очередь, в плазме крови спортсменов в соревновательном периоде в сравнении с подготовительным установлено достоверно значимое снижение уровня субстратов с двойными связями на 61 %, концентрации диеновых конъюгатов — на 59 % и уровня кетодиенов и сопряженных триенов — на 44 % на фоне увеличения концентрации ТБК-активных продуктов перекисного окисления липидов на 25 % и снижения концентрации жирорастворимого витамина ретинола на 40 %, активности супероксиддисмутазы на 7 % и уровня восстановленного глутатиона на 11 % (табл. 1).

### 4. Дискуссия

Каждый период годового цикла у спортсменов имеет свою направленность. Так, основная направленность подготовительного периода — создание и развитие предпосылок для приобретения спортивной формы, главной из которых является повышение общего уровня функциональных возможностей организма, а соревновательного — реализация спортивной формы в максимальных результатах. Уровень свободнорадикальных процессов повышается при любой физической нагрузке за счет накопления кислорода в органах и тканях и зависит от интенсивности и длительности нагрузки [6, 10]. Также причиной накопления свободных радикалов в организме спортсменов может быть стресс, вызываемый психоэмоциональным напряжением и интенсивными физическими нагрузками [11, 12]. Увеличение уровня ТБК-активных продуктов в крови спортсменов в соревновательный период свидетельствует об активации процессов ПОЛ и является неспецифическим ответом на нарушение кровоснабжения органов и тканей. Необходимым условием поддержания клеточного гомеостаза является баланс между продукцией активных форм кислорода и их нейтрализацией. Чрезмерная выработка свободных радикалов может быть уменьшена либо за счет преобразования их в метаболически неактивные соединения, либо за счет быстрой нейтрализации/инактивации первичных и промежуточных продуктов процесса липопероксидации, но в то же время активация процессов ПОЛ может служить одним из показателей формирования

Таблица

Показатели перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты в крови спортсменов под влиянием интенсивных физических нагрузок ( $M \pm \sigma$ )

Table

Indicators of lipid peroxidation and antioxidant protection in the blood of athletes under the influence of intense physical exertion ( $M \pm \sigma$ )

Показатель/ Indicator	Контрольная группа/ Control group	Подготовительный период/ Preparation period	Соревновательный период/ Competition period
Дв. Св, у. е/ Dv Sv, с. u.	1,45 ± 0,43	2,71 ± 0,49*	1,05 ± 0,48**
ДК, мкмоль/л/ diene conjugates, $\mu\text{mol/l}$	1,26 ± 0,34	1,67 ± 0,49*	0,68 ± 0,33**
КДиСТ, мкмоль/л/ ketodienes and conjugated trienes, $\mu\text{mol/l}$	0,43 ± 0,23	0,59 ± 0,25	0,33 ± 0,21**
ТБК-АП, мкмоль/л/ active products of thiobarbiturate acid, $\mu\text{mol/l}$	1,42 ± 0,29	1,51 ± 0,99	1,99 ± 0,36**
АОА, усл. ед./general antioxidant protection, с. u.	14,45 ± 3,98	15,54 ± 3,94	17,75 ± 8,32
$\alpha$ -токоферол, мкмоль/л/ $\alpha$ -tocopherol, $\mu\text{mol/l}$	10,73 ± 2,61	9,35 ± 3,41	7,97 ± 1,81
Ретинол, мкмоль/л/ retinol, $\mu\text{mol/l}$	1,39 ± 0,49	0,81 ± 0,27*	0,49 ± 0,17**
СОД, усл. ед./ superoxide dismutase, с. u.	1,66 ± 0,11	1,62 ± 0,12	1,51 ± 0,17**
GSH, ммоль/л/ reduced glutathione, $\text{mmol/l}$	2,65 ± 0,39	2,54 ± 0,25	2,25 ± 0,35**
GSSG, ммоль/л/ oxidized glutathione, $\text{mmol/l}$	1,97 ± 0,24	2,06 ± 0,26	1,99 ± 0,21

Примечание: \* —  $p < 0,05$  статистически достоверные различия между контрольной группой и подготовительным периодом; \*\* —  $p < 0,05$  статистически достоверные различия между подготовительным и соревновательным периодом.

Note: \* —  $p < 0.05$  statistically significant differences between the control group and the preparatory period; \*\* —  $p < 0.05$  statistically significant differences between the preparatory and competitive periods.

резистентности организма к различным воздействиям и наступления адаптационной стадии стресса [12, 13]. Низкий уровень супероксиддисмутазы, играющей важную роль в процессах обезвреживания токсичных метаболитов в клетках и в формировании резистентности организма к различным воздействиям, вероятнее всего, связан с расходом на инактивацию продуктов липопероксидации [7, 14]. Разнонаправленное изменение показателей процессов ПОЛ-АОЗ в соревновательном периоде может свидетельствовать о возможности возникновения оксидативного стресса. Одним из механизмов развития окислительного повреждения клеток может быть нарушение обмена глутатиона [15]. Глутатион является ключевым звеном обезвреживания окисленных продуктов, образующихся в ходе нормальной жизнедеятельности клетки, имеет большое значение для работы иммунной системы [15, 16, 17]. Трипептид вносит определенный вклад в сохранение мышечной массы, обеспечивая защиту клетки от катаболических процессов [18, 19]. Снижение уровня глутатиона можно объяснить непосредственно митохондриальной дисфункцией, при которой очевиден дефицит НАДФ, который ограничивает переход

глутатиона из окисленного состояния в восстановленное. Окислительный стресс может служить отправной точкой структурных клеточных изменений, в конечном счете приводящих к их гибели. Однако основные клинические симптомы появляются значительно позже первичных изменений структуры и функции клетки.

Установленные изменения рекомендуется учитывать при проведении комплексной реабилитации спортсменов, при разработке рекомендаций по совершенствованию тренировочного процесса, а также при применении антиоксидантных комплексов для спортсменов, направленных на восстановление различных звеньев антиоксидантной защиты организма. Необходимо продолжение исследований по оценке системы «перекисное окисление липидов — антиоксидантная защита» у борцов вольного стиля для уточнения долгосрочных влияний интенсивных физических нагрузок на гематологические, биохимические и функциональные показатели.

### 5. Заключение

Таким образом, в ходе проведенного исследования установлено, что во время соревновательного периода

у борцов вольного стиля в зависимости от предшествующего уровня физических нагрузок (подготовительный период) происходит активация процессов перекисного окисления липидов и угнетение ферментативного

#### Вклад авторов:

**Курашова Надежда Александровна** — написание текста рукописи, критический пересмотр текста рукописи (включая этапы до или после публикации рукописи), редактирование текста рукописи, оформление рукописи, работа с графическим материалом.

**Юрьева Алена Александровна** — предоставление материалов, ресурсов, образцов для проведения исследования, сбор и систематизация данных, редактирование текста рукописи.

**Гутник Игорь Нэрисович** — координация и планирование исследования, редактирование текста рукописи.

**Гребенкина Людмила Анатольевна** — анализ и обобщение данных литературы, сбор данных литературы.

**Лабыгина Альбина Владимировна** — аккумуляция исследовательских данных, применение статистических, математических методов для анализа данных.

**Колесникова Любовь Ильинична** — координация и планирование исследования формулировка идеи, исследовательских целей и задач, осуществление контроля за проведением исследовательской деятельности, критический пересмотр текста рукописи.

и неферментативного звеньев антиоксидантной защиты. В то же время, и в подготовительный период у борцов происходит интенсификация процессов ПОЛ и снижение системы АОЗ при сравнении с контрольной группой.

#### Author contributions:

**Nadezhda A. Kurashova** — writing the text of the manuscript, critical revision of the text of the manuscript (including stages before or after publication of the manuscript), editing the text of the manuscript, designing the manuscript, working with graphic material.

**Alena A. Yuryeva** — provision of materials, resources, samples for research, collection and systematization of data, editing the text of the manuscript.

**Igor N. Gutnik** — coordination and planning of the study, editing the manuscript text.

**Lyudmila A. Grebenkina** — analysis and synthesis of literature data, collection of literature data.

**Albina V. Labygina** — accumulation of research data, application of statistical and mathematical methods for data analysis

**Lyubov I. Kolesnikova** — coordination and planning of research, formulation of ideas, research goals and objectives, monitoring of research activities, critical revision of the manuscript text.

#### Список литературы

1. Gielen S., Schuler G.G., Adams V. Cardiovascular effects of exercise training molecular mechanisms. *Circulation*. 2010; 122(12): 1221–1238. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.939959>
2. Rychkova L., Pogodina A., Ayurova Zh., Berdina O. Risk factors for obesity in adolescents living in rural areas of buryatia: a case-control study. *International Journal of Biomedicine*. 2019; 9(2): 190–195. [https://doi.org/10.21103/Article9\(2\)\\_OA20](https://doi.org/10.21103/Article9(2)_OA20)
3. Рыбина И.Л., Ширковец Е.А., Нехвядович А.И. Лабораторные маркеры адаптации организма биатлонистов высокой квалификации к тренировочным нагрузкам. *Наука в олимпийском спорте*. 2017; (2): 28–33.
4. Kosovtseva A.S., Bairova T.A., Rychkova L.V. et al. Prognostic risk models for the development of cardiovascular dysfunction in adolescents with essential hypertension. *Bull. Exp. Biol. Med.* 2019; 166(4): 494–496. <https://doi.org/10.1007/s10517-019-04380-9>
5. Базарин К.П., Титова Н.М., Кузнецов С.А. Динамика показателей антиоксидантного статуса у спортсменов, членов команды по спортивному ориентированию. *Acta Biomedica Scientifica*. 2013; (5): 9–12.
6. Bogdanovskaya N.V., Kotsuruba A.V., Golubenko A.V. Induction of oxidative and nitrosative stress in boys in adapting to physical stress during training and competitive periods. *Fiziol. Zh.* 2016; 62(2): 47–56. <https://doi.org/10.15407/fz62.02.047>
7. Гунина Л.М. Окислительный стресс и адаптация: метаболические аспекты влияния физических нагрузок. *Наука в олимпийском спорте*. 2013;(4):19–25.
8. Ачкасов Е.Е., Безуглов Э.Н., Ярдешвили А.Э., Усманова Э.М., Бурова М.Ю., Карлицкий И.Н., Патрина Е.В. Влияние энергии синглетного кислорода на скорость восстановления после максимальной физической работы у футболистов юного возраста. *Лечебная физкультура и спортивная медицина*. 2012; (4): 24–28.

#### References

1. Gielen S., Schuler G.G., Adams V. Cardiovascular effects of exercise training molecular mechanisms. *Circulation*. 2010;122(12):1221–1238. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.939959>
2. Rychkova L., Pogodina A., Ayurova Zh., Berdina O. Risk factors for obesity in adolescents living in rural areas of buryatia: a case-control study. *International Journal of Biomedicine*. 2019; 9(2): 190–195. [https://doi.org/10.21103/Article9\(2\)\\_OA20](https://doi.org/10.21103/Article9(2)_OA20)
3. Rybina I.L., Shirkovets E.A., Nekhvyadovich A.I. Laboratory markers of the body's adaptation to training loads in highly qualified biathletes. *Science in Olympic sport*. 2017; (2): 28–33. (In Russ.)
4. Kosovtseva A.S., Bairova T.A., Rychkova L.V. et al. Prognostic risk models for the development of cardiovascular dysfunction in adolescents with essential hypertension. *Bull. Exp. Biol. Med.* 2019; 166(4): 494–496. <https://doi.org/10.1007/s10517-019-04380-9>
5. Bazarin K.P., Titova N.M., Kuznetsov S.A. Dynamics of antioxidant status indices in orienteering team members. *Acta Biomedica Scientifica*. 2013; (5): 9–12. (In Russ.).
6. Bogdanovskaya N.V., Kotsuruba A.V., Golubenko A.V. Induction of oxidative and nitrosative stress in boys in adapting to physical stress during training and competitive periods. *Fiziol. Zh.* 2016; 62(2): 47–56. <https://doi.org/10.15407/fz62.02.047>
7. Gunina L.M. Oxidative stress and adaptation: metabolic aspects of physical activity impact. *Science in Olympic sport*. 2013; (4):19–25. (In Russ.).
8. Achkasov E.E., Bezuglov E.N., Yardoshvili A.E., Usmanova E.M., Burova M.Yu., Karlitskiy I.N., Patrina E.V. The influence of energy of singlet oxygen on young football professional players' speed of recovery of performance after maximal physical load. *Lechebnaya fizkul'tura i sportivnaya meditsina = Exercise therapy and Sports Medicine*. 2012; (4): 24–28. (In Russ.).



9. Powers S.K., Ji L.L., Kavazis A.N., Jackson M.J. Reactive oxygen species: impact on skeletal muscle. *Compr. Physiol.* 2011; 1(2): 941–969. <https://doi.org/10.1002/cphy.c100054>
10. Neubauer O., Reichhold S., Nics L., et al. Antioxidant responses to an acute ultra-endurance exercise: impact on DNA stability and indications for an increased need for nutritive antioxidants in the early recovery phase. *Br. J. Nutr.* 2010; 104(8): 1129–1138. <https://doi.org/10.1017/S0007114510001856>
11. Рычкова Л.В., Погодина А.В., Аюрова Ж.Г., Климкина Ю.Н. Ожирение и связанное со здоровьем качество жизни в этнических группах подростков, проживающих в сельских районах республики Бурятия. *Бюллетень сибирской медицины.* 2018; 17(3): 105–114. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2018-3-105-114>
12. Kolesnikova L.I., Kurashova N.A., Bairova T.A., Dolgikh M.I., Ershova O.A., Natyaganova L.V., Koroleva N.V., Dashiev B.G., Gutnik I.N. Features of lipoperoxidation, antioxidant defense, and thiol/disulfide system in the pathogenesis of infertility in males, carriers of nonfunctional variants of GSTT1 and GSTM1 gene polymorphisms. *Bull. Exp. Biol. Med.* 2017; 163(3): 378–380. <https://doi.org/10.1007/s10517-017-3808-9>
13. Kolesnikova L.I., Darenskaya M.A., Grebenkina L.A., Osipova E.V., Dolgikh M.I., Semenova N.V. Adaptive-compensatory responses in the adolescents belonging to indigenous northern ethnic groups in Irkutsk oblast. *Human Physiology.* 2014; 40(2): 184–189. <https://doi.org/10.1134/S036211971402008X>
14. Охлопкова Е.Д., Яковлева А.И., Олесова Л.Д., Миронова Г.Е. Состояние перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты у спортсменов. *Якутский медицинский журнал.* 2009; 25(1): 30–32.
15. Колесов С.А., Рахманов Р.С., Блинова Т.В., Страхова Л.А., Чумаков Н.В., Пискарев Ю.Г. Особенности функционирования системы глутатиона при физических нагрузках и влияние на нее алиментарных факторов. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2017; 7(2): 39–45. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2017.2.39>
16. Finaud J., Scislawski V., Lac G., Durand D., Vidalin H., Robert A., Filaire E. Antioxidant Status and Oxidative Stress in Professional Rugby Players: Evolution Throughout a Season. *Int. J. Sports Med.* 2006; 27(2): 87–93. <https://doi.org/10.1055/s-2005-837489>
17. Курашова Н.А., Юрьева А.А., Долгих М.И., Гутник И.Н., Колесникова Л.И. Этнические особенности липидного профиля и процессов липопероксидации у спортсменов-борцов вольного стиля. *Человек. Спорт. Медицина.* 2019; 19(2): 37–44. <https://doi.org/10.14529/hsm190205>
18. Becatti M., Mannucci A., Barygina V., Mascherini G., Emmi G., Silvestri E., Wright D., Taddei N., Galanti G., Fiorillo C. Redox status alterations during the competitive season in elite soccer players: focus on peripheral leukocyte-derived ROS. *Intern. Emerg. Med.* 2017; 12(6): 777–788. <https://doi.org/10.1007/s11739-017-1653-5>
19. Concepcion-Huertas M., Chiroso L.J., De Haro T., Chiroso I.J., Romero V., Aguilar-Martinez D., et al. Germaine Changes in the redox status and inflammatory response in handball players during one-year of competition and training. *J. Sports Sci.* 2013; 31(11): 1197–1207. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.773404>
9. Powers S.K., Ji L.L., Kavazis A.N., Jackson M.J. Reactive oxygen species: impact on skeletal muscle. *Compr. Physiol.* 2011; 1(2): 941–969. <https://doi.org/10.1002/cphy.c100054>
10. Neubauer O., Reichhold S., Nics L., et al. Antioxidant responses to an acute ultra-endurance exercise: impact on DNA stability and indications for an increased need for nutritive antioxidants in the early recovery phase. *Br. J. Nutr.* 2010; 104(8): 1129–1138. <https://doi.org/10.1017/S0007114510001856>
11. Rychkova L.V., Pogodina A.V., Ayurova Zh.G., Klimkina J.N. Obesity and health-related quality of life in adolescents from ethnic groups of rural areas of Buryatia, Russia. *Bulletin of Siberian Medicine.* 2018; 17(3): 105–114. (In Russ.). <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2018-3-105-114>
12. Kolesnikova L.I., Kurashova N.A., Bairova T.A., Dolgikh M.I., Ershova O.A., Natyaganova L.V., Koroleva N.V., Dashiev B.G., Gutnik I.N. Features of lipoperoxidation, antioxidant defense, and thiol/disulfide system in the pathogenesis of infertility in males, carriers of nonfunctional variants of GSTT1 and GSTM1 gene polymorphisms. *Bull. Exp. Biol. Med.* 2017; 163(3): 378–380. <https://doi.org/10.1007/s10517-017-3808-9>
13. Kolesnikova L.I., Darenskaya M.A., Grebenkina L.A., Osipova E.V., Dolgikh M.I., Semenova N.V. Adaptive-compensatory responses in the adolescents belonging to indigenous northern ethnic groups in Irkutsk oblast. *Human Physiology.* 2014; 40(2): 184–189. <https://doi.org/10.1134/S036211971402008X>
14. Okhlopkova E.D., Jakovleva A.I., Olesova L.D., Mironova G.E. Condition of lipid peroxide oxidation and antioxidant protection in sportsmen. *Yakut medical journal.* 2009; 25(1): 30–32. (In Russ.).
15. Kolesov S.A., Rakhmanov R.S., Blinova T.V., Strakhova L.A., Chumakov N.V., Piskarev Y.G. Glutathione system during physical loads and alimentary factor impact on it. *Sports medicine: research and practice.* 2017; 7(2): 39–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2017.2.39>
16. Finaud J., Scislawski V., Lac G., Durand D., Vidalin H., Robert A., Filaire E. Antioxidant Status and Oxidative Stress in Professional Rugby Players: Evolution Throughout a Season. *Int. J. Sports Med.* 2006; 27(2): 87–93. <https://doi.org/10.1055/s-2005-837489>
17. Kurashova N.A., Yureva A.A., Dolgikh M.I., Gutnik I.N., Kolesnikova L.I. Ethnic features of lipid profile and lipid peroxidation in freestyle wrestlers. *Human. Sport. Medicine.* 2019; 19(2): 37–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm190205>
18. Becatti M., Mannucci A., Barygina V., Mascherini G., Emmi G., Silvestri E., Wright D., Taddei N., Galanti G., Fiorillo C. Redox status alterations during the competitive season in elite soccer players: focus on peripheral leukocyte-derived ROS. *Intern. Emerg. Med.* 2017; 12(6): 777–788. <https://doi.org/10.1007/s11739-017-1653-5>
19. Concepcion-Huertas M., Chiroso L.J., De Haro T., Chiroso I.J., Romero V., Aguilar-Martinez D., et al. Germaine Changes in the redox status and inflammatory response in handball players during one-year of competition and training. *J. Sports Sci.* 2013; 31(11): 1197–1207. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.773404>

**Информация об авторах:**

**Курашова Надежда Александровна\***, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории патофизиологии, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», Россия, 664003, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Тимирязева, д. 16 (nakurashova@yandex.ru)

**Юрьева Алена Александровна**, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Россия, 664003, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, д. 1 (yurevaalena89@gmail.com)

**Гутник Игорь Нэрисович**, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии и психофизиологии, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Россия, 664003, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, д. 1 (medbio@biof.isu.ru)

**Гребенкина Людмила Анатольевна**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории патофизиологии, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», Россия, 664003, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Тимирязева, д. 16 (greblud@mail.ru)

**Лабьгина Альбина Владимировна**, доктор медицинских наук, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», Россия, 664003, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Тимирязева, д. 16 (albinalab2212@mail.ru)

**Колесникова Любовь Ильинична**, академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», Россия, 664003, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Тимирязева, д. 16 (iphr@sbamsr.irk.ru)

**Information about the authors:**

**Nadezhda A. Kurashova\***, Dr. Sci. (Biology), leading researcher at the Laboratory of pathophysiology, Federal state public scientific institution «Scientific centre for family health and human reproduction problems», Russia, 664003, Irkutsk region, Irkutsk, st. Timiryazeva, 16 (nakurashova@yandex.ru)

**Alena A. Yurieva**, Irkutsk State University, Russia, 664003, Irkutsk region, Irkutsk, Karl Marx st., 1 (yurevaalena89@gmail.com)

**Igor N. Gutnik**, PhD, Professor, head of the Department of physiology and psychophysiology, Irkutsk State University, Russia, 664003, Irkutsk region, Irkutsk, Karl Marx st., 1 (medbio@biof.isu.ru)

**Lyudmila A. Grebenkina**, Dr. Sci. (Biology), leading researcher at the laboratory of pathophysiology, Federal state public scientific institution «Scientific centre for family health and human reproduction problems», Russia, 664003, Irkutsk region, Irkutsk, st. Timiryazeva, 16 (greblud@mail.ru)

**Albina V. Labygina**, Dr. Sci. (Medicine), Federal state public scientific institution «Scientific centre for family health and human reproduction problems», Russia, 664003, Irkutsk region, Irkutsk, st. Timiryazeva, 16 (albinalab2212@mail.ru)

**Lyubov I. Kolesnikova**, Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Medicine), Professor, scientific director of the Federal state public scientific institution «Scientific centre for family health and human reproduction problems», Russia, 664003, Irkutsk Region, Irkutsk, st. Timiryazeva, 16 (iphr@sbamsr.irk.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## Сравнение различных параметров «core stability» среди спортсменов элитного уровня

Р.И. Алиев

Азербайджанская государственная академия физической культуры и спорта, Баку, Азербайджан

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** сравнить результаты измерения показателей выносливости, силы, а также функциональных показателей мышц, отвечающих за обеспечение стабильности позвоночника («core stability»), полученных при тестировании членов национальных команд по различным видам спорта. **Материалы и методы:** в исследовании принял участие 71 спортсмен мужского пола. Исследуемые, представляющие дзюдо, бокс, велосипедный спорт и борьбу, в возрасте от 18 до 30 лет, после трехкратного пробного тестирования выполняли «Motor Control test» в статическом и динамическом режимах. **Результаты:** было обнаружено, что велосипедисты имеют самые высокие общие баллы как в статическом, так и в динамическом режимах тестирования, но результаты для различных пространственных параметров отличаются. Статистически значимые различия были выявлены при сравнении следующих показателей core stability: «Вперед (статический режим)», «Назад (динамический режим)», «Налево (статический режим)», «Вперед-налево (статический режим)», «Вперед-налево (динамический режим)», «Вперед-направо (динамический режим)», «Назад-налево (статический режим)», «Назад-налево (динамический режим)», «Назад-направо (динамический режим)». **Заключение:** велосипедный спорт предъявляет более высокие требования к «core stability» чем такие виды спорта, как бокс, борьба и дзюдо, но для получения более статистически мощных результатов необходимо проведение дальнейших исследований с участием больших выборок спортсменов.

**Ключевые слова:** баланс, стабилизаторы туловища, анатомия стабилизаторов туловища, стабильность туловища, «Biodex Balance System SD»

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Алиев Р.И. Сравнение различных параметров «core stability» среди спортсменов элитного уровня // Спортивная медицина: наука и практика. 2023;13(3):37–43. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.3>

Поступила в редакцию: 28.09.2023

Принята к публикации: 01.11.2023

Online first: 20.11.2023

Опубликована: 28.12.2023

\* Автор, ответственный за переписку

## Comparison of the “core stability” tests results among elite athletes

Rauf I. Aliev

Azerbaijan State Academy of Physical Culture and Sports, Baku, Azerbaijan

### ABSTRACT

**Objective:** to compare the results of endurance, strength and functional status of spine stabilisers muscles (core stability) obtained by testing national teams athletes of different sports. **Materials and methods:** 71 male athletes (judokas, boxers, cyclists and wrestlers) aged 18–25 years participated in this study. Athletes were asked to perform «Motor Control test» in static and dynamic mode and three trial attempts were given to be familiar with test. **Results:** cyclists were found to have the highest overall scores in both static and dynamic modes, but the results for different spatial parameters differ. Statistically significant differences were found when comparing the following core stability indicators: «Forward (static mode)», «Back (dynamic mode)», «Left (static mode)», «Forward-left (static mode)», «Forward-right (dynamic mode)», «Back-left (static mode)», «Back-left (dynamic mode)», «Back-right (dynamic mode)». **Conclusion.** The cycling requires more core stability than boxing, wrestling and judo, but further investigations and larger samples of athletes are needed.

**Keywords:** balance, core, core anatomy, core stability, «Biodex Balance System SD»

**Conflict of interests:** the author declares no conflict of interest.

**For citation:** Aliev R.I. Comparison of the “core stability” tests results among elite athletes // Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice). 2023;13(3):37–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.3>

Received: 28 September 2023  
Accepted: 01 November 2023  
Online first: 20 November 2023  
Published: 28 December 2023

\*Corresponding author

### 1. Введение

В дословном переводе с английского термин «core stability» переводится как «стабильность ядра» и относится к способности человека стабилизировать и контролировать положение и движения корпуса, что может быть особенно важным для лиц, профессионально занимающихся спортом. В настоящее время «core stability» является одной из тем, находящихся в стадии активного изучения многими спортивными врачами и реабилитологами [1]. В своем нынешнем виде тренировки для укрепления «core stability» были разработаны во время клинических исследований в 1990-х годах [2], и многие спортсмены часто включают некоторые аспекты укрепляющих «core» упражнений в свои программы подготовки с целью улучшения результатов, в первую очередь за счет вероятного позитивного влияния на травматизм. Поэтому именно вопрос о влиянии тренировок, воздействующих на «core stability», на спортивные результаты и уровень травматизма можно назвать одним из самых актуальных. Чтобы ответить на этот вопрос необходимо иметь точное представление о таких понятиях как «core strength» и «core stability» [3].

«Core strength» определяется как способность основных мышц генерировать и передавать силу, а «core stability» определяется как способность балансировать и контролировать пассивные и активные стабилизаторы пояснично-тазовой области, обеспечивая правильное положение туловища и бедер во время статических и динамических движений.

«Core stability» также можно рассматривать как поддержание контроля над «core» во время выполнения силовых упражнений или в ответ на любое нарушение осанки [3].

Согласно Hibbs и соавт., до сих пор разница между «core stability» и «core strength» точно не определена [4], что иногда приводит к тому, что эти понятия используются взаимозаменяемо. Однако эти два понятия все-таки отличаются, так как «core strength» является частью концепции «core stability» [1]. Некоторые другие исследователи, пытаясь объяснить разницу между «core stability» и «core strength», определяли первое из них как стабилизацию позвоночника мышцами «core» за счет силы, возникающей с использованием этих мышц и внутрибрюшного давления [5]. Помимо указанных выше понятий рядом автором используется термин «core endurance» — способность корпуса сохранять необходимое положение длительное время или его способность к выполнению множества повторений [6]. Хотя «core strength» может казаться более важными для улучшения показателей, связанных со спортивной

успешностью (например, вертикального прыжка, скорости, ловкости), именно «core endurance» более важна для профилактики травматизма и реабилитации [7].

Согласно наиболее распространенной классификации мышц «core», их можно разделить на две большие группы (локальные и глобальные), играющие важную роль для оптимального функционирования туловища, таза и бедер (табл. 1) [8].

В целом ряде исследований, в которых изучалась «core stability», был сформирован тезис о важности мышц брюшного пресса для оптимального функционирования спины. Еще более широкое распространение он получил благодаря таким популярным видам физической активности, как пилатес, йога, кроссфит и т.д. В основе этого тезиса находятся следующие постулаты:

- существует особая группа мышц, которая работает независимо от других мышц туловища;
- «слабые» мышцы живота предрасполагают к травмам спины;
- боль в спине можно уменьшить, укрепив мышцы живота или туловища;
- некоторые мышцы играют более важную роль в стабилизации позвоночника, особенно поперечная мышца живота;
- крепкий «core» предотвращает травмы;
- существует связь между «core stability» и болью в спине [9].

При этом необходимо отметить, что в научной литературе до сих пор нет единого мнения относительно определения «core» [1]. В некоторых публикациях определение «core» дается в соответствии с его функцией, в других же на основании анатомии и функции под ним определяется «core stability» [2]. Мышцы «core» состоят из мышц и связок поясничного отдела позвоночника, а также пассивных и активных структур таза и бедер. Мышцы «core» обеспечивают передачу энергии от нижних конечностей к верхним и наоборот, а также отвечают за стабилизацию позвоночника и таза [10]. По мнению некоторых исследователей, в состав мышц «core» входят не только мышцы туловища и таза, но и все мышцы между грудиной и коленным суставом. Необходимо отметить, что именно эти мышцы играют важную роль в поддержании осанки [11]. Жесткость и стабильность позвоночника обеспечивается сложным взаимодействием жестких структур вокруг позвоночника (средний рисунок) и жестких структур, составляющих стенку тела (правый рисунок, рис. 1) [7].

Упражнения на «core stability» — популярный метод, используемый для улучшения функционального состояния многими физически активными людьми, однако



Таблица 1

Мышцы «core» (Bergmark, 1989; Faries ve Greenwood, 2007)

Table 1

Core muscles (Bergmark, 1989; Faries ve Greenwood, 2007)

Мышцы «core»		
Локальные мышцы (стабилизирующая система)		Глобальные мышцы (двигательная система)
Основные	Второстепенные	
Поперечная мышца живота Многораздельная мышца	Внутренняя косая мышца Наружная косая мышца (медиальная часть) Квадратная мышца поясницы Диафрагма Мышцы тазового дна Подвздошно-реберная и длинная (поясничная часть)	Прямая мышца живота Наружная косая мышца (латеральная часть) Поясничная мышца Мышца, выпрямляющая позвоночник Подвздошно-реберная мышца (грудная часть)

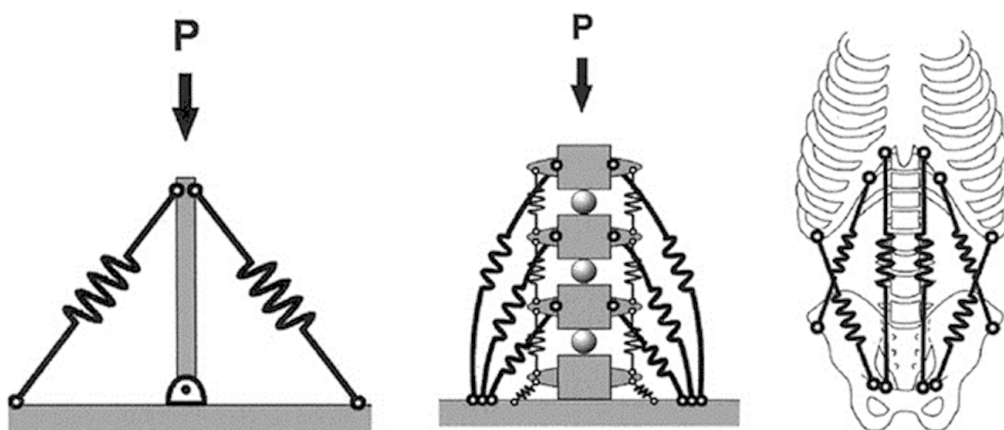


Рис. 1. Увеличение жесткости мышц повышает стабильность и облегчает поддержку за счет балансировки внешних нагрузок (P: нагрузка)  
 Fig. 1. Increasing muscle stiffness improves stability and facilitates support by balancing external loads (P: load)

мало что известно об их влиянии на спортивные результаты [3]. Важно отметить, что исследований, изучающих влияние упражнений для укрепления «core stability» на спортивные результаты, достаточно много, но их результаты весьма противоречивы. Это может быть связано как с различиями в используемых протоколах, так и с значительной разнородностью участников [11]. Но в то же время в целом ряде исследований подчеркивается важность силы «core» для спортсменов [12].

Учитывая сложность и многокомпонентный характер существующей концепции, использование корректных тестов при проведении исследования является критически важным условием.

До сих пор не существует «золотого стандарта» для измерения способности организма поддерживать равновесие, что очевидно влияет на возможность разработки валидных и релевантных тестов для его измерения. Это может быть связано и со сложностью концепции, и с наличием в ней нескольких компонентов, что приводит к неполной оценке функционирования мышц «core» наиболее часто используемыми для этой цели тестами. В настоящее время существует множество

тестов для функциональной оценки опорно-двигательного аппарата и выявления корреляций между этим показателем и работоспособностью и уровнем травматизма спортсменов.

Waldhelm в своей работе “Core Stability Assessment: Development of Practical models” предпринял попытку классифицировать разработанные тесты и разделил их на несколько групп в зависимости от параметра, который они измеряют [13].

При этом в последние десятилетия для оценки баланса начали использовать и различные аппаратные методы. Был разработан ряд устройств, использование которых позволило объективизировать оценку анализируемых параметров, среди которых можно отметить роботизированное устройство для реабилитации и сенсорной оценки нижних конечностей и туловища «Hunova», систему NeuroCom Smart Master и систему стабилизации Biodex.

Система стабилизации Biodex Balance System SD является устройством, разработанным для оценки нервно-мышечного контроля путем количественной оценки способности поддерживать динамическую двустороннюю

и одностороннюю стабильность позы на статичной или нестабильной поверхности. Надежность тестирований при использовании этой аппаратной методики была подтверждена в ходе сразу нескольких исследований [14]. Исследование Lindemann et al. указывает на то, что спортсмены могут улучшить равновесие, используя компьютерную тренировку равновесия, проводимую BBS и фокусирующуюся на двигательных навыках [14].

## 2. Материалы и методы

Участниками исследования стал 71 спортсмен мужского пола в возрасте от 18 до 30 лет ( $23,0 \pm 3,5$ ) — 32 дзюдоиста, 12 боксеров, 18 велосипедистов и 9 борцов. Все участники были членами национальных сборных команд и имели спортивные разряды от кандидата в мастера спорта до мастера спорта международного класса. Стаж регулярных занятий по тому или иному виду спорта был не менее пяти лет.

Все спортсмены после трех ознакомительных пробных попыток в статическом и динамическом режимах прошли «motor control test» с использованием системы стабилизации Biodex Balance System SD.

«Motor Control test» — это двухрежимный тест на устойчивость, выполняемый без поддержки верхних конечностей, в стабильном (статическом) или неустойчивом (динамическом) режимах.

Во время проведения теста пациенты контролируют свой центр тяжести в пределах опорной платформы. Они, не меняя положение ног и отклоняя тело, переносят свой вес для перемещения курсора с центральной мишени на мигающую мишень и обратно, как можно быстрее и с минимальным отклонением. Тот же процесс повторяется для каждой из целей, которые мигают на экране в случайном порядке. Можно группировать цели ближе друг к другу или распределять их дальше друг от друга в зависимости от сложности, а настройка платформы может быть статической или динамической.

Во втором варианте платформа может свободно переключаться в передне-задней и медиально-боковой осях одновременно.

Уровень сложности тестирования колеблется в диапазоне от одного (самый сложный уровень) до двенадцати (самый легкий уровень) баллов: чем выше было количество набранных при тестировании баллов, тем выше оценивалась способность участником контролировать баланс (рис. 2).

Во время проведения исследования использовался девятый уровень сложности, так как при ранее проведенном пилотном исследовании было продемонстрировано его безопасность.

Для статистической обработки данных использовалась компьютерная программа IBM SPSS 26.0 (США). Описательная статистика результатов исследования представлена средними арифметическими и стандартными отклонениями. Проверка нормальности распределения переменных в совокупности производилась при помощи критерия Шапиро — Уилкса. Для межгрупповых сравнений использовался параметрический критерий Стьюдента при наличии нормального распределения переменных. При несоответствии распределения нормальному характеру, использовался непараметрический критерий Манна — Уитни. Значение  $p < 0,05$  было принято в качестве уровня оценки статистической значимости различий.

## 3. Результаты

Результаты спортсменов были объединены в 2 группы — группу «велосипедистов» и группу «единоборцев». Сравнение проводилось путем получения средних значений по всем параметрам и сравнения их между группами (см. табл. 2).

Анализ результатов тестирования продемонстрировал статистически значимые различия между группами в большинстве параметров, полученных

Skill Level  
Time to Complete Test

Moderate  
69 secs

Direction Control	Actual	Goal
1. Overall	14	65
2. Forward	15	65
3. Backward	26	30
4. Left	22	65
5. Right	12	65
6. Forward/Left	16	65
7. Forward/Right	13	65
8. Backward/Left	19	65
9. Backward/Right	7	65

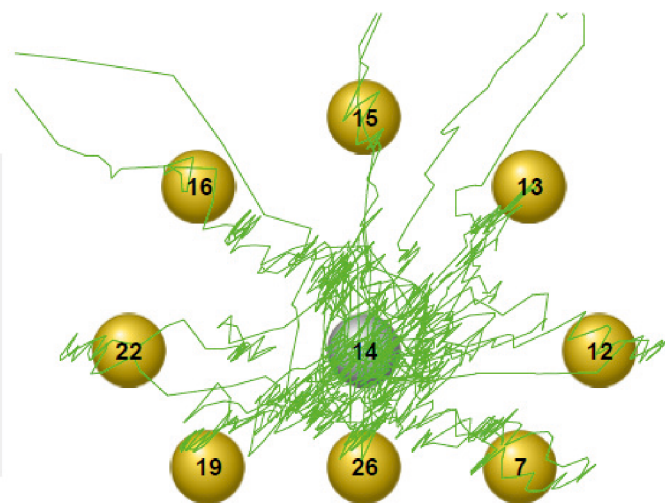


Рис. 2. Иллюстрация одного из заключений, выдаваемых аппаратом Biodex Balance System SD  
Fig. 2. Illustration of one of the conclusions issued by the device Biodex Balance System SD

**Сравнительная характеристика показателей баланса у спортсменов,  
профессионально занимающихся велоспортом и единоборствами (M ± SD)**

Table 2

**Comparative characteristics of balance indicators in athletes professionally involved in cycling  
and martial arts (M ± SD)**

Признак	Группы		p
	«велосипедисты» (n = 18)	«единоборцы» (n = 53)	
Общий балл в статическом режиме	58,4 ± 12,4	49,1 ± 12,6	<b>0,015</b>
Общий балл в динамическом режиме	12,9 ± 2,3	10,5 ± 2,6	0,001
Вперед (статический режим)	65,2 ± 16,2	54,2 ± 17,0	<b>0,014</b>
Вперед (динамический режим)	14,0 ± 3,1	12,6 ± 4,0	0,143
Назад (статический режим)	65,1 ± 19,1	58,9 ± 18,5	0,188
Назад (динамический режим)	16,1 ± 6,3	11,8 ± 4,6	<b>0,006</b>
Налево (статический режим)	70,2 ± 12,7	61,6 ± 13,1	0,029
Налево (динамический режим)	15,6 ± 5,6	12,5 ± 4,6	0,084
Направо (статический режим)	65,0 ± 15,0	60,2 ± 15,8	0,229
Направо (динамический режим)	15,9 ± 6,2	13,0 ± 4,6	0,159
Вперед-налево (статический режим)	61,3 ± 15,5	51,5 ± 15,4	<b>0,031</b>
Вперед-налево (динамический режим)	14,1 ± 2,5	12,2 ± 4,3	0,044
Вперед-направо (статический режим)	59,3 ± 13,5	52,1 ± 14,9	0,064
Вперед-направо (динамический режим)	14,1 ± 3,7	11,8 ± 3,1	<b>0,017</b>
Назад-налево (статический режим)	59,0 ± 14,1	48,3 ± 15,3	<b>0,017</b>
Назад-налево (динамический режим)	15,2 ± 4,6	11,2 ± 2,6	<b>0,001</b>
Назад-направо (статический режим)	58,6 ± 15,3	51,5 ± 14,2	0,092
Назад-направо (динамический режим)	13,5 ± 3,1	11,6 ± 3,0	<b>0,026</b>

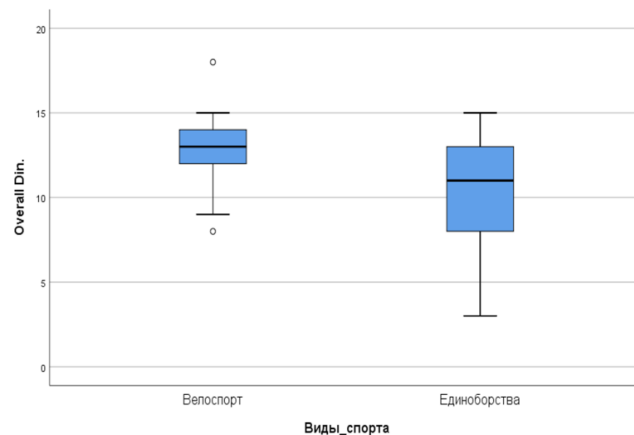
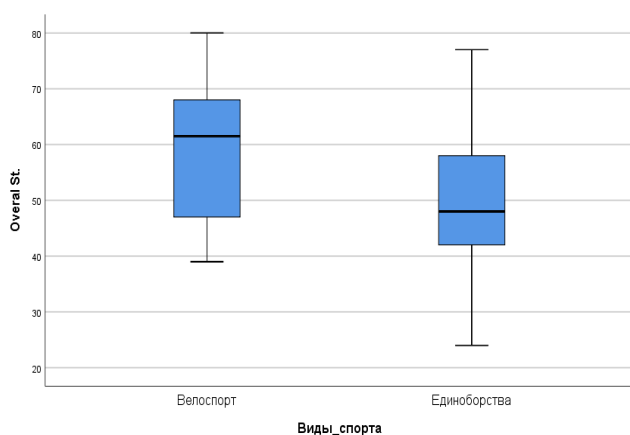


Рис. 3. Статистически значимые различия между медианными значениями общего балла «core stability» для статического и динамического режимов в группах велосипедистов и представителей единоборств

Fig. 3. Statistically significant differences between the median values of the total score "core stability" for static and dynamic modes in groups of cyclists and martial arts representatives

как в статическом, так и в динамическом режиме работы платформы.

Общий результат в статическом режиме для «велосипедистов» составил  $58,4 \pm 12,4$  балла, а для «единоборцев» —  $49,1 \pm 12,6$  балла ( $p = 0,015$ ). Общий результат в динамическом режиме для «велосипедистов» составил  $12,9 \pm 2,3$  балла, а для «единоборцев» —  $10,5 \pm 2,6$  балла ( $p = 0,001$ ).

( $p = 0,001$ ). На рисунке 3 показаны статистически значимые различия между медианными параметрами данных показателей.

Статистически значимые различия также были выявлены при сравнении таких параметров «core stability», как «вперед (статический режим)» —  $65,2 \pm 16,2$  и  $54,2 \pm 17,0$  балла соответственно ( $p = 0,014$ ),

«назад (динамический режим) —  $65,1 \pm 19,1$  и  $58,9 \pm 18,5$  балла соответственно ( $p = 0,006$ ), «налево (статический режим)» —  $70,2 \pm 12,7$  и  $61,6 \pm 13,1$  балла соответственно ( $p = 0,029$ ), «вперед-налево (статический режим)» —  $61,3 \pm 15,5$  и  $51,5 \pm 15,4$  балла соответственно ( $p = 0,031$ ), «вперед-налево (динамический режим)» —  $61,3 \pm 15,5$  и  $51,5 \pm 15,4$  балла соответственно ( $p = 0,044$ ), «вперед-направо (динамический режим)» —  $14,1 \pm 3,7$  и  $11,8 \pm 3,1$  балла соответственно ( $p = 0,017$ ), «назад-налево (статический режим)» —  $59,0 \pm 14,1$  и  $48,3 \pm 15,3$  балла соответственно ( $p = 0,017$ ), «назад-налево (динамический режим)» —  $15,2 \pm 4,6$  и  $11,2 \pm 2,6$  балла соответственно ( $p = 0,001$ ) и «назад-направо (динамический режим)» —  $13,5 \pm 3,1$  и  $11,6 \pm 3,0$  балла соответственно ( $p = 0,026$ ).

#### 4. Обсуждение

Для некоторых сравниваемых параметров распределение баллов между спортсменами двух групп не имело значимых различий, причина чего пока неясна. Можно предположить, например, что отсутствие статистически значимой разницы в параметрах «налево (динамический режим)» и «направо (динамический режим)» связано с тем, что при кручении колеса велосипеда проявляется гироскопический эффект, который стабилизирует его и стремится выровнять при воздействии внешних боковых сил. Соответственно боковые возмущения, которые возникают при езде в момент поворота, смены покрытия и т.д., в какой-то мере нивелируются, в отличие от единоборств, где активные действия спортсмена

#### Вклад автора:

Алиев Рауф Искандерович — сбор и обработка материала, написание текста статьи.

#### Список литературы / References

1. **Borghuis J., Hof A.L., Lemmink K.M.** The importance of sensory-motor control in providing core stability. *Sports Med.* 2008;38(11):893–916. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838110-00002>
2. **Clark D.R., Lambert M.I., Hunter A.M.** Contemporary perspectives of core stability training for dynamic athletic performance: a survey of athletes, coaches, sports science and sports medicine practitioners. *Sports Med.* 2018;4(1):32. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0150-3>
3. **Reed C.A., Ford K.R., Myer G.D., Hewett T.E.** The effects of isolated and integrated 'core stability' training on athletic performance measures. *Sports Med.* 2012;42(8):697–706. <https://doi.org/10.2165/11633450-000000000-00000>
4. **Hibbs A.E., Thompson K.G., French D., Wrigley A., Spear I.** Optimizing performance by improving core stability and core strength. *Sports Med.* 2008;38(12):9951008. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838120-00004>
5. **Faries M.D., Greenwood M.** Core training: stabilizing the confusion. *Strength and Conditioning Journal.* 2007;29(2):10–25. <https://doi.org/10.1519/00126548-200704000-00001>

сочетаются с действиями оппонента, который стремится вывести соперника из равновесия.

Основываясь на полученных результатах, мы можем предположить, что велоспорт предъявляет более высокие требования к развитию «core stability» по сравнению с дзюдо, боксом и борьбой. Неясно, какой фактор важнее — специфика вида спорта, заключающаяся в том, что приходится долгое время сохранять равновесие на узкой опорной площадке колес, меняя направление, скорость и покрытие, или тот факт, что у велосипедистов относительно более тяжелые ноги и соответственно более низкий центр тяжести, что, в свою очередь, облегчает удержание равновесия или какой-то другой фактор.

Ограничениями этого исследования являются небольшой размер выборки, неодинаковое количество тестируемых спортсменов из разных видов спорта, несоответствие уровня спортсменов с точки зрения спортивной успешности.

В будущем необходимо проведение исследований с участием большого количества высококвалифицированных спортсменов для изучения уровня «core stability» и его различиях для представителей разных видов спорта.

#### 5. Заключение

Результаты проведенного исследования продемонстрировали, что велосипедный спорт, вероятнее всего, предъявляет наиболее высокие требования к «core stability» по сравнению с такими единоборствами, как бокс, борьба и дзюдо. Изучение возможных причин должно быть проведено с участием больших выборок спортсменов.

#### Author contributions:

Rauf I. Aliev — collection and processing of material, article text writing.

6. **Saeterbakken A.H., Fimland M.S., Navarsete J.** Muscle activity and the association between core strength, core endurance and core stability. *Journal of Novel Physiotherapy and Physical Rehabilitation.* 2015;2(3):55–61. <https://doi.org/10.17352/2455-5487.000022>
7. **McGill S.M.** Low back stability: from formal description to issues for performance and rehabilitation. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2001;29(1):26–31. <https://doi.org/10.1097/00003677-200101000-00006>
8. **Bergmark A.** Stability of the lumbar spine: a study in mechanical engineering. *Acta Orthop. Scand. Suppl.* 1989;230:1–54. <https://doi.org/10.3109/17453678909154177>
9. **Lederman E.** The myth of core stability. *J. Bodyw. Mov. Ther.* 2010;14(1):84–98. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2009.08.001>
10. **Tse M.A., McManus M.A., Masters R.S.** Development and validation of a core endurance intervention program: implications for performance in college age rowers. *J. Strength Cond. Res.* 2005;19(3):547–552. <https://doi.org/10.1519/15424.1>
11. **Rasif H., Wang J.** Negative correlation between core muscle function and body composition in young people aged 18-30 years. *International Journal of Sport. Exercise and Health Research.* 2017;1(1):49–53. <https://doi.org/10.31254/SPORTMED.11010>



12. **Karakaş M.M.** 30-60 yaş arası sedanter bayanlarda aletli pilates hareketlerinin eklem hareket genişliğine ve bazı esneklik parametreleri üzerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü; 2017, p. 9–12 (In Turkish).

**Информация об авторе:**

**Алиев Рауф Искандерович**, спортивный врач, реабилитолог, докторант, учебно-исследовательская лаборатория кафедры спортивной медицины и реабилитологии, Азербайджанская государственная академия физической культуры и спорта, Азербайджан, AZ1110, Баку, проспект Фатали хана Хойского, 98 (arauf6021@gmail.com)

**Information about the author:**

**Rauf I. Aliev**, sports doctor, rehabilitator, PhD-doctoral student, Educational research laboratory of the department of sports medicine and rehabilitation Azerbaijan State Academy of Physical Culture and Sports, Azerbaijan, AZ1110, Baku, Fatali Khan Khoyski, 98 (arauf6021@gmail.com)

13. **Waldhelm A.** Assessment of core stability: developing practical models. LSU Doctoral Dissertations; 2011. [https://doi.org/10.31390/gradschool\\_dissertations.1568](https://doi.org/10.31390/gradschool_dissertations.1568)

14. **Lindemann U., Rupp K., Muche R., Nikolaus T., Becker C.** Improving balance by improving motor skills. Z. Gerontol. Geriatr. 2004;37(1):20–26. <https://doi.org/10.1007/s00391-004-0206-5>

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.7>

УДК: 796.8:612

Тип статьи: Обзор литератур / Article Review



## Практические рекомендации по безопасному снижению массы тела в спортивных единоборствах: обзор предметного поля

А.Г. Антонов<sup>1</sup>, П.Д. Рыбакова<sup>1\*</sup>, В.Д. Выборнов<sup>2</sup>, А.Б. Мирошников<sup>3</sup>, Р.А. Ханферьян<sup>4</sup>,  
М.М. Коростелева<sup>4, 5</sup>

<sup>1</sup> ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд»  
Департамента спорта города Москвы, Москва, Россия

<sup>2</sup> ГБУ ДО «Физкультурно-спортивное объединение «Юность Москвы»»  
Департамента спорта города Москвы, Москва, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК»», Москва, Россия

<sup>4</sup> ФГАУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия

<sup>5</sup> ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»,  
Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

Наличие весовых категорий в единоборствах требует от спортсмена постоянного поддержания и контроля массы тела, а в некоторых случаях — ее снижения. По этой причине среди единоборцев распространено использование форсированных методов снижения массы тела, которые зачастую являются нефизиологичными и могут отрицательно влиять на работоспособность, а также представлять опасность для здоровья. В связи с этим представляют практический интерес поиск, анализ и внедрение в практику физиологичных и безопасных методов снижения массы тела спортсменами-единоборцами перед участием в соревнованиях. Цель исследования — оценка безопасности и эффективности применения различных методик по снижению массы тела спортсменами-единоборцами, которые готовятся к участию в соревнованиях.

**Материалы и методы:** обзор проведен по методологии обзора предметного поля (Scoping review). Отбор статей производился в отечественных базах данных eLibrary и Российская государственная библиотека с помощью следующих ключевых слов: «методы снижения массы тела ИЛИ снижение массы тела» и «единоборства ИЛИ боевые виды спорта ИЛИ весогонка», а также в зарубежных базах данных ScienceDirect и PubMed с помощью следующих ключевых слов: «making weight OR weight loss» AND «combat sports», размещенных с глубиной поиска 15 лет.

**Результаты:** нами найдено 121 исследование, после первичного отбора исключено 3 дубликата, 118 исследований проверялись на соответствие критериям включения и всего 16 исследований было включено в обзор.

**Заключение:** снижение от 5 до 10% от массы тела менее чем за 7 дней до официального взвешивания может отрицательно влиять на параметры работоспособности и состояние функциональных систем организма. Наиболее безопасным является снижение до 5% от массы тела за 7 и более дней до официального взвешивания.

**Ключевые слова:** спортивные единоборства, снижение массы тела, «весогонка», образовательные программы

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

**Для цитирования:** Антонов А.Г., Рыбакова П.Д., Выборнов В.Д., Мирошников А.Б., Ханферьян Р.А., Коростелева М.М. Практические рекомендации по безопасному снижению массы тела в спортивных единоборствах. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2023;13(3):44–52. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.7>

Поступила в редакцию: 02.11.2022

Принята к публикации: 31.10.2023

Online first: 21.12.2023

Опубликована: 28.12.2023

\*Автор, ответственный за переписку

## Practical recommendations for safe reduction of body weight in combat sports: scoping review

Alexey G. Antonov<sup>1</sup>, Polina D. Rybakova<sup>1\*</sup>, Vasily D. Vybornov<sup>2</sup>, Alexander B. Miroshnikov<sup>3</sup>, Roman A. Khanferyan<sup>4</sup>, Margarita M. Korosteleva<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Moscow Innovative Sports Technology and National Teams Training Centre, Moscow Department of Sports, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Institution of Physical Culture and Sports Association «Junost' Moskvу» of the Department of Sports of the City of Moscow, Moscow, Russia,

<sup>3</sup> Russian University of Sports «GTsOLIFK», Moscow, Russia

<sup>4</sup> Russian Peoples' Friendship University, Moscow, Russia

<sup>5</sup> Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russia

### ABSTRACT

The presence of weight categories in martial arts requires an athlete to constantly maintain and control body weight and, in some cases, to reduce it. For this reason, it is common among martial artists to use forced methods of body weight reduction, which are often unphysiological and may have a negative impact on performance, as well as pose a danger to health. In this connection, it is of practical interest to search, analyse and introduce into practice physiological and safe methods of body weight reduction by athletes-athletes before participation in competitions. The aim of the study is to evaluate the safety and effectiveness of various methods of weight loss in athletes preparing to participate in competitions.

**Materials and methods:** the review was conducted according to the methodology of Scoping review. Articles were selected in the domestic databases eLibrary and Russian State Library, using the following keywords: «методы снижения массы тела ИЛИ снижение массы тела ИЛИ весогонка» И «единоборства ИЛИ боевые виды спорта», as well as in the foreign databases ScienceDirect and PubMed, using the following keywords: «making weight OR weight loss» AND «combat sports», placed in a search depth of 15 years.

**Results:** we found 121 studies, 3 duplicates were excluded after initial screening, 118 studies were screened for inclusion criteria, and a total of 16 studies were included in the review.

**Conclusion:** a reduction of 5 to 10 % of body weight less than 7 days before the official weigh-in may adversely affect performance parameters and the state of the body's functional systems. A reduction of up to 5 % of body weight 7 or more days before the official weigh-in is the safest.

**Keywords:** combat sports, weight loss, decision tree, educational programs

**Conflict of interest:** the authors declare that there is no conflict of interest.

**For citation:** Antonov A.G., Rybakova P.D., Vybornov V.D., Miroshnikov A.B., Khanferyan R.A., Korosteleva M.M. Practical recommendations for safe reduction of body weight in combat sports. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2023;13(3):44–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.7>

**Received:** 2 November 2022

**Accepted:** 31 October 2023

**Online first:** 21 December 2023

**Published:** 28 December 2023

\*Corresponding author

### 1. Введение

Многие спортсмены-единоборцы в своей подготовке используют так называемую «весогонку» — форсированное снижение массы тела (rapid weight loss (RWL)), основной целью которой является попадание в лимит весовой категории в момент взвешивания, который обычно происходит за 24–36 часов до участия в соревнованиях [1]. RWL распространена в борьбе, смешанных единоборствах, дзюдо, джиу-джитсу, каратэ, самбо, тхэквондо и боксе. Многие из используемых методов являются крайне агрессивными и нефизиологичными и могут приводить к развитию целого спектра неблагоприятных последствий для здоровья и работоспособности [2]. К сожалению, «весогонка» стала частью субкультуры этих видов спорта и считается

«нормальной» практикой. Согласно данным целого ряда исследований, до 90% спортсменов-единоборцев самого разного уровня прибегают к различным методам RWL [3, 4]. Однако RWL может быть небезопасна для здоровья и физической работоспособности спортсменов, а спектр связанных с ней побочных эффектов находится в весьма широком диапазоне: от головокружения, тошноты и быстрой утомляемости до смерти [5].

Наиболее часто используемыми методами RWL можно считать: уменьшение потребления жидкости, использование саун и герметичных костюмов, снижение потребления энергии или голодание в разные временные периоды до взвешивания, снижение потребления углеводов и жиров, что может приводить к развитию

синдрома относительного дефицита энергии [6, 7]. Применяются спортсменами и другие, более агрессивные нефизиологические методы, включая самоиндуцированную рвоту, использование жиросжигателей, слабительных и диуретических средств, что может вызывать развитие дегидратации, функциональных и органических поражений желудочно-кишечного тракта. Важно отметить, что некоторые из используемых средств, например диуретики, запрещены Всемирным антидопинговым агентством и являются частой причиной неблагоприятных результатов допинг-контроля [8].

В связи с этим представляет практический интерес поиск, анализ и внедрение в практику физиологических и безопасных методов снижения массы тела спортсменами-единоборцами перед участием в соревнованиях.

**Цель исследования** — оценка безопасности и эффективности применения различных методик по снижению массы тела спортсменами-единоборцами, которые готовятся к участию в соревнованиях.

## 2. Материалы и методы

**Протокол.** Исследование проходило на кафедре спортивной медицины РУС «ГЦОЛИФК», г. Москва. Из-за неоднородности данных исследовательской цели и многогранности обобщаемой информации, проведение систематического обзора и мета-анализа оказалось невозможным, поэтому была выбрана методология обзора предметного поля (Scoping review (ScR)). Исследование было проведено в соответствии с заявлением о предпочтительных отчетных показателях для обзоров предметного поля (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses for Scoping Reviews (PRISMA-ScR)) [9]. Протокол исследования был составлен до начала поиска и не менялся ни во время, ни после его окончания. Протокол исследования был зарегистрирован

в международной базе OSF: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/XFBDU>. До начала поиска было определено, что в обзор войдут оригинальные исследования, систематические обзоры, мета-анализы и описательные обзоры.

**Источники информации и стратегии поиска.** Поиск актуальных научных статей производился с глубиной поиска 15 лет. Отбор статей производился в отечественных базах данных eLibrary и Российская государственная библиотека (РГБ), с помощью следующих ключевых слов: «методы снижения массы тела ИЛИ снижение массы тела ИЛИ весогонка» и «единоборства ИЛИ боевые виды спорта», а также в зарубежных базах данных ScienceDirect и PubMed, с помощью следующих ключевых слов: «making weight OR weight loss» AND «combat sports». Из каждой публикации была взята информация: авторы, год публикации, дизайн исследования, количество участников, методика снижения массы тела, анализируемые параметры и полученные результаты.

**Критерии включения/исключения.** К рассмотрению принимались исследования, в которых оценивались: методики RWL и другие диетологические методики для снижения массы тела, и их влияние на маркеры работоспособности и состояния функциональных систем организма спортсменов-единоборцев. При этом исследование должно было проводиться непосредственно перед официальным взвешиванием, либо в исследовании были смоделированы эти условия. Были исключены рабочие документы, учебники, методические пособия, тезисы и материалы конференций.

**Скрининг и выбор исследования.** Первоначально два автора обзора (П. Д. Рыбакова и А. Г. Антонов) параллельно, независимо друг от друга проверяли заголовки статей, аннотации и, при необходимости, полные тексты из записей базы данных в соответствии с критериями включения. После они параллельно, независимо друг от друга извлекали намеченные статьи. Дубликаты и статьи, не соответствующие критериям, удалялись. Любые несоответствия разрешались путем консенсусного обсуждения, а любые разногласия разрешались другим рецензентом (А. Б. Мирошниковым).

## 3. Результаты

По результатам поиска нами найдено 121 исследование, после первичного отбора исключено 3 дубликата, 118 исследований проверялись на соответствие критериям включения и всего 16 исследований было включено в обзор. Блок-схема процесса отбора исследований PRISMA-ScR для обзора представлена на рисунке.

Анализ дизайна включенных исследований показал, что 4 исследования являлись систематическими обзорами и/или метаанализами, 2 — рандомизированными контролируемые исследованиями (РКИ), 1 — парным исследованием, 1 — обзорным исследованием, 5 — перекрестными исследованиями, 1 — случай-контролем и 3 — наблюдательными исследованиями. Резюме включенных исследований представлено в таблице.

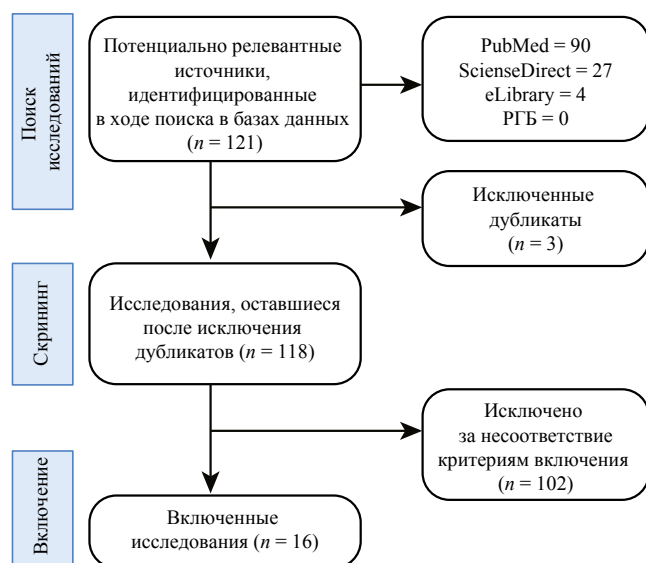


Рис. Блок-схема PRISMA-ScR  
Fig. PRISMA-ScR block diagram



Таблица

Резюме включенных в обзор исследований

Table

Summary of the studies included in the review

Автор, год (дизайн исследования)	Характеристика участников / характеристика включенных исследований	Методика снижения МТ	Анализируемые параметры	Результаты
Brechney и соавт., 2022 (СО и МА) [10]	Включено 17 исследований	Методики RWL или их комбинирование (снижение МТ на 1–7 %).	Тест на максимальную силу, пиковый крутящий момент, динамометрия, тест Вингейт, вертикальный прыжок, специальный фитнес тест по дзюдо, оценка выносливости в субмаксимальном тесте и/или максимальном тесте	Общая работоспособность, максимальная сила и повторные высокоинтенсивные нагрузки после RWL снижаются в небольшой или умеренной степени
Brechney и соавт., 2021 (ОИ) [11]	75 бойцов ММА (73 мужчины и 2 женщины)	Методики RWL или их комбинирование (за 7 дней до официального взвешивания)	Анализ соревновательных параметров: победы, поражения техническим нокаутом или нокаутом, поражения сабмишеном или поражения по решению судьи	Снижение МТ в большей степени коррелировало с поражением в поединке, а спортсмены, проигравшие свои поединки, снижали значительно большую величину МТ по сравнению с победителями (10,6 и 8,6 % соответственно). Не было различий между типами поражения
Seulan и соавт., 2022 (РКИ) [12]	18 высококвалифицированных дзюдоистов-мужчин	Снижение МТ за 48 часов на 5 %	Специальный фитнес-тест по дзюдо (с оценкой лактата крови и ЧСС), оценка уровня гидратации	RWL вызывала обезвоживание и нарушала восстановление сердечного ритма.
Da Silva и соавт., 2023 (парное исследование) [13]	9 тхэквондистов (7 мужчин и 2 женщины)	Интервальное голодание (12-часовой период питания с ограничением времени: начиная с ночи, с пропуском завтрака, чередующегося с периодами питания без ограничения) в течение 4 недель	Вертикальный прыжок, удар ногой, общее кол-во ударов ногами, многоповторный кик-тест, уровень глюкозы крови после тестов	Не наблюдалось статистически значимого снижения работоспособности
Lakicevic и соавт., 2021 (обзор) [14]	Включено 10 исследований (171 участник)	Методики RWL или их комбинирование	Оценка креатинина, азота мочевины в крови, удельного веса мочи в качестве маркеров повреждения почек	Повышение маркеров повреждения почек в результате прибегания к RWL
Lakicevic и соавт., 2020 (СО) [15]	Включено 14 исследований (1103 спортсмена-дзюдоиста)	Методики RWL или их комбинирование	Биомаркеры крови (ОХ, ТГ, ФЛ, СЖК, ЛПНП, ЛПВП, Апо, Апо-1). Силовые показатели верхних и нижних конечностей (вертикальный прыжок, динамометрия и пр.), скорость реакции, специальный фитнес-тест по дзюдо. Психологические параметры: гнев, напряжение, усталость, энергичность	Влияние RWL на силу и мощность показало неоднозначные результаты. Наблюдалась выраженная мобилизация СЖК. Значительно возросло чувство напряжения, гнева и усталости, снизилась энергичность

Таблица. Продолжение

Table. Continuation

Автор, год (дизайн исследования)	Характеристика участников / характеристика включенных исследований	Методика снижения МТ	Анализируемые параметры	Результаты
Martínez-Aranda и соавт., 2023 (СО) [16]	Включено 16 исследований (184 участника)	Методики RWL или их комбинирование	Тест на максимальную силу, пиковый крутящий момент, динамометрия, тест Вингейт, вертикальный прыжок, специальный фитнес тест по дзюдо, оценка выносливости в субмаксимальном тесте и/или максимальном тесте и пр. Психологические параметры. Биохимические параметры (КК, осмолярность мочи, лактат плазмы и пр.)	Стратегия RWL, предусматривающая потерю примерно 5% от МТ, не повлияла на параметры работоспособности. Однако в других исследованиях, при потере 3–6% от МТ или выше, сообщалось о негативных эффектах на работоспособность, психологические параметры и биохимические параметры
Maurício и соавт., 2022 (СО и МА) [17]	Включено 10 исследований	Методики RWL или их комбинирование	Тест на максимальную силу, пиковый крутящий момент, динамометрия, тест Вингейт, вертикальный прыжок, специальный фитнес тест по дзюдо, оценка выносливости в субмаксимальном тесте и/или максимальном тесте и пр.	Потеря до ≤ 5% МТ при использовании RWL менее чем за 7 дней, не влияет отрицательно на работоспособность
Murugappan и соавт., 2019 (случай-контроль) [18]	Боец ММА (мужчина)	Комбинирование методик RWL. Спортсмен снизил МТ на 5 кг за день до официального боя	Биохимические параметры крови (миоглобин, фибриноген, КК и пр.), КТ	У спортсмена определен рабдомиолиз, отек головного мозга, серповидно-клеточная анемия
Reale и соавт., 2018 (РКИ) [19]	Единоборцы-мужчины были разделены на контрольную ( $n = 10$ ) и водонагрузочную ( $n = 11$ ) группы	В дни 1–3 потребление жидкости составляло 40 и 100 мл/кг для контрольной группы и группы водной нагрузки соответственно, в день 4 обе группы потребляли 15 мл/кг, в дни 5 и 6 следовали одному и тому же протоколу регидратации	Удельный вес мочи, содержание мочевины и электролитов, почечные гормоны. Тесты на силовые способности и мощность (прыжковый тест, оценка изометрической силы и пр.)	Показатели мочевины и электролитов оставались в пределах референсных значений, а различий в физической работоспособности выявлено не было
Reljic и соавт., 2013 (ОИ) [20]	Высококвалифицированные боксеры-любители (17 участников мужского пола)	Методики RWL или их комбинирование — группа RWL ( $n = 10$ ) и контрольная группа ( $n = 7$ )	Оценка общего количества воды в организме, общей массы гемоглобина, объема крови и объема плазмы	Потеря примерно 6% от МТ в течение 5 дней вызывала гипогидратацию, что проявлялось по уменьшению количества воды в организме и объема плазмы
Reljic и соавт., 2015 (ОИ) [21]	Высококвалифицированные боксеры-любители (17 участников мужского пола)	Методики RWL или их комбинирование: спортсмены снижали 5,6% от МТ за 7 дней — группа RWL ( $n = 10$ ) и контрольная группа ( $n = 7$ )	Оценка витаминного статуса и уровня глутатиона плазмы	Уровень витаминов в крови и глутатиона в плазме существенно не различался

Таблица. Продолжение

Table. Continuation

Автор, год (дизайн исследования)	Характеристика участников / характеристика включенных исследований	Методика снижения МТ	Анализируемые параметры	Результаты
Roklicer и соавт., 2020 (перекрестное исследование) [22]	18 дзюдоистов мужского пола	Фаза только упражнений (4 дня) и фаза RWL (3 дня)	Миоглобин, КК, альдолаза, гемоглобин и значения гематокрита	В фазе только упражнений, существенных изменений не наблюдалось. Миоглобин, КК, и альдолаза достоверно повышались только во время фазы RWL, а также гемоглобин и значения гематокрита
Trivic и соавт., 2023 (перекрестное исследование) [23]	12 борцов мужского пола	Фаза высокоинтенсивных специальных тренировок в сочетании с RWL (3 дня) и фаза высокоинтенсивных специальных тренировок без RWL (3 дня)	Маркеры функции почек: азот мочевины крови, креатинин сыворотки, мочевую кислоту и сывороточный цистатин-С	В течение первой фазы по сравнению отмечено достоверное увеличение азота мочевины крови, мочевой кислоты и креатинина сыворотки крови. Уровни сывороточного цистатина-С были несколько повышены после обеих фаз
Uddin и соавт., 2022 (перекрестное исследование) [24]	132 единоборца (115 мужчин и 17 женщин)	Методики RWL или их комбинирование	Контрольный список симптомов модифицированного инструмента оценки спортивного сотрясения мозга	Между сотрясением мозга и симптомами RWL наблюдалась сильная связь. Большинство спортсменов (65%) сообщили, что по крайней мере один чемпионат мира в их карьере «шел не по плану», что привело к нехватке энергии (83%) и силы/мощности (70%)
Yang и соавт., 2018 (перекрестное исследование) [25]	5 тхэквондистов мужского пола	Методики RWL или их комбинирование (снижение МТ на 5% за 3½ дня)	Базальные показатели крови, деформируемость и агрегация эритроцитов, сывороточная глюкоза и фибриноген. ЧСС, потребление кислорода, пик лактата, разница лактата	Базальные показатели крови в ходе вмешательств оставались неизменными. Деформируемость эритроцитов была снижена, а агрегация увеличилась после RWL. Вмешательства не повлияли на уровень глюкозы и параметры работоспособности

Примечание: RWL — rapid weight loss (форсированное снижение массы тела), MMA — mixed martial arts (смешанные единоборства), МТ — масса тела, СО — систематический обзор, МА — метаанализ, ОИ — наблюдательное исследование, РКИ — рандомизированное контролируемое исследование, ЧСС — частота сердечных сокращений, ОХ — общий холестерин, ТГ — триглицериды, ФЛ — фосфолипиды, СЖК — свободные жирные кислоты, ЛПНП — липопротеины низкой плотности, ЛПВП — липопротеины высокой плотности, Апо — аполипротеины, Апо-1 — аполипротеины А1, КТ — компьютерная томография, КК — креатинкиназа.

Note: RWL — rapid weight loss, MMA — mixed martial arts, МТ — body weight, СО — systematic review, МА — meta-analysis, ОИ — observational study, РКИ — randomized controlled trial, ЧСС — heart rate, ОХ — total cholesterol, ТГ — triglycerides, ФЛ — phospholipids, СЖК — free fatty acids, ЛПНП — low-density lipoproteins, ЛПВП — high-density lipoproteins, Апо — alipoproteins, Апо-1 — A1 alipoproteins, КТ — computed tomography, КК — creatine kinase.

#### 4. Обсуждение результатов

В результате анализа литературы было выявлено, что использование спортсменами методик RWL со снижением массы тела от 5 до 10 % за 7 и менее дней до официального взвешивания приводило к снижению работоспособности, увеличению проигрышей во время схваток, увеличению психологического напряжения, увеличению гипогидратации, повышению риска получения сотрясения головного мозга, рабдомиолиза, отека головного мозга, а также к отрицательному влиянию на биохимические параметры [10–12, 14–16, 18, 20, 22–25]. Однако использование RWL со снижением массы тела до 5 % и более чем за 7 дней до взвешивания возможно без потери работоспособности и отрицательного влияния на физиологические параметры [11, 16, 17, 21, 25].

При использовании интервального голодания в качестве методики снижения массы тела в работе Da Silva и соавт., у тхэквондистов не снижалась работоспособность, в том числе специальная [13]. В РКИ Relae и соавторов было отмечено, что применение водной нагрузки (употребление жидкости в количестве 100 мл/кг в течение 3 дней, с последующим потреблением жидкости 15 мл/кг в течение 3 дней) позволяло снижать массу тела без ущерба работоспособности у представителей единоборств [19].

Консенсусное заявление Американского колледжа спортивной медицины поддерживает мысль о том, что спортсменам не следует снижать более 5 % от массы тела менее чем за 7 дней до взвешивания (рекомендовано снижать не более 1,5 % от массы тела в неделю), систематически проводить оценку состава тела спортсмена (минимальное содержание жира 7 % для мужчин и 12 % для женщин) и уровня гидратации, а также избегать ограничения калорийности рациона за счет снижения

в нем углеводов [26]. Также отметим, что с учетом состава тела необходимо понимать, какой минимальной массы тела может достигать спортсмен. Так, например, Tcheng и Tipton было разработано прогностическое уравнение, позволяющее определить минимально безопасную массу тела у борцов [27].

#### 5. Заключение и практические рекомендации

Наиболее часто использование RWL является совместным решением спортсменов и тренеров [28], поэтому одной из наиболее эффективных стратегий по снижению риска развития различных побочных эффектов является предоставление как тренерам, так и спортсменам корректной и полной информации о рисках, связанных с RWL, а также наиболее предпочтительных методах для постепенного снижения массы тела.

Наш обзор показал, что использование методик RWL с потерей от 5 до 10 % от массы тела менее чем за 7 дней до официального взвешивания может отрицательно влиять на параметры работоспособности и состояние функциональных систем организма, при этом высок риск получения спортсменом сотрясения мозга, анемии, отека головного мозга и т. д.

Наиболее безопасным является применение RWL с потерей до 5 % от массы тела за 7 и более дней до официального взвешивания. Также безопасными для здоровья и работоспособности могут быть методики интервального голодания и водной нагрузки. Необходим систематический контроль состава тела и качественного содержания рациона спортсмена, а также выбор адекватной весовой категории. Для улучшения нашего понимания воздействия RWL и других методик снижения массы тела на работоспособность и здоровье спортсмена требуется провести дополнительные исследования, включая РКИ и лонгитюдные обсервационные исследования.

#### Вклад авторов:

**Антонов Алексей Геннадьевич** — анализ литературных данных, написание и редактирование текста статьи;

**Рыбакова Полина Денисовна** — анализ литературных данных, написание и редактирование текста статьи;

**Мирошников Александр Борисович** — написание и редактирование текста статьи, утверждение финальной версии статьи;

**Выборнов Василий Дмитриевич** — написание и редактирование текста статьи, утверждение финальной версии статьи;

**Ханферьян Роман Авакович** — написание и редактирование текста статьи;

**Коростелева Маргарита Михайловна** — написание и редактирование текста статьи.

#### Author contributions:

**Alexey G. Antonov** — analysis of literary data, writing and editing of the text;

**Polina D. Rybakova** — analysis of literary data, writing and editing of the text;

**Alexander B. Miroshnikov** — writing and editing of the text., approving the final version of the article;

**Vasily D. Vybornov** — writing and editing of the text., approving the final version of the article;

**Roman A. Khanferyan** — writing and editing of the text;

**Margarita M. Korosteleva** — writing and editing of the text.



## Список литературы/ References

1. **Barley O.R., Chapman D.W., Abbiss C.R.** The current state of weight-cutting in combat sports. *Sports*. 2019;7(5):123. <https://doi.org/10.3390/sports7050123>
2. **Matthews J.J., Stanhope E.N., Godwin M.S., et al.** The magnitude of rapid weight loss and rapid weight gain in combat sport athletes preparing for competition: a systematic review. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2019; 29:441-452. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0165>.
3. **Franchini E., Brito C.J., Artioli G.G.** Weight loss in combat sports: Physiological, psychological and performance effects. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2012;9(1):52. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-9-52>
4. **Alderman B.L., Landers D.M., Carlson J., Scott J.R.** Factors related to rapid weight loss practices among international-style wrestlers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2004;36(2):249-252. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113668.03443.66>
5. **Colak A., Sahin I., Soylu Y., Koc M., Öcal T.** Weight loss methods and effects on the different combat sports athletes. *Progress in Nutrition*. 2020;22(1):119-124.
6. **Langan-Evans C., Graeme M.J.** Making Weight in Combat Sports. *Strength & Conditioning Journal*. 2011;33(6):25-39. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e318231bb64>
7. **Artioli G.G., Gualano B., Franchini E., Scagliusi F.B., Takesian M., Fuchs M., Lancha A.H. Jr.** Prevalence, magnitude, and methods of rapid weight loss among judo competitors. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2010;42(3):436-442. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ba8055>
8. **Filaire E., Rouveix M., Pannafieux C., Ferrand C.** Eating Attitudes, Perfectionism and Body-esteem of Elite Male Judoists and Cyclists. *J. Sports Sci. Med.* 2007;6(1):50-57.
9. **Tricco A.C., Lillie E., Zarin W., O'Brien K.K., Colquhoun H., Levac D., et al.** PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Ann. Intern. Med.* 2018;169(7):467-473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>
10. **Brechney G.C., Cannon J., Goodman S.P.** Effects of Weight Cutting on Exercise Performance in Combat Athletes: A Meta-Analysis. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2022;17(7):995-1010. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2021-0104>
11. **Brechney G.C., Chia E., Moreland A.T.** Weight-Cutting Implications for Competition Outcomes in Mixed Martial Arts Cage Fighting. *J. Strength Cond. Res.* 2021;35(12):3420-3424. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003368>
12. **Ceylan B., Aydos L., Šimenko J.** Effect of Rapid Weight Loss on Hydration Status and Performance in Elite Judo Athletes. *Biology (Basel)*. 2022;11(4):500. <https://doi.org/10.3390/biology11040500>
13. **da Silva R.A.D., Szmuchowski L.A., Rosa J.P.P., Santos M.A.P.D., de Mello M.T., Savoi L., Porto Y.F., de Assis Dias Martins Júnior F., Drummond M.D.M.** Intermittent Fasting Promotes Weight Loss without Decreasing Performance in Taekwondo. *Nutrients*. 2023;15(14):3131. <https://doi.org/10.3390/nu15143131>
14. **Lakicevic N., Paoli A., Roklicer R., Trivic T., Korovljev D., Ostojic S.M., et al.** Effects of Rapid Weight Loss on Kidney Function in Combat Sport Athletes. *Medicina (Kaunas)*. 2021;57(6):551. <https://doi.org/10.3390/medicina57060551>
15. **Lakicevic N., Roklicer R., Bianco A., Mani D., Paoli A., Trivic T., et al.** Effects of Rapid Weight Loss on Judo Athletes: A Systematic Review. *Nutrients*. 2020;12(5):1220. <https://doi.org/10.3390/nu12051220>
16. **Martínez-Aranda L.M., Sanz-Matesanz M., Orozco-Durán G., González-Fernández F.T., Rodríguez-García L., Guadalupe-Grau A.** Effects of Different Rapid Weight Loss Strategies and Percentages on Performance-Related Parameters in Combat Sports: An Updated Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2023;20(6):5158. <https://doi.org/10.3390/ijerph20065158>
17. **Mauricio C.A., Merino P., Merlo R., Vargas J.J.N., Chávez J.Á.R., Pérez D.V., et al.** Rapid Weight Loss of Up to Five Percent of the Body Mass in Less Than 7 Days Does Not Affect Physical Performance in Official Olympic Combat Athletes With Weight Classes: A Systematic Review With Meta-Analysis. *Front. Physiol.* 2022;13:830229. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.830229>
18. **Murugappan K.R., Cocchi M.N., Bose S., Neves S.E., Cook C.H., Sarge T., Shaefi S., Leibowitz A.** Case Study: Fatal Exertional Rhabdomyolysis Possibly Related to Drastic Weight Cutting. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2019;29(1):68-71. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0087>
19. **Reale R., Slater G., Cox G.R., Dunican I.C., Burke L.M.** The Effect of Water Loading on Acute Weight Loss Following Fluid Restriction in Combat Sports Athletes. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2018;28(6):565-573. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0183>
20. **Reljic D., Hässler E., Jost J., Friedmann-Bette B.** Rapid weight loss and the body fluid balance and hemoglobin mass of elite amateur boxers. *J. Athl. Train.* 2013;48(1):109-117. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-48.1.05>
21. **Reljic D., Jost J., Dickau K., Kinscherf R., Bonaterra G., Friedmann-Bette B.** Effects of pre-competitive rapid weight loss on nutrition, vitamin status and oxidative stress in elite boxers. *J. Sports Sci.* 2015;33(5):437-448. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.949825>
22. **Roklicer R., Lakicevic N., Stajer V., Trivic T., Bianco A., Mani D., 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>
23. **Trivic T., Roklicer R., Zenic N., Modric T., Milovancev A., Lukic-Sarkanovic M., et al.** Rapid weight loss can increase the risk of acute kidney injury in wrestlers. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* 2023;9(2):e001617. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2023-001617>
24. **Uddin N., Waldron M., Patterson S.D., Winter S., Tallent J.** A Survey of Combat Athletes' Rapid Weight Loss Practices and Evaluation of the Relationship With Concussion Symptom Recall. *Clin. J. Sport Med.* 2022;32(6):580-587. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000001032>
25. **Yang W.H., Heine O., Grau M.** Rapid weight reduction does not impair athletic performance of Taekwondo athletes — A pilot study. *PLoS One*. 2018;13(4):e0196568. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196568>
26. **Burke L. M., Slater J., Matthews J., Langan-Evans C., Horswill A.** ACSM Expert Consensus Statement on Weight Loss in Weight-Category Sports. *Current Sports Medicine Reports*. 2021;20(4):199-217. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000831>
27. **Oppliger R.A., Tipton C.M.** Iowa wrestling study: cross-validation of the Tchong-Tipton minimal weight prediction formulas for high school wrestlers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1988;20(3):310-316. <https://doi.org/10.1249/00005768-198806000-00016>
28. **Steen S.N., Brownell K.D.** Patterns of weight loss and regain in wrestlers: Has the tradition changed? *Med. Sci. Sports Exerc.* 1990;22(6):762-768. <https://doi.org/10.1249/00005768-199012000-00005>

#### Информация об авторах:

**Антонов Алексей Геннадьевич**, аналитик отдела спортивной нутрициологии ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта города Москвы, Россия, 129272, Москва, Советской армии ул., 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3409-4485> ([alexantonovk@gmail.com](mailto:alexantonovk@gmail.com))

**Рыбакова Полина Денисовна\***, аналитик отдела спортивной нутрициологии ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта города Москвы, Россия, 129272, Москва, Советской армии ул., 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1165-6518> (+7 (977) 793 81 31; [rybakova.poly@yandex.ru](mailto:rybakova.poly@yandex.ru))

**Выборнов Василий Дмитриевич**, к.б.н., директор ГБУ ДО «Физкультурно-спортивное объединение «Юность Москвы»» Департамента спорта города Москвы, Россия, 107023, Москва, Барабанный пер. 4/4. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9522-8328> ([v.vybornov84@gmail.com](mailto:v.vybornov84@gmail.com))

**Мирошников Александр Борисович**, д.б.н., доцент, профессор кафедры спортивной медицины, декан факультета адаптивной физической культуры, рекреации и туризма ФГБОУ ВО «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК»», Россия, 105122, Москва, Сиреневый бульвар, 4. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4030-0302> ([benedikt116@mail.ru](mailto:benedikt116@mail.ru))

**Ханферьян Роман Авакович**, профессор кафедры иммунологии и аллергологии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», 117198, Россия, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. ORCID: <https://orcid.org/00000003-1178-7534> ([khanferyan\\_roman@yahoo.com](mailto:khanferyan_roman@yahoo.com))

**Коростелева Маргарита Михайловна**, с.н.с. лаборатории антропонутициологии и спортивного питания ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Россия, г. Москва, Устьинский проезд, 2/14; доцент кафедры управления сестринской деятельностью ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1178-7534> ([korostel@bk.ru](mailto:korostel@bk.ru))

#### Information about the authors:

**Alexey G. Antonov**, Sports Nutrition Analyst “Centre for Sports Innovative Technologies and National Teams Training” of the Moscow City Sports Department (Moscomsport), Moscow, Russia, 129272, Moscow, Soviet Army st., 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3409-4485> ([alexantonovk@gmail.com](mailto:alexantonovk@gmail.com))

**Polina D. Rybakova\***, Sports Nutrition Analyst “Centre for Sports Innovative Technologies and National Teams Training” of the Moscow City Sports Department (Moscomsport), Moscow, Russia, 129272, Moscow, Soviet Army st., 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1165-6518> (+7 (977) 793 81 31; [rybakova.poly@yandex.ru](mailto:rybakova.poly@yandex.ru)).

**Vasiliy D. Vybornov**, Ph.D. (Biol.), Director of the State Budgetary Educational Institution of Physical Culture and Sports Association “Junost’ Moscow” of the Department of Sports of the City of Moscow, Russia, 107023, Moscow, Barabanny per. 4/4. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9522-8328> ([v.vybornov84@gmail.com](mailto:v.vybornov84@gmail.com))

**Alexander B. Miroshnikov**, Dr. Sci. (Biol.), Associate Professor, professor of the Dept of Sports Medicine, dean of the Faculty of Adaptive Physical Culture, Recreation and Tourism, Russia, 105122, Moscow, Sirenevy Boulevard, 4. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4030-0302> ([benedikt116@mail.ru](mailto:benedikt116@mail.ru))

**Roman A. Khanferyan**, Professor of the Department of Immunology and Allergology, Russian Peoples’ Friendship University, 117198, Russia, Moscow, st. Miklouho-Maclay, 6. ORCID: <https://orcid.org/0000000311787534> ([khanferyan\\_roman@yahoo.com](mailto:khanferyan_roman@yahoo.com))

**Margarita M. Korosteleva**, senior researcher laboratory of anthroponutrition and sports nutrition of the Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Russia, Moscow, Ustinsky proezd, 2/14; Associate Professor of the Department of Nursing Activities Management, Russian Peoples’ Friendship University, 117198, Russia, Moscow, st. Miklouho-Maclay, 6. ORCID: <https://orcid.org/0000000311787534> ([korostel@bk.ru](mailto:korostel@bk.ru))

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## Jump-to-Box exercise has an increasing effect on jumping ability in adolescents

Hendrik Padang<sup>1,\*</sup>, Yonathan Ramba<sup>1</sup>, Arpandjam'an<sup>1</sup>, Gaurav Kapoor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Health Polytechnic of Makassar, Makassar, Indonesia

<sup>2</sup>Lovely Professional University, Phagwara, Punjab, India

### ABSTRACT

**Aim:** To determine the most effective dose of the box jump exercise for increasing explosive leg muscle strength in adolescents, as measured by vertical jump height.

**Methods:** This study is a field experimental study using a randomized control group pretest-posttest design by providing different doses of jump-to-box exercise. The experiment was conducted on Buqatun Mubarakah Junior High School students in Makassar, Indonesia, on February 16 to August 16, 2022 and obtained a total sample size of 60 male subjects aged 15-16 years. The participants were randomly divided into four experimental groups, each consisting of 15 people who were given jump-to-box exercises with different doses.

**Results:** The results of the ANOVA test analysis showed that training with a loading dose of 24 cm and 5 minutes duration had a significant effect on increasing leg muscle explosive power with a p-value = 0.005. The other three groups did not show statistically significant improvements in jump height.

**Conclusion:** The jump-to-box exercise with the box height of 24 cm and training duration of 5 minutes resulted in the highest average vertical jumping ability compared to other dose groups. This exercise protocol has an optimal effect on vertical jumping ability and limb explosive power in adolescents compared to other protocols.

**Keywords:** exercise, box jumping, muscle explosive power, adolescents

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

**Funding:** This research was funded by the Makassar Health Polytechnic.

**For citation:** Padang H., Ramba Y., Arpandjam'an, Kapoor G. Jump-to-Box exercise has an increasing effect on jumping ability in adolescents. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2023;13(3):53-57. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.8>

**Received:** 13 August 2023

**Accepted:** 28 November 2023

**Online first:** 21 December 2023

**Published:** 28 December 2023

\*Corresponding author

## Упражнение «Прыжок на ящик» увеличивает высоту прыжка у подростков

Хендрик Паданг<sup>1,\*</sup>, Йонатан Рамба<sup>1</sup>, Арпанджаман<sup>1</sup>, Гаурав Капур<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Политехнический институт здоровья, Макаassar, Индонезия

<sup>2</sup> Профессиональный университет Лавли, Пенджаб, Индия

### АННОТАЦИЯ.

**Цель:** определить наиболее эффективную дозу упражнения «прыжок на ящик» для увеличения взрывной силы мышц ног у подростков, измеряемая высотой вертикального прыжка.

**Материалы и методы.** Данное исследование представляет собой полевое экспериментальное исследование с использованием рандомизированной контрольной группы по схеме «претест — посттест» путем предоставления различных доз упражнения «прыжок на ящик». Исследование проводился на учащихся средней школы Букадум Мубарака в Макассаре, Индонезия, с 16 февраля по 16 августа 2022 года. Выборка включала 60 подростков мужского пола возраста 15–16 лет. Участники были случайным образом разделены на четыре экспериментальные группы, каждая из которых состояла из 15 человек, получавших упражнения по прыжкам в воду с разной дозировкой.

Результаты анализа теста ANOVA показывают, что тренировка с нагрузочной дозой 24 см и продолжительностью 5 минут оказывает существенное влияние на увеличение взрывной силы мышц ног со значением  $p = 0,005$ . Три другие группы не показали статистически зна-

чимых улучшений в высоте прыжка. Выводы. Таким образом, можно сделать вывод, что умеренная доза упражнений по прыжкам на ящик влияет на увеличение взрывной силы мышц конечностей подростков.

**Ключевые слова:** упражнения; прыжки на ящик; взрывная сила мышц; подростки

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

**Финансирование:** исследование финансировалось Макаassarским политехническим институтом здоровья.

**Для цитирования:** Padang H., Ramba Y., Arpandjam'an, Karoor G. Упражнение «Прыжок на ящик» увеличивает высоту прыжка у подростков. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2023;13(3):53–57. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.8>

**Поступила в редакцию:** 13.08.2023

**Принята к публикации:** 28.11.2023

**Online first:** 21.12.2023

**Опубликована:** 28.12.2023

\* Автор, ответственный за переписку

## 1. Introduction

School-age is one of the phases of living that will determine the quality of life and future achievements of the nation. Therefore, school-age children need to be prepared in conditions of maximum physical capacity and functional abilities, in order to have maximum abilities, including physical activities such as jumping. There is a difference in activity between students in villages and children in urban areas, where urban children generally do less physical activity due to a lifestyle that is influenced by technological advances. Moreover, with the Covid-19 pandemic that requires lockdown, and the community, especially school children, must quarantine at home and carry out independent isolation, causing decrease of physical activity [1]. Therefore, this study is intended to improve physical activity abilities, especially jumping activities. Jumping activity in school can be improved so that children can use their limbs optimally in their activities. This is important because the feet are the center of human movement activities, such as kicking, walking, running, and jumping. Jumping requires the ability to generate leg muscle explosive power as an important factor in many activities, especially activities that involve changing of direction, acceleration, jumping, and running [2]. The lack of children's ability to master jumping motor skills will contribute less to success in sports and other physical activities as a basis for obtaining achievements in competition. This condition can be obtained through exercises, that cause adaptation of several physical elements, both to the muscular system directly, and to other elements of physical condition as a result of adjustments to the neuromuscular system [3].

Mastery of basic movement skills such as running and jumping in children correlates with several health benefits such as higher levels of physical activity, cardiorespiratory fitness, perceived scholastic and athletic competence, and lower levels of overweight [4]. Socio-economic changes bring less active lifestyle activities, causing a decrease in children's fitness [1].

Aerobic training prior to muscle strengthening exercises has an effect on improving jumping performance and muscle flexibility. Gradual weight training with a focus on technique is a great way to improve strength, and speed. However, it is necessary to pay attention to the volume and intensity of exercise to match the ability and recovery of the neuromuscular

system [5]. The characteristics that accompany physical fitness in squash consist of aerobic capacity, anaerobic power, strength, speed, flexibility, balance and coordination. Increased physical fitness will support the achievement of speed and muscle strength in training [6]. This is in line with the results of research on the dose-response relationship of resistance training that maximizes the improvement of physical performance in young athletes [7]. Similarly, research on the effect of jump-to-box and front-box jump training on explosive power and speed and the effect of depth jump training on explosive power and speed as well as differences in the effects of several types of training [8]. All the training techniques described above do not show how much load and length of training is needed to improve children's jumping ability due to increased leg muscle explosive power. The above studies also analyzed the effect of resistance training on improving muscle strength and jumping performance, where gender and resistance training were moderating factors. Thus the exercise only designs the type of resistance training by determining repetition and intensity. Therefore, this study aims to analyze the effective dose (training duration and amount of load) of jump-to-box training to improve jumping ability due to increased leg muscle explosive power, which according to researchers these variables have never been done in research.

Because dosage is a very important indicator in designing exercises to influence the increase in muscle explosive power, this research needs to be carried out as an effort to overcome the problem of children's jumping ability due to increased leg muscle explosive power.

## 2. Method

This research was conducted at Buqa'tum Mubarakah Junior High School (SMP) Makassar Indonesia on February 16 to August 16, 2022. This research is a field experiment using a randomized control group pretest-posttest design. The study population was Buqa'tum Mubarakah Junior High School students in Makassar, Indonesia who met the inclusion criteria, namely age 15–16 years, male gender, body weight 35–55 kg, height 145–155 cm, horizontal jumping ability 215–260 cm. General basic functional examination of participants included passive motion, active motion and isometric test of leg muscle endurance in order to exclude disorders of the neuromuscular



system. The sample was obtained using the Lemesow formula so that a sample size of 60 subjects was obtained. Samples were taken using simple random sampling technique. The participants were randomly divided into four experimental groups, each consisting of 15 people who were given jump-to-box exercises with different doses. The subject's vertical jumping ability was measured first before being given treatment as a pretest value. Then a random allocation was made which was divided into four experimental groups, where the first group jumped on a box that was 12 cm high for 3 minutes, the second group jumped on a box that was 12 cm high for 5 minutes, the third group jumped on a box that was 24 cm high for 5 minutes, and the fourth group did the exercise on a box that was 24 cm high for 3 minutes. The exercises were given three times a week for eight weeks to all experimental groups. Measurement of jumping ability was carried out 48 hours after the last workout to determine the subject's vertical jumping ability after intervention as a post-test value. Similarly to the pretest, measurements for the posttest were taken with the subject jumping vertically 3 times, then the size of the highest jump measured in in centimetres was taken. The data obtained was first analyzed for normality using the Kolmogorov Smirnov test. Because the data was normal, the data analysis used ANOVA statistical test to determine the most effective training dose that affects vertical jumping ability. An informed consent was obtained from all individual participants included in the study. The study was performed in accordance with the Declaration of Helsinki. This research has received approval from the Makassar Health Polytechnic Health Research Ethics Commission number 0547/KEPK-PTKMS/VII/2021.

### 3. Results

The research sample was boys aged 15–16 years with 60 subjects. There were 4 (four) levels of load and exercise duration factors, namely B1D1 (Box 1 Duration 1) = 12 cm load, 3 minutes exercise time, B1D2 = 12 cm load for 5 minutes exercise, B2D1 = 24 cm load for 3 minutes exercise, and B2D2 = 24 cm load for 5 minutes exercise. The amount of research

data was 15 students per group or dose where each student measured 2 (two) vertical jumps as pretest and posttest.

To determine the dose of exercise that affects the child's vertical jumping ability, measurements were made on the ability to jump before and after being given jump-to-box training in each dose group.

The results of descriptive analysis showed that the mean posttest result of group 1 (B1D1) was 237.68 with a standard deviation of 9.591 cm. The mean jump height of group 2 was 239.97 with a standard deviation of 15.167 cm, group 3 obtained a mean of 237.83 with a standard deviation of 13.473 cm. Group 4 with the mean of 244.73 and a standard deviation of 7.674 cm showed highest jump height increase compared to the average jump of other groups.

The results of statistical analysis using ANOVA showed a dose of 12 cm and a 3 minutes duration of exercise, a dose of 12 cm and a 5 minutes duration of exercise, and a dose of 24 cm and a 3 minutes duration of exercise showed that there were no significant changes in the average vertical jump ability before and after training period. ( $p > 0.05$ ), meaning that jump-to-box training with such volume did not provide a significant effect on increasing the explosive power of the lower extremities muscles among adolescents. However, jump-to-box training with a dose of 24 cm and a 5 minutes training duration showed a significant increase in the average vertical jumping ability after training period ( $p < 0.05$ ), meaning that the ability of jump-to-box training with a training dose of 24 cm 5 minutes provides an optimal effect on vertical jumping ability as an indicator of increasing the explosive power of adolescent leg muscles.

### 4. Discussion

In this study, the researchers analyzed the effect of training duration and the amount of load given to assess the impact of jumping exercises on the increase in explosive power of leg muscles.

The participants in this study were adolescent boys aged 15–16 years. Males were used in this study to prevent sexual

Table 1

#### Influence of different Jump-to-Box exercise protocols on Jumping Ability

Таблица 1

#### Влияние различных протоколов упражнений «Прыжок на ящик» на прыгучесть

Dose	Jumping Ability				p
	Pretest		Posttest		
	Mean (cm)	SD (cm)	Mean (cm)	SD (cm)	
The load is 12 cm and the training time is 3 minutes	232.700	30.647	237.68	9,591	0.066
The load is 12 cm and the training time is 5 minutes	232.989	25.675	239.97	15.167	0.063
24 cm load and 3 minutes training time	232,462	22.414	237.83	13.473	0.064
24 cm load and 5 minutes training time	231.800	31.769	244.73	7.674	0.005

differences in physical activity ability. Similarly, age was in the same range, so that gender and age factors could be controlled as a combined variable. In addition, the age of 15–16 years is the age maturation and growth [9, 10]. This sample is expected to have the same results with the same intervention. Therefore, it is the differences in exercise dosage that will result in differences in jumping ability. The same muscle maturation will result in the same increase in strength. [11]. In addition to the same age and muscle maturity factors, the desired muscle strength during exercise is also influenced by fatigue and environmental factors. High-intensity training such as resistance training is one form of exercise that can increase muscle strength due to increased muscle explosive power [12, 13].

The results of the paired t test analysis showed that jump-to-box training with a dose of 24 cm and 5 minutes training duration had the maximum effect on jumping ability as an indicator of additional explosive power of adolescent leg muscles. This can occur because jump-to-box training in any dosage will cause the leg muscles to work continuously with shortening or lengthening types of contractions. [8]. A workout can only be maximal if the muscles are maximally contracted, meaning that a greater load with sufficient training time will engage more muscle fibres to activate the muscle spindle. This process occurs because jump-to-box training is an exercise that provides a load or resistance caused by increased motor unit function [13]. The addition of muscle explosive power is also strongly influenced by the shape of muscle fibers, both white and red fibers, which will affect the ability of a muscle to withstand resistance or load in a movement [14]. In addition, this exercise also relies on neurological reflexes and elasticity of the tendon-muscle component resulting in increased muscle explosive power [15, 16]. Neuromuscular abilities will produce, reduce, or control force during functional activities and muscle strength increase during training is greatly influenced by neural adaptation and muscle size [14]. However, muscle strength is also influenced by power and endurance. Strength is influenced by force, distance, and time, where

#### Author contributions:

**Hendrik Padang** — conceptualization and design, data collecting, writing the first draft of the manuscript;

**Yonathan Ramba** — conceptualization and design, editing of the text;

**Arpandjam'an** — conceptualization and design, editing of the text;

**Gaurav Kapoor** — conceptualization and design, statistical analysis, editing of the text.

the jump to box exercise in this study is designed where the subject provides a force in the form of jumping from the floor to the top of the box with different distances and training times. The maximum muscle strength obtained is in the group of subjects who perform given exercise with great strength and higher distances and loads. Therefore, the greater the load and the longer the training time given to a muscle, the greater the volume received, so that the ability of the muscles to function will be higher than muscle training with lower loads and duration. This can occur because exercise with a greater load and duration of exercise cause the neuromuscular system to work more optimally. Muscle fibers, especially those with high prevalence of type II fibers, will experience hypertrophy, this also occur due to protein synthesis in the muscles as a result of mechanical effects [17]. Exercising regularly at the same dose for 6-8 weeks will get optimal results. [18]. In addition to the load, endurance, and muscle strength are the factors that can determine the increase in muscle strength due to exercise. Another influential factor is the angle of the jump [18]. The angle formed in training with the B2D2 dose has high angle compared to the angle of other doses so that the load on the muscles is greater so that the ability of large muscle contractions as a parameter of increasing skeletal muscle explosive power. Jump to box training has almost the same effect as sit up training so that it can affect muscle strength and endurance, as a factor that affects a person's jumping ability. [19]. In other aspects, jumping exercises also have a close relationship with the occurrence of delayed-onset muscle soreness, that should be monitored in order to avoid injury.

#### 5. Conclusion

Based on the results of the study, it is known that jump-to-box exercise with a dose of B2D2 (box height 24 cm, training duration of 5 minutes) obtained the highest average vertical jumping ability compared to other dose groups. This exercise protocol has an optimal effect on vertical jumping ability and limb explosive power in adolescents compared to other protocols.

#### Вклад авторов:

**Хендрик Паданг** — концепция и дизайн публикации, сбор данных, написание первого варианта рукописи;

**Йонатан Рамба** — концепция и дизайн публикации, редактирование текста;

**Арпанджаман** — концепция и дизайн публикации, редактирование текста;

**Гаурав Капур** — концепция и дизайн публикации, статистический анализ, редактирование текста.

## References

1. Singh V., Acharya J., Bhutia T.N. Effect of 6 weeks of online vinyasa training on explosive leg strength of school children during covid-19 – a pilot study. *J. Phys. Educ. Sport.* 2021;21(4):2276–2282.
2. Gül M., Gül K.G., Ataç Ö. The Effect of Plyometric Trainings on Vertical-Horizontal Jump and Some Motor Skills in U13 Basketball Players. *J. Educ. Train. Stud.* 2019;7(7):71. <https://doi.org/10.11114/jets.v7i7.4252>
3. Abi P.D., Widyah K.N., Nurhasan H.S., Zainal A.M., Putri P.S. Enhancing Strength, Leg Muscle Explosive Power, and Muscle Hypertrophy Using Hurdle-Box Jump Plyometric. *Teor ta Metod Fiz Vihov.* 2022;22(1):113–120. <https://doi.org/10.17309/tmfv.2022.1.16>
4. Hardy L.L., Reinten-Reynolds T., Espinel P., Zask A., Okeley A.D. Prevalence and correlates of low fundamental movement skill competency in children. *Pediatrics.* 2012;130(2): e390–e398. <https://doi.org/10.1542/peds.2012-0345>
5. Šarabon N., Hostnik J., Markovic G. Acute effects of aerobic activity, static stretching, and explosive exercises on muscular performance and range of motion of young soccer players. *Int. J. Sport Sci. Coach.* 2020;15(5–6):706–716. <https://doi.org/10.1177/1747954120942895>
6. Ibrahim S., Ahmed S.A., Ahmed S.M., Ah-med S.K. Squash and Resistance Training: Relative Comparison on Speed, Explosive Power, Muscular Endurance and Flexibility. *Entomol. Appl. Sci. Lett.* 2021;8(2):51–56. <https://doi.org/10.51847/d2e2vVO986>
7. Lesinski M., Prieske O., Granacher U. Effects and dose-response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: A systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 2016;50(13):781–795. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095497>
8. Perikles E.Y., Mintarto E., Hasan N. The Effect of Jump To Box, Front Box Jump, and Depth Jump Exercises on Increasing Explosive Power of the Limb Muscles and Speed. *Media Ilmu Keolahragaan Indones.* 2016;6(1):8–14.
9. Armstrong N., Barker A.R., McManus A. Muscle metabolism changes with age and maturation: How do they relate to youth sport performance? *Br. J. Sports Med.* 2015;49(13):1–21. <http://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094491>
10. Lesinski M., Schmelcher A., Herz M., Puta C., Gabriel H., Arampatzis A., et al. Maturation-, age-, and sex-specific anthropometric and physical fitness percentiles of German elite young athletes. *PLoS One.* 2020;15(8): e0237423. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0237423>
11. Vasileva F., Vasilev A., Font Llado R., Georgiev G. Explosive Leg Power and Flexibility in School Children Aged 6–8 Years. *Pedagog. Alm.* 2021;29(2):267–275. <https://doi.org/10.54664/lmrk8404>
12. Suchomel T.J., Nimphius S., Bellon C.R., Stone M.H. The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sport Med.* 2018;48(4):765–785. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0862-z>
13. Wernbom M., Aagaard P. Muscle fibre activation and fatigue with low-load blood flow restricted resistance exercise—An integrative physiology review. *Acta Physiol.* 2020;228(1): e13302.
14. Olsen L.A., Nicoll J.X., Fry A.C. The skeletal muscle fiber: a mechanically sensitive cell. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2019;119(2):333–349. <http://doi.org/10.1007/s00421-018-04061-x>
15. McKinlay B.J., Wallace P., Dotan R., Long D., Tokuno C., Gabriel D.A., et al. Effects of plyometric and resistance training on muscle strength, explosiveness, and neuromuscular function in young adolescent soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 2018;32(11):3039–3050. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002428>
16. Bagiasa I.K. The Effect of Pliometric Exercise on Long Jump Results in terms of Explosive Power of the Limb Muscles at SMP Negeri 3 Sawan. *J. Lampuyang.* 2013;4(1):1–23.
17. Cadore E.L., Rodriguez-Mañas L., Sinclair A., Izquierdo M. Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: A systematic review. *Rejuvenation Res.* 2013;16(2):105–14. <https://doi.org/10.1089/rej.2012.1397>
18. Alkjaer T., Meyland J., Raffalt P.C., Lundbye-Jensen J., Simonsen E.B. Neuromuscular adaptations to 4 weeks of intensive drop jump training in well-trained athletes. *Physiol. Rep.* 2013;1(5):e00099. <https://doi.org/10.1002/phy2.99>
19. França C., Marques A., Ihle A., Nuno J., Campos P., Gonçalves F., et al. Associations between muscular strength and vertical jumping performance in adolescent male football players. *Hum. Mov.* 2023;24(2):94–100. <https://doi.org/10.5114/hm.2023.117778>

### Information about the authors:

**Hendrik Padang\***, Associate Professor, Department of Physiotherapy, Health Polytechnic of Makassar; Indonesia, 90222, Makassar, Wijayakusuma Raya street, 46 (ORCID: 0000-0002-3508-0050, [padanghendrik10@gmail.com](mailto:padanghendrik10@gmail.com)),

**Yonathan Ramba**, Associate Professor, Department of Physiotherapy, Health Polytechnic of Makassar; Indonesia, 90222, Makassar, Wijayakusuma Raya street, 46 ([nararamba66@gmail.com](mailto:nararamba66@gmail.com))

**Arpandjam'an**, researcher, Department of Physiotherapy, Health Polytechnic of Makassar; Indonesia, 90222, Makassar, Wijayakusuma Raya street, 46 ([arpandjaman@gmail.com](mailto:arpandjaman@gmail.com))

**Gaurav Kapoor**, Associate Professor, Department of Physiotherapy, Department of Physiotherapy, School of Allied Medical Sciences, Lovely Professional University; India, 144411, Punjab, Grand Trunk Rd (ORCID: 0000-0001-6845-3194, [gauravkapoor00711@gmail.com](mailto:gauravkapoor00711@gmail.com))

### Информация об авторах

**Хендрик Паданг\***, доцент кафедры физиотерапии Максассарского Политехнического института здоровья; Индонезия, 90222, Макаassar, улица Виджаякуsuma Рая, 46 (ORCID: 0000-0002-3508-0050, [Padanghendrik10@gmail.com](mailto:Padanghendrik10@gmail.com)),

**Ионатан Рамба**, доцент кафедры физиотерапии Максассарского Политехнического института здоровья; Индонезия, 90222, Макаassar, улица Виджаякуsuma Рая, 46 ([nararamba66@gmail.com](mailto:nararamba66@gmail.com))

**Арпанджаман**, научный сотрудник кафедры физиотерапии Максассарского Политехнического института здоровья; Индонезия, 90222, Макаassar, улица Виджаякуsuma Рая, 46 ([arpandjaman@gmail.com](mailto:arpandjaman@gmail.com))

**Гаурав Капур**, доцент кафедры физиотерапии кафедры физиотерапии Школы смежных медицинских наук Профессионального университета Лавли; Индия, 144411, Пенджаб, Гранд Транк Роуд (ORCID: 0000-0001-6845-3194, [gauravkapoor00711@gmail.com](mailto:gauravkapoor00711@gmail.com))

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.2>

УДК: 685.38

Тип статьи: Оригинальная статья / Original Research



## Влияние тренировочной ходьбы в экзоскелете на эффективность реабилитации пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы

М. А. Гвоздарева<sup>1,\*</sup>, Л. А. Шпагина<sup>2</sup>, Н. П. Карева<sup>1,2</sup>, Е. В. Куропатова<sup>1</sup>, В. В. Рерих<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я. Л. Цивьяна» Минздрава России, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> ФГБУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Новосибирск, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** оценить эффективность включения тренировочной ходьбы в экзоскелете в комплексную реабилитацию пациентов с тяжелыми двигательными нарушениями функции нижних конечностей вследствие позвоночно-спинномозговой травмы (ПСМТ). **Материалы и методы:** в исследовании приняли участие 120 пациентов (84 мужчины и 36 женщин, возраст  $37,1 \pm 8,4$  года) с последствиями ПСМТ на уровне грудного и поясничного отделов позвоночника, находившихся в стационаре на втором этапе медицинской реабилитации. Давность травмы колебалась от 1 года до 19 лет ( $77,8 \pm 4,05$  месяца). Все пациенты были разделены на две группы (80 и 40 человек соответственно), сопоставимые по полу, возрасту, давности и тяжести травмы. Стандартная программа реабилитации включала специализированную лечебную гимнастику, электромиостимуляцию, магнитотерапию, медицинский массаж, вертикализацию и тренировку баланса в балансировочном тренажере. В одной из групп она была дополнена тренировочной ходьбой в экзоскелете. Для оценки эффективности проводимых реабилитационных мероприятий использовались шкалы ASIA, SCIM III и опросник качества жизни SF-36. **Результаты:** в группе пациентов, использующих тренировочную ходьбу в экзоскелете, произошло статистически значимое увеличение общего балла по шкале SCIM III на  $3,20 \pm 0,50$  ( $p = 0,05$ ), что свидетельствует о повышении уровня функционирования и повседневной активности пациентов. Выявлена положительная динамика при оценке качества жизни с использованием опросника SF-36: показатель, отражающий психологический компонент здоровья, увеличился с 56,0 до 59,5 балла ( $p = 0,05$ ). Среди участников исследования, не использующих тренировочную ходьбу в экзоскелете, также наблюдалась положительная динамика анализируемых показателей, однако изменения к концу курса реабилитации не были статистически значимыми. **Заключение:** включение в стандартную программу второго этапа медицинской реабилитации тренировочной ходьбы в экзоскелете повышает эффективность реабилитационных мероприятий и улучшает качество жизни пациентов с тяжелыми двигательными нарушениями функции нижних конечностей вследствие позвоночно-спинномозговой травмы (ПСМТ).

**Ключевые слова:** медицинская реабилитация, позвоночно-спинномозговая травма, двигательные нарушения, робот-ассистированная реабилитация, экзоскелет

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

**Для цитирования:** Гвоздарева М.А., Шпагина Л.А., Карева Н.П., Куропатова Е.В., Рерих В.В. Влияние тренировочной ходьбы в экзоскелете на эффективность реабилитации пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы // *Спортивная медицина: наука и практика*. 2023;13(3):58–66. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.2>

Поступила в редакцию: 21.10.2022

Принята к публикации: 31.10.23

Online first: 20.11.2022

Опубликована: 28.12.2023

\* Автор, ответственный за переписку



## The influence of walking in an exoskeleton on rehabilitation of patients with spinal cord injury consequences

Mariia A. Gvozdareva<sup>1,\*</sup>, Lubov A. Shpagina<sup>2</sup>, Ekaterina V. Kuropatova<sup>1</sup>, Nina P. Kareva<sup>1,2</sup>, Viktor V. Rerikh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ya.L. Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia

### ABSTRACT

**Objective:** to substantiate the expediency of including training walking in an exoskeleton in the complex rehabilitation of patients with severe motor dysfunctions of the lower limbs due to spinal cord injury (SCI). **Methods:** 120 patients (84 men and 36 women, age  $37.1 \pm 8.40$  years) with the consequences of SCI at the level of thoracic and lumbar spine who were in the hospital at the second stage of medical rehabilitation were examined. The duration of injury ranged from 1 year to 19 years ( $77.8 \pm 4.05$  months). All patients were divided into two groups (80 and 40 patients), comparable by sex, age, duration and severity of injury. Training walking in exoskeleton have been added in the group I rehabilitation program. ASIA, SCIM III scales and SF-36 quality of life questionnaire were used to evaluate the effectiveness of the rehabilitation measures. **Results:** there was an increase in the total score on SCIM III by  $3.20 \pm 0.50$  ( $p = 0.05$ ) in group I, which indicates an increase in the level of functioning and daily activity of patients. Positive dynamics was revealed when assessing the quality of life using SF-36 questionnaire: sum index reflecting the psychological component of health increased from 56,0 to 59,5 points ( $p = 0,05$ ). Group II also showed positive dynamics of the analyzed indicators, but the changes by the end of the rehabilitation course were not statistically significant. **Conclusion:** the use of exoskeleton training walking at the second stage of medical rehabilitation increases the effectiveness of rehabilitation measures and improves the quality of life of patients with severe motor dysfunctions of the lower limbs due to spinal cord injury (SCI).

**Keywords:** medical rehabilitation, spinal cord injury, motor disorders, robot-assisted rehabilitation, exoskeleton

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

**For citation:** Gvozdareva M.A., Shpagina L.A., Kuropatova E.V., Kareva N.P., Rerikh V.V. The influence of walking in an exoskeleton on rehabilitation of patients with spinal cord injury consequences. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2023;13(3):58–66. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.2>

**Received:** 21 October 2022

**Accepted:** 31 October 2023

**Online first:** 20 November 2023

**Published:** 28 December 2023

\*Corresponding author

### 1. Введение

Последствия травм спинного мозга являются часто тяжелыми и необратимыми для пострадавших, сложными в отношении лечения и реабилитации. Более двух миллионов человек в мире живут с последствиями повреждения спинного мозга [1].

Медицинская реабилитация пациентов с травмой спинного мозга на раннем этапе в острый период, стационарном и амбулаторном этапах в поздний период травмы направлена на решение целого спектра актуальных для каждого этапа задач. Подходы к выбору методов реабилитации должны меняться в зависимости от уровня повреждения спинного мозга, периода течения травмы, неврологического и соматического статуса пациента [2].

Ранний реабилитационный период спинальной травмы часто протекает на фоне нестабильной гемодинамики со склонностью к снижению артериального давления в покое, а также угрозой развития различных осложнений, связанных с длительным нахождением пациентов в горизонтальном положении. С целью активизации нейровосстановительных процессов и профилактики развития вторичных осложнений при отсутствии противопоказаний под контролем показателей функции

сердечно-сосудистой системы уже в острый период ПСМТ в тренировочный процесс включается пассивный перевод пациентов в вертикальное положение. Это позволяет ускорить восстановление пространственной ориентации, преодоление страха перед вертикальным положением и формирование положительной мотивации пациентов к продолжению реабилитации [3, 4].

В поздний период травмы спинного мозга внимание специалистов акцентировано на максимально возможном восстановлении утраченных функций, а также создании необходимых условий для поддержания здоровья и долголетия пациента. Традиционно реабилитация таких пациентов была сосредоточена на обучении компенсаторным стратегиям. Позже, с появлением концепции нейропластичности, в реабилитационном процессе начали активно использовать стационарные роботизированные устройства, не только облегчающие вертикализацию пациента, но и обеспечивающие имитацию восстановления утраченной двигательной функции, воздействуя таким образом на нервно-мышечную проводимость [5].

В настоящее время для восполнения утраченной функции ходьбы на смену стационарным локомоторным



Рис. 1. Экзоскелет ExoAtlet® в положении «сидя»  
Fig. 1. ExoAtlet® exoskeleton in the sitting position

ассистирующим роботам приходят медицинские экзоскелеты. Все медицинские экзоскелеты состоят из механической конструкции с электрическими двигателями, которая повторяет контуры туловища и нижних конечностей, а также процессора для управления экзоскелетом, работающего по принципу биологической обратной связи. В опубликованных исследованиях российских и зарубежных авторов было показано, что регулярная ходьба в экзоскелете обеспечивает укрепление костно-мышечного аппарата вследствие непрерывных пассивных движений всех групп мышц и суставов нижних конечностей, а следовательно, увеличивает способность пациентов к самообслуживанию [6, 7].

Возможность передвигаться в вертикальном положении улучшает психоэмоциональное состояние пациентов, мотивирует их к более активному участию в процессе реабилитации даже в случаях тяжелой степени повреждения спинного мозга [8]. Робот-ассистированная реабилитация открывает новые перспективы для больных с последствиями ПСМТ, однако до настоящего времени недостаточно данных о комбинировании реабилитационных тренировок в экзоскелете с другими методами реабилитации, не проводился сравнительный анализ эффективности комплексной реабилитации пациентов с тяжелыми нарушениями двигательной функции нижних конечностей с использованием традиционных методов и с использованием ассистирующих роботов.

В настоящее время в качестве одного из основных средств оценки результатов реабилитации при травме

спинного мозга используется специализированный опросник SCIM III «Измеритель независимости при повреждениях спинного мозга». По мнению ряда авторов, увеличение общего балла по данной оценочной шкале на один балл уже является показателем эффективности проведенного реабилитационного лечения [9].

В связи с указанными выше данными, представляет практический интерес оценка влияния включения тренировочной ходьбы в экзоскелете в комплексную реабилитацию пациентов с тяжелыми двигательными нарушениями функции нижних конечностей вследствие позвоночно-спинномозговой травмы.

## 2. Материалы и методы

Участие в исследовании приняли 120 человек в возрасте от 19 до 55 лет с повреждением спинного мозга вследствие позвоночно-спинномозговой травмы на грудном и поясничном уровне.

Для тренировочной ходьбы использовался экзоскелет ExoAtlet® производства ООО «ЭкзоАтлет», Россия (регистрационный номер РЗН 2016/4360). Экзоскелет является аппаратно-программным комплексом, состоящим из моторизованного каркаса, надеваемого на человека, и закрепляемой на этом каркасе специальной амуниции, укомплектованной процессором для регистрации телеметрических данных во время тренировки и формирования сигналов управления на основе анализа этих данных (см. рис. 1). Данное устройство обеспечивает поддержание вертикальной позы и процесс ходьбы по ровной поверхности, а при определенных навыках — с элементами подъема и спуска. Экзоскелет ExoAtlet относится к медицинским изделиям, применяемым для медицинской реабилитации, а также социальной адаптации пациентов с нарушениями ходьбы вследствие травм или заболеваний опорно-двигательного аппарата и нервной системы.

Критериями включения в исследование были вес пациентов не более 100 кг, рост от 160 см до 190 см, а также уровень поражения позвоночника на уровне не выше первого грудного позвонка, давность травмы более 12 месяцев, нарушение функционирования и ограничение жизнедеятельности по шкале реабилитационной маршрутизации (ШРМ) 4–5 баллов.

Критериями исключения были наличие у пациентов противопоказаний к применению экзоскелета и методов аппаратной физиотерапии, используемых в программе реабилитации.

Протокол клинического исследования одобрен локальным этическим комитетом, информированное согласие дали все пациенты.

Все пациенты были разделены на две группы, сопоставимые по полу, возрасту и давности травмы. В группу I вошли 80 человек (57 мужчин и 23 женщины, средний возраст  $36,7 \pm 9,1$  года, средний рост  $175 \pm 5,3$  см). Давность травмы пациентов в группе I составляла от 1 года до 15 лет, средняя продолжительность посттравматического периода составила  $73,4 \pm 5,31$  мес.

В этой группе 21 (26,3%) пациент находился в восстановительном периоде (от 1 года до 3 лет после травмы), 59 (73,7%) — в позднем периоде (более 3 лет после травмы).

Группа II включала 40 участников (27 мужчин и 13 женщин, средний возраст  $37,3 \pm 7,1$  года, средний рост  $172 \pm 7,1$  см). Давность травмы пациентов в группе II находилась в диапазоне от 1 года до 19 лет, средняя продолжительность посттравматического периода составила  $78,3 \pm 4,72$  мес. В восстановительном периоде находились 10 (24,2%) пациентов, в позднем периоде — 30 (75,8%).

В обеих группах реабилитационные мероприятия с учетом значения ШРМ осуществлялись в условиях нахождения пациентов в круглосуточном стационаре. В группе I программа комплексной реабилитации включала тренировки в экзоскелете (рис. 2), состоявшие из двух курсов продолжительностью  $21 \pm 2,5$  дня каждый, с перерывом между ними длительностью 30 дней. Тренировочные занятия проходили ежедневно на протяжении 15–18 дней, длительность каждой тренировки составляла 30–60 минут. Тренировкам в экзоскелете предшествовали от 3 до 5 занятий в балансировочном тренажере. Тренировки посредством экзоскелета сочетались с лечебной гимнастикой, электростимуляцией мышц спины, брюшного пресса и нижних конечностей, низкоинтенсивной магнитотерапией на область

спастичных мышц и/или на область травмы позвоночника и массажем нижних конечностей и сегментарной зоны. Процесс тренировки в экзоскелете проводился под контролем изменения частоты дыхания, артериального давления и пульса пациента. Критериями адекватной переносимости пациентом физической нагрузки служили учащение дыхания не более чем на 8–10 дыхательных движений в минуту, повышение систолического артериального давления не более чем на 20–30 мм рт. ст. и диастолического артериального давления не более чем на 10–12 мм рт. ст., учащение пульса не более чем на 20–30 ударов в минуту по сравнению с исходными значениями.

Пациенты группы II также проходили два курса реабилитации по аналогичной программе, но вместо тренировок в экзоскелете проводились тренировки в балансировочном тренажере (см. рис. 3).

Оценка эффективности реабилитационных мероприятий проводилась с помощью шкалы SCIM III и опросника SF-36, которые заполнялись до начала и после окончания 1-го и 2-го курса, и через месяц после окончания программы реабилитации (визит 5). Шкала SCIM III «Измерение независимости пациента при повреждении спинного мозга» рекомендована для оценки функционального восстановления при травме спинного мозга [10]. Данный опросник позволяет оценить в баллах базовые жизненные и социальные



Рис. 2. Тренировочная ходьба в экзоскелете  
Fig. 2. Training walking in exoskeleton

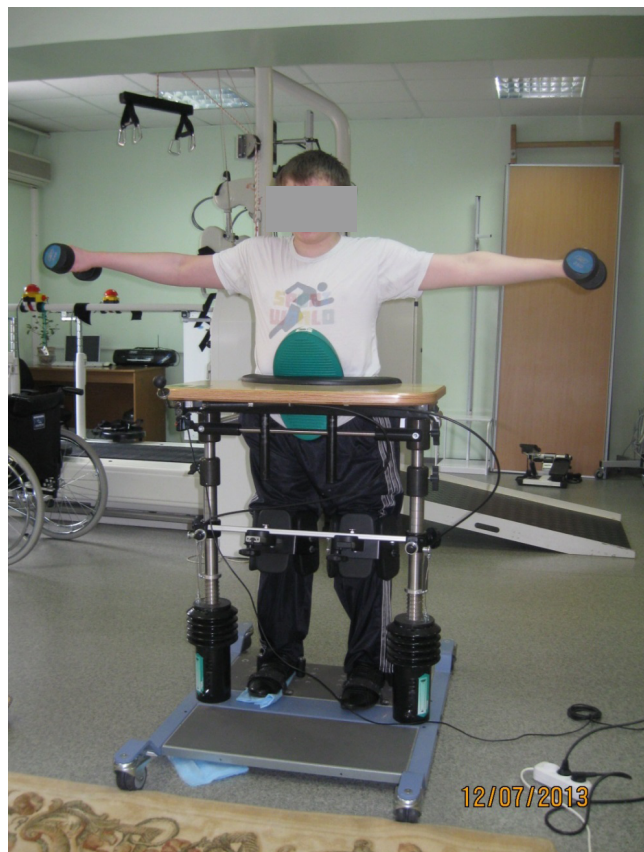


Рис. 3. Тренировка в балансировочном тренажере  
Fig. 3. Training in the balancing simulator



функции, а общий результат складывается из суммы промежуточных баллов по разделам «самообслуживание», «дыхание и управление сфинктерами», «мобильность». Также важными параметрами для исследования эффективности новых методов реабилитации и лечения являются показатели качества жизни (КЖ), включающие физический и психологический компоненты здоровья. Для регистрации этих компонентов использовался опросник качества жизни SF-36. Для оценки неврологического статуса использовалась шкала ASIA, являющаяся международным стандартом неврологической классификации травмы спинного мозга.

Статистическая обработка данных осуществлялась в свободно распространяемой бесплатной версии программы RStudio (USA, URL <https://www.rstudio.com/>) на свободно распространяемом языке R (версии URL <https://www.R-project.org/>). Описательная статистика включала расчет медиан, интерквартильного интервала (ИКИ), среднего значения и стандартного отклонения (СО) для числовых данных, минимальных и максимальных значений для непрерывных данных, расчет количества и долей для бинарных и категориальных данных. Для сравнения динамики показателей до и после лечения на разных визитах для числовых данных проведен расчет медиан, ИКИ, среднего значения и СО с использованием критерия Вилкоксона и непарного *U*-критерия Манна — Уитни; для бинарных и категориальных данных — расчет показателей с использованием точного критерия Фишера.

### 3. Результаты

Выполненная перед началом реабилитационных мероприятий оценка степени неврологического дефицита на основе шкалы ASIA показала, что в группе I пациенты распределились следующим образом: полное нарушение проводимости спинного мозга и, как следствие, отсутствие двигательной функции нижних конечностей, болевой и тактильной чувствительности ниже уровня травмы (ASIA A), имелось у 53 человек (66,3%); у 11 (13,7%) пациентов полностью отсутствовали движения в ногах, но была сохранена чувствительность в аноректальной области, что свидетельствует о сохранении

сенсорной функции в крестцовых сегментах S4-S5 (ASIA B). Движения в нижних конечностях были частично сохранены у 16 (20,0%) пациентов, однако более половины ключевых мышц ниже неврологического уровня имели силу менее 3 баллов (ASIA C). Из-за существенного снижения силы ключевых мышц ниже уровня поражения эти пациенты, как и пациенты с неврологическим дефицитом типа ASIA A и B, для самостоятельного перемещения использовали кресло-коляску. Пациенты группы II по степени неврологического дефицита распределились следующим образом: ASIA A — 25 человек (62,1%), ASIA B — 5 человек (12,9%), ASIA C — 10 человек (25,0%) (табл. 1).

Оценка результатов тестирования с использованием шкалы ASIA по окончании двух курсов реабилитации не выявила изменений неврологического статуса пациентов. Распределение пациентов по шкале на типы A, B и C осталось неизменным. Однако в процессе прохождения реабилитации и по завершению двух курсов отмечались положительные изменения в функциональном статусе пациентов.

Основным параметром клинической эффективности в процессе реабилитации являлась динамика величины среднего балла по шкале SCIM III.

В группе I общий средний балл по данной шкале увеличился к завершающему тестированию на  $3,4 \pm 0,72$  по сравнению с исходным значением и составил  $70,2 \pm 10,21$  балла ( $p < 0,05$ ). В группе II общий средний балл также вырос, но это увеличение не было статистически значимым (табл. 2).

Результаты статистической обработки значений шкалы SCIM III по завершении двух этапов реабилитации продемонстрировали, что доля пациентов в группе I, у которых суммарный балл возрос на один балл и более, составила 51,3%, причем в 9% случаев это увеличение составило от 10 до 40 баллов. В группе II доля пациентов с увеличением суммарного балла на один и более составила 37,5%.

При оценке качества жизни пациентов с помощью анкеты SF-36 в группе I было отмечено достоверное увеличение показателя психологического здоровья (MHSUM) ( $p < 0,05$ ), величина среднего балла, отражающего

Таблица 1

Распределение пациентов по степени неврологического дефицита, шкала ASIA

Table 1

Distribution of patients by degree of neurological deficit, ASIA scale

Группы	шкала ASIA						Итого
	A		B		C		
	абс	%	абс	%	абс	%	
Всего	78	65	16	13,3	26	21,7	120
I	53	66,3	11	13,7	16	20,0	80
II	25	62,1	5	12,9	10	25,0	40



Таблица 2

Динамика величины среднего балла по шкале SCIM III «Измерение независимости пациента при повреждениях спинного мозга» ( $M \pm SD$ )

Table 2

Dynamics of the average score on the SCIM III scale “Measurement of patient independence in spinal cord injuries” ( $M \pm SD$ )

Параметры оценки по шкале SCIM III	Максимальный балл по шкале SCIM III	Группа I ( $n = 80$ )		Группа II ( $n = 40$ )	
		До начала реабилитации	Через месяц после реабилитации	До начала реабилитации	Через месяц после реабилитации
Самообслуживание	20	18,2 ± 3,08	18,8 ± 2,74	17,9 ± 4,16	18,5 ± 3,62
Дыхание и управление сфинктерами	40	30,6 ± 7,22	31,9 ± 4,43*	30,9 ± 6,92	31,3 ± 7,18
Мобильность	40	18,6 ± 6,38	19,4 ± 5,46	19,1 ± 6,57	19,3 ± 6,20
Общий балл	100	66,7 ± 9,56	70,2 ± 10,21*	66,9 ± 9,63	68,0 ± 12,44

Примечание: \* — статистически значимые различия по отношению к периоду до начала реабилитации ( $p < 0,05$ ).

Note: \* — statistically significant differences in relation to the period before the start of rehabilitation ( $p < 0.05$ ).

Таблица 3

Динамика показателей физического и психологического компонентов здоровья пациентов, анкета SF-36 ( $M \pm SD$ )

Table 3

Dynamics of indicators of physical and psychological components of patients' health, questionnaire SF-36 ( $M \pm SD$ )

Параметры оценки анкеты SF-36	Группа I ( $n = 80$ )		Группа II ( $n = 40$ )	
	До начала реабилитации	Через месяц после реабилитации	До начала реабилитации	Через месяц после реабилитации
RH sum max. 100 баллов	34,9 ± 6,82	35,6 ± 5,06	33,7 ± 8,48	34,9 ± 9,38
MH sum max. 100 баллов	56,0 ± 7,97	59,5 ± 5,24*	57,2 ± 8,70	58,7 ± 9,22

Примечание: \* — статистически значимые различия по отношению к периоду до начала реабилитации,  $p < 0,05$ .

Note: \* — statistically significant differences in relation to the period before the start of rehabilitation,  $p < 0.05$ .

физический компонент здоровья (RH sum), имела тенденцию к повышению значений. В группе II на фоне проведения реабилитационных мероприятий показатели физического и психологического здоровья также имели тенденцию к улучшению, однако эти изменения не были статистически значимыми (табл. 3).

#### 4. Обсуждение

Важной клинической характеристикой пациентов с последствиями спинальной травмы, поступающих на второй этап медицинской реабилитации в стационар, является тяжелая степень повреждения спинного мозга с потерей сенсорной и моторной функции ниже неврологического уровня. В проведенном исследовании у 78 % пациентов повреждение было полным или неполным с сохранением чувствительности, но отсутствием движений, что соответствует типам А и В по шкале ASIA,

а клинически, с учетом уровня повреждения, проявляется нижней параплегией. Такие пациенты пожизненно вынуждены пользоваться инвалидной коляской, что существенно ограничивает их жизнедеятельность и снижает качество жизни. Полученные в ходе исследования результаты показывают, что для данной группы пациентов включение курсовых тренировок в экзоскелете в стандартные программы комплексной реабилитации оптимизирует процесс функционального восстановления. О положительной динамике уровня активного функционирования говорит статистически значимое увеличение общего балла по шкале SCIM III. При статистической обработке было установлено, что почти у половины пациентов, получавших реабилитацию посредством экзоскелета, произошло существенное изменение уровня активного функционирования в сторону улучшения — у 51,3 % пациентов зарегистрировано

увеличение общего балла более чем на один, в то время как в группе II таких пациентов было только 37,5%.

Изменение величины промежуточных баллов по разделам «самообслуживание», «дыхание и управление сфинктерами», «мобильность» свидетельствует о повышении функциональной активности в обеих группах, но статистически значимое увеличение через месяц после окончания медицинской реабилитации получено только в группе I по разделу «дыхание и управление сфинктерами». Положительная динамика функции тазовых органов вызывает особый интерес, так как улучшение контроля за актами мочеиспускания и дефекации является одной из наиболее сложных задач при реабилитации больных с ПСМТ [11]. Полученные результаты совпадают с данными более ранних исследований, в которых установлено, что при систематической вертикализации и ходьбе с помощью экзоскелета наблюдается тенденция к нормализации тонуса мышечной диафрагмы, собственно диафрагмы и повышению внутрибрюшного давления, что уменьшает симптомы нарушения акта дефекации [12, 13].

Появление утраченной возможности передвигаться с опорой на нижние конечности в период тренировок в экзоскелете способствует повышению удовлетворенности результатами реабилитации, мотивирует пациентов к более активному участию в реабилитационном процессе независимо от периода травмы [14, 15, 16]. Повышение активного функционирования под влиянием комплексной реабилитации на основе тренировок в экзоскелете ведет к улучшению качества

#### Вклад авторов:

**Гвоздарева Мария Андреевна** — вклад в замысел и дизайн исследования, сбор данных, их анализ и интерпретация;

**Шпагина Любовь Анагольевна** — критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания;

**Карева Нина Петровна** — существенный вклад в замысел и дизайн исследования, критический пересмотр статьи;

**Куропатова Екатерина Викторовна** — сбор данных, их анализ и интерпретация;

**Рерих Виктор Викторович** — окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

#### Список литературы

1. Nowrouzi B., Assan-Lebbe A., Sharma B., Casole J., Nowrouzi-Kia B. Spinal cord injury: a review of the most-cited publications. *Eur Spine J.* 2017;26(1):28–39. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4669-z>
2. Прудникова О.Г., Качесова А.А., Рябых С.О. Реабилитация пациентов в отдаленном периоде травмы спинного мозга: мета-анализ литературных данных. *Хирургия позвоночника.* 2019;16(3):8–16. <https://doi.org/10.14531/ss2019.3.8-16>
3. Белкин А.А., Алашеев А.М., Белкин В.А., Белкина Ю.Б., Белова А.Н., Бельский Д.В., и др. Реабилитация в отделении реанимации и интенсивной терапии (Ре-

жизни, что подтверждается результатами оценки здоровья с помощью опросника SF-36, являющегося адекватным инструментом исследования сравнительной эффективности восстановительного лечения. Общий индекс МН sum, включающий оценку психического здоровья, ролевого и социального функционирования, связанного с эмоциональным состоянием, к завершению двух курсов реабилитации возрос в группе I с 56,0 до 59,5 балла ( $p < 0,05$ ), причем улучшение психологического состояния сохранялось и через месяц после завершения программы реабилитации. В группе II достоверного изменения данного показателя не произошло.

#### 5. Заключение

Включение тренировочной ходьбы в экзоскелете в программу реабилитации пациентов с последствиями ПСМТ способствует более эффективному восстановлению уровня активного функционирования и улучшению показателей качества жизни в сравнении со стандартными методами реабилитации. В ходе исследования установлена хорошая переносимость тренировочной ходьбы в экзоскелете не только у пациентов с неврологическим дефицитом категории ASIA C, но и в наиболее тяжелой группе пациентов с неврологическим дефицитом типа ASIA B и ASIA A. Полученные результаты позволяют рекомендовать метод тренировочной ходьбы в экзоскелете для реабилитации пациентов с нижней параплегией и тяжелым парализом вследствие позвоночно-спинномозговой травмы.

#### Authors' contributions:

**Maria A. Gvozdareva** — contribution to study conception and design, data collection, analysis and interpretation;

**Lubov A. Shpagina** — critical revision in terms of significant intellectual content;

**Nina P. Kareva** — a significant contribution to the concept and design of the study, a critical review of the article;

**Ekaterina V. Kuropatova** — data collection, analysis and interpretation;

**Victor V. Rerikh** — final approval of the version of the article for publication.

#### References

1. Nowrouzi B., Assan-Lebbe A., Sharma B., Casole J., Nowrouzi-Kia B. Spinal cord injury: a review of the most-cited publications. *Eur Spine J.* 2017;26(1):28–39. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4669-z>
2. Prudnikova O.G., Kachesova A.A., Ryabykh S.O. Rehabilitation of patients in late period after spinal cord injury: a meta-analysis of literature data. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika).* 2019;16(3):8–16 (In Russ.). <https://doi.org/10.14531/ss2019.3.8-16>
3. Belkin A.A., Alashev A.M., Belkin V.A., Belkina Yu.B., Belova A.N., Bel'skii D.V., et al. Rehabilitation in the intensive care unit (RehabICU). Clinical practice recommendations of the

абИТ). Методические рекомендации Союза реабилитологов России и Федерации анестезиологов и реаниматологов. Вестник интенсивной терапии им. А. И. Салтанова. 2022;(2):7–40. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2022-2-7-40>

4. **Хохлова О.И.** Реабилитационный потенциал личности и функциональная независимость лиц с травматической болезнью спинного мозга. Политравма. 2020;(3):100–107. <https://doi.org/10.24411/1819-1495-2020-10038>

5. **Joseph C., Rhoda A., Mji G., Statham S., Mlenzana N., De Wet C.** Changes in activity limitations and predictors of functional outcome of patients with spinal cord injury following inpatient rehabilitation. South African Journal of Physiotherapy. 2013;69(1):41–49. <https://doi.org/10.4102/sajp.v69i1.371>

6. **Карева Н.П., Шелякина О.В., Павлова Е.В.** Перспективы антропоморфной робототехники в восстановлении пациентов после травмы спинного мозга (обзор литературы). Современные проблемы науки и образования. 2018;(6):134.

7. **Geigle P.R., Kallins M.** Exoskeleton-Assisted walking for people with spinal cord injury. Arch. Phys. Med. Rehabil. 2017;98(7):1493–1495. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.12.002>

8. **Котов С.В., Лиждвой В.Ю., Секирин А.Б., Петрушанская К.А., Письменная Е.В.** Эффективность применения экзоскелета ExoAtlet для восстановления функции ходьбы у больных рассеянным склерозом. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски. 2017;117(10-2):41–47. <https://doi.org/10.17116/jnevro201711710241-47>

9. **Musselman K.E., Verrier M.C., Flett H., Nadeau S., Yang J.F., Farahani F., et al.** Development of Walking indicators to advance the quality of spinal cord injury rehabilitation: SCI-High Project. J. Spinal Cord Med. 2019;42(sup1):119–129. <https://doi.org/10.1080/10790268.2019.1647385>

10. **Васильченко Е.М., Золоев Г.К., Кислова А.С., Костров В.В., Ляховецкая В.В., Карапетян К.К., и др.** Измеритель независимости при повреждениях спинного мозга (SCIM III). Подготовка русскоязычной версии. Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2016;19(2):96–102. <https://doi.org/10.18821/1560-9537-2016-19-2-96-102>

11. **Baunsgaard C.B., Nissen U.V., Brust A.K., Frotzler A., Ribbeil C., Kalke Y.B., et al.** Exoskeleton gait training after spinal cord injury: An exploratory study on secondary health conditions. J. Rehabil. Med. 2018;50(9):806–813. <https://doi.org/10.2340/16501977-2372>

12. **Benson I., Hart K., Tussler D., van Middendorp J.J.** Lower-limb exoskeletons for individuals with chronic spinal cord injury: findings from a feasibility study. Clin. Rehabil. 2016;30(1):73–84. <https://doi.org/10.1177/0269215515575166>

13. **Chun A., Asselin P.K., Knezevic S., Kornfeld S., Bauman W.A., Korsten M.A., et al.** Changes in bowel function following exoskeletal-assisted walking in persons with spinal cord injury: an observational pilot study. Spinal Cord. 2020;58(4):459–466. <https://doi.org/10.1038/s41393-019-0392-z>

14. **Esquenazi A., Talaty M., Packel A., Saulino M.** The Re-Walk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury. Am. J. Phys. Med. Rehabil. 2012;91(11):911–921. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e318269d9a3>

15. **Miller L.E., Zimmermann A.K., Herbert W.G.** Clinical effectiveness and safety of powered exoskeleton-assisted walking in patients with spinal cord injury: systematic review with meta-analysis. Med. Devices (Auckl). 2016;9:455–466. <https://doi.org/10.2147/MDER.S103102>

national Union of Physical and Rehabilitation Medicine Specialists of Russia and of the national Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists. Annals of Critical Care. 2022;(2):7–40 (In Russ.). <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2022-2-7-40>

4. **Khokhlova O.I.** Rehabilitation Potential of Personality and Functional Independence of Persons With Traumatic Spinal Cord Injury. Politravma = Polytrauma. 2020;(3):100–107 (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/1819-1495-2020-10038>

5. **Joseph C., Rhoda A., Mji G., Statham S., Mlenzana N., De Wet C.** Changes in activity limitations and predictors of functional outcome of patients with spinal cord injury following inpatient rehabilitation. South African Journal of Physiotherapy. 2013;69(1):41–49. <https://doi.org/10.4102/sajp.v69i1.371>

6. **Kareva N.P., Shelyakina O.V., Pavlova E.V.** The Prospects of Anthropomorphic Robotics in Rehabilitation of Patients After Spinal Cord Injury (Review). Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education. 2018;(6):134 (In Russ.).

7. **Geigle P.R., Kallins M.** Exoskeleton-Assisted walking for people with spinal cord injury. Arch. physio. Med. Rehabil. 2017;98(7):1493–1495. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.12.002>

8. **Kotov S.V., Lijdvoy V.Yu., Sekirin A.B., Petrushanskaya K.A., Pismennaya E.V.** The efficacy of the exoskeleton ExoAtlet to restore walking in patients with multiple sclerosis. Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova = Korsakov's Journal of Neurology and Psychiatry. 2017;117(10-2):41–47 (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/jnevro201711710241-47>

9. **Musselman K.E., Verrier M.C., Flett H., Nadeau S., Yang J.F., Farahani F., et al.** Development of Walking indicators to advance the quality of spinal cord injury rehabilitation: SCI-High Project. J. Spinal Cord Med. 2019;42(sup1):119–129. <https://doi.org/10.1080/10790268.2019.1647385>

10. **Vasilchenko E.M., Zoloev G.K., Kislova A.S., Kostrov V.V., Lyakhovetskaya V.V., Karapetyan K.K., et al.** Spinal Cord Independence Measure (SCIM-III). Preparation of the Russian-language version. Medical and Social Expert Evaluation and Rehabilitation. 2016;19(2):96–102 (In Russ.). <https://doi.org/10.18821/1560-9537-2016-19-2-96-102>

11. **Baunsgaard C.B., Nissen U.V., Brust A.K., Frotzler A., Ribbeil C., Kalke Y.B., et al.** Exoskeleton gait training after spinal cord injury: An exploratory study on secondary health conditions. J. Rehabil. Med. 2018;50(9):806–813. <https://doi.org/10.2340/16501977-2372>

12. **Benson I., Hart K., Tussler D., van Middendorp J.J.** Lower-limb exoskeletons for individuals with chronic spinal cord injury: findings from a feasibility study. Clin. Rehabil. 2016;30(1):73–84. <https://doi.org/10.1177/0269215515575166>

13. **Chun A., Asselin P.K., Knezevic S., Kornfeld S., Bauman W.A., Korsten M.A., et al.** Changes in bowel function following exoskeletal-assisted walking in persons with spinal cord injury: an observational pilot study. Spinal Cord. 2020;58(4):459–466. <https://doi.org/10.1038/s41393-019-0392-z>

14. **Esquenazi A., Talaty M., Packel A., Saulino M.** The Re-Walk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury. Am. J. Phys. Med. Rehabil. 2012;91(11):911–921. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e318269d9a3>

15. **Miller L.E., Zimmermann A.K., Herbert W.G.** Clinical effectiveness and safety of powered exoskeleton-assisted walking in patients with spinal cord injury: systematic review with meta-analysis. Med. Devices (Auckl). 2016;9:455–466. <https://doi.org/10.2147/MDER.S103102>

16. **Даминов В.Д., Ткаченко П.В.** Экзоскелеты в медицине: мировой опыт и клиническая практика Пироговского центра. Вестник национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2017;12(4):17–22.

16. **Daminov V.D., Tkachenko P.V.** Exoskeletons in Medicine: World Experience and Clinical Practice of the Pirogov Center. Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center. 2017;12(4):17–22 (In Russ.).

#### Информация об авторах:

**Гвоздарева Мария Андреевна**, заведующий физиотерапевтическим отделением, ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6774-6497> (masha\_gvozdareva@mail.ru)

**Шпагина Любовь Анатольевна**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой госпитальной терапии и медицинской реабилитации, ФГБУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 630091, Новосибирск, Красный пр., 52. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0871-7551> (lashpagina@gmail.com)

**Карева Нина Петровна**, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник отделения патологии позвоночника, ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17; профессор кафедры госпитальной терапии и медицинской реабилитации, ФГБУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 630091, Новосибирск, Красный пр., 52. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3253-7219> (knpnsk@mail.ru)

**Куропатова Екатерина Викторовна**, врач-невролог, ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17 (EKuropatova@niito.ru)

**Рерих Виктор Викторович**, доктор медицинских наук, начальник научно-исследовательского отделения патологии позвоночника, ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8545-0024> (clinic@niito.ru)

#### Information about the authors:

**Mariia A. Gvozdareva\***, Head of the Physiotherapeutic Department, Physiotherapist, Ya.L. Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia, 630091, Novosibirsk, st. Frunze, 17, ORCID: 0000-0001-6774-6497 (MGvozdareva@niito.ru)

**Lubov A. Shpagin**, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor, Head of the Department of Hospital Therapy and Medical Rehabilitation, Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia, 630091, Novosibirsk, Krasny pr., 52. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0871-7551> (lashpagina@gmail.com)

**Nina P. Kareva**, M.D., D.Sc. (Medicine), Leading Researcher, Department of Spine Pathology, Ya.L. Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia, 630091, Novosibirsk, st. Frunze, 17; Professor of the Department of Hospital Therapy and Medical Rehabilitation, Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia, 630091, Novosibirsk, Krasny pr., 52. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3253-7219> (knpnsk@mail.ru)

**Ekaterina V. Kuropatova**, neurologist, Ya.L. Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia, 630091, Novosibirsk, st. Frunze, 17 (EKuropatova@niito.ru)

**Viktor V. Rerikh**, M.D., D.Sc. (Medicine), Head of the Research Department of Spinal Pathology, Ya.L. Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia, 630091, Novosibirsk, st. Frunze, 17, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8545-0024> (clinic@niito.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author





## Влияние произвольной гиповентиляции в дыхательных упражнениях йоги на газообмен и ЭЭГ-активность у здоровых тренированных испытуемых

А.В. Фролов<sup>1,\*</sup>, Ю.А. Бойцова<sup>2</sup>, С.А. Ермолаева<sup>1</sup>, М.Д. Дидур<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Санкт-Петербургский институт восточных методов реабилитации», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт мозга человека им. Н.П. Бехтерева РАН», Санкт-Петербург, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель:** оценка влияния произвольной гиповентиляции в дыхательных упражнениях йоги на газообмен и ЭЭГ-активность у здоровых тренированных испытуемых.

**Материалы и методы:** 25 испытуемых (21 мужчина и 4 женщины, средний возраст  $42,96 \pm 9,19$  года) выполняли гиповентиляционные упражнения йоги со снижением частоты дыхания до 1–1,5 раза/мин. Проводились регистрация частоты дыхания, дыхательного объема и минутного объема дыхания (МОД), газоанализ выдыхаемого воздуха ( $\text{PetCO}_2$ ,  $\text{FeO}_2$ ) и анализ мощности сигналов скрытых источников электроэнцефалограммы (ЭЭГ) при дыхании с частотой 1–1,5 раза/мин и относительно свободном дыхании с мысленным счетом.

**Результаты:** дыхание с частотой 1–1,5 раза/мин обуславливает снижение МОД, развитие альвеолярной гипоксии и гиперкапнии, что приводит к увеличению мощности ряда локальных компонент в медленных  $\delta$ -,  $\theta$ - и  $\alpha$ -диапазонах ЭЭГ. Помимо этого, подобный вид дыхания сопровождается снижением мощности ряда компонент, источники которых находятся в центрально-париетальных, моторных зонах коры в  $\alpha$ - и  $\beta$ -диапазонах, а также сопровождается увеличением мощности компоненты с широко распределенной топографией в  $\beta$ - и  $\gamma$ -диапазонах.

**Заключение:** при произвольной гиповентиляции в дыхательных упражнениях йоги развивается альвеолярная гипоксия и гиперкапния, сопровождающиеся увеличением мощности локальных компонент в медленных диапазонах ЭЭГ. Одновременно снижаются  $\alpha$ - и  $\beta$ -мощности компонент, локализованных в моторных областях коры, что может быть следствием мышечного напряжения во время замедленного режима дыхания.

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

**Ключевые слова:** гипоксия, гиперкапния, дыхательные упражнения, электроэнцефалография, йога, гиповентиляция

**Для цитирования:** Фролов А.В., Бойцова Ю.А., Ермолаева С.А., Дидур М.Д. Влияние произвольной гиповентиляции в дыхательных упражнениях йоги на газообмен и ЭЭГ-активность у здоровых тренированных испытуемых. Спортивная медицина: наука и практика. 2023;13(3):67–77. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.5>

Поступила в редакцию: 27.04.2023

Принята к публикации: 08.12.2023

Online first: 16.12.2023

Опубликована: 28.12.2023

\* Автор, ответственный за переписку

# The effect of voluntary hypoventilation in yoga breathing exercises on gas exchange and EEG activity in healthy trained subjects

Artem V. Frolov<sup>1,\*</sup>, Julia A. Boytsova<sup>2</sup>, Sargylana A. Ermolaeva<sup>1</sup>, Michael M. Didur<sup>2</sup>

<sup>1</sup> St. Petersburg Institute of Oriental Rehabilitation Methods, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Bekhtereva Human Brain Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

## ABSTRACT

**Objective:** to assess the effect of voluntary hypoventilation during yoga breathing exercises on gas exchange and EEG activity in a group of healthy, trained practitioners.

**Materials and methods:** 25 volunteers (21 men and 4 women, average age  $42.96 \pm 9.19$  years) performed hypoventilation yoga exercises with a decrease in respiratory rate to 1–1.5 times/minute. Registration of respiratory rate, tidal volume and minute volume of breathing, gas analysis of exhaled air (PetCO<sub>2</sub>, FeO<sub>2</sub>) and spectral analysis of electroencephalogram (EEG) in gICA model were carried out during breathing with a frequency of 1–1.5 times/minute and during relatively free breathing with mental calculation.

**Results:** Breathing with a frequency of 1–1.5 times/minute causes a decrease in minute volume of breathing, the development of alveolar hypoxia and hypercapnia, which leads to an increase in the power of some local components in the slow delta, theta and alpha EEG bands. In addition, breathing with a frequency of 1–1.5 times/minute is accompanied by a decrease in the alpha- and beta-power of some components, the sources of which are located in the motor areas of the cortex, but is also accompanied by an increase in the power of components with widespread scalp topography in beta and gamma bands.

**Conclusion:** Voluntary hypoventilation during yoga breathing exercises leads to the development of alveolar hypoxia and hypercapnia, accompanied by an increase in the power of local components in the slow EEG bands. At the same time, the alpha and beta powers of components localized in the motor areas of the cortex decrease, which may be a consequence of muscle tension during slow breathing.

**Keywords:** hypoxia, hypercapnia, breathing exercises, electroencephalography, yoga, hypoventilation

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

**For citation:** Frolov A.B., Boytsova J.A., Ermolaeva S.A., Didur M.D. The effect of voluntary hypoventilation in yoga breathing exercises on gas exchange and EEG activity in healthy trained subjects. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2023;13(3):67–77. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.5>

**Received:** 27 April 2023

**Accepted:** 08 December 2023

**Online first:** 16 December 2023

**Published:** 28 December 2023

\*Corresponding author

## 1. Введение

Йога представляет собой комплексную систему психофизического саморазвития, зародившуюся на территории Древней Индии более 2000 лет назад и включающую в себя, помимо прочего, широкий спектр дыхательных и когнитивных упражнений. Регулярная практика дыхательных техник йоги позволяет реализовать целый ряд кардиоваскулярных и вегетативных физиологических эффектов [1, 2] и приводит к улучшению респираторных функций [3].

Дыхательные упражнения йоги подразумевают развитие способности произвольно управлять частотой дыхания (ЧД), существенно изменяя минутный объем дыхания (МОД), что, в свою очередь, сопровождается соответствующими сдвигами газообмена. Ранее была продемонстрирована возможность произвольного снижения МОД за счет уменьшения ЧД до 1 раза/мин при максимально возможном дыхательном объеме (ДО), что приводит к статистически значимым изменениям газообмена — альвеолярной гиперкапнии и гипоксии, а также снижению минимальных значений сатурации гемоглобина [4].

Дозированные и регулярные сеансы гиперкапнии и гипоксии обладают существенным влиянием на устойчивость головного мозга к ишемии [5, 6, 7], в том числе за счет стимуляции митохондриальных АТФ-зависимых калиевых каналов и оказания стимулирующего действия на эритропоэз. Сочетанное воздействие гипоксии и гиперкапнии оказывает максимальное стимулирующее влияние на большинство нейропротекторных механизмов [8]. Гиповентиляционные упражнения йоги потенциально могут рассматриваться как вариант гипоксически-гиперкапнического тренинга, способного влиять на процессы нейропротекции, мозгового кровообращения и микроциркуляции в целом.

Влиянию гиперкапнии и гипоксии на электрическую активность мозга посвящен ряд научных работ. В литературе состояния гипоксии и гиперкапнии в основном исследуются на модели задержки дыхания [9, 10], при дыхании из замкнутого пространства [11], при вдыхании специальной газовой смеси как у новичков, так и у людей тренированных (например, удайверов). Предыдущие исследования показывают, что гипоксически-гиперкапническое воздействие в основном связано

с медленноволновой активностью ЭЭГ. Исследователи рассматривают  $\delta$ -,  $\theta$ - и  $\alpha$ -частотные диапазоны ЭЭГ как основные показатели активности коры, которые связаны с тестами на задержку дыхания и с общей респираторной активностью [12, 13, 14, 15]. Так, например, в исследовании Steinberg et al. [10] во время задержки дыхания наблюдалось уменьшение  $\alpha$ -активности и латеральные модуляции в  $\alpha$ -диапазоне (т.е. более выраженная левая фронтальная  $\alpha$ -активность). Эти изменения, по мнению авторов, могут отражать уникальное психофизиологическое состояние, включающее нехватку воздуха, мотивацию, самоконтроль и когнитивное торможение. Согласно другим данным, гипоксически-гиперкапническое воздействие на модели дыхания из замкнутого пространства в течение трех минут сопровождается увеличением амплитуды  $\delta$ -ритма практически во всех зонах коры и увеличением амплитуды  $\theta$ -ритма в лобной и затылочной коре [11].

В одном из исследований оценивалась зависимость ЭЭГ от частоты дыхания. Измерения проводились при спонтанном дыхании, а затем при эупноэ (0,25 Гц), брадипноэ (0,1 Гц) и тахипноэ (0,5 Гц) на вдохе и выдохе у 10 здоровых испытуемых. Сравнение ЭЭГ при эупноэ, брадипноэ и тахипноэ обнаружило уменьшение спектральной мощности всех диапазонов, кроме дельты, при более высокой частоте дыхания [16]. Отсутствие значительных эффектов вариаций частоты дыхания на параметры ЭЭГ-мощности указывает, что волевое изменение частоты дыхания не усиливает связь между дыханием и электрической активностью мозга и подчеркивает роль центральных механизмов в генерации медленных ритмических изменений электрической активности во время регуляции дыхания [17].

Надо отметить, что в этом и других подобных исследованиях не рассматривалось возможное влияние сдвигов газообмена при изменениях ЧД и МОД, что само по себе может быть существенным фактором влияния.

На сегодня имеется дефицит научных работ, оценивающих электрическую активность мозга на фоне произвольной регуляции МОД и соответствующих сдвигов газообмена. В связи с этим оценка взаимосвязей ЭЭГ-активности и изменений газообмена на фоне произвольной гиповентиляции с удлинением вдоха и выдоха в дыхательных упражнениях йоги может представлять как практический, так и научный интерес.

## 2. Материалы и методы

В исследовании приняли участие 25 испытуемых (21 мужчина и 4 женщины, средний возраст  $42,96 \pm 9,19$  года). Участники считали себя здоровыми и не принимали никаких фармакологических препаратов. Для включения в группу испытуемых использовались следующие критерии: отсутствие неврологических и психиатрических заболеваний, травм головы, судорожной и пароксизмальной активности в анамнезе, отсутствие хронических заболеваний, доминирование

правой руки. Все участники исследования имели стаж регулярных занятий дыхательными упражнениями йоги от 6 месяцев до 20 лет не менее 15 минут 3 раза в неделю.

Все участники исследования обладали опытом регулярного выполнения дыхательных паттернов с ЧД = 1–1,5 раза/мин в течение относительно длительных промежутков времени (15–30 минут и более). Но в рамках текущего исследования выполнение упражнений было ограничено 5–6 дыхательными циклами в течение 8–10 минут с учетом нестандартных условий (дыхание через рот в мундштук и перекрытое носовое дыхание).

Работа проводилась в соответствии с Хельсинкской декларацией о проведении исследований с участием добровольцев. Исследование одобрено Этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета (протокол № 115–02–6 от 04.10.2023 г.). Все испытуемые дали письменное согласие на участие в исследовании после ознакомления с сущностью процедуры.

В рамках исследования участники выполняли следующие дыхательные режимы:

- свободное дыхание в течение 5 минут;
- дыхание в «спецрежиме», то есть с частотой 1–1,5 раза/мин (вдох и выдох длительностью от 20 до 30 секунд в соответствии с индивидуальными возможностями) с максимально доступным дыхательным объемом в течение 5–6 дыхательных циклов.

Описанные выше дыхательные режимы выполнялись в положении сидя с прямой спиной на стуле. Носовое дыхание перекрывалось с помощью зажима, дыхание производилось через рот в трубку спирометра с использованием сертифицированного одноразового противовирусного фильтра BV-filter (производство компании “Vitalograph”, Ирландия).

Всем участникам определялись частота дыхания, минутный объем дыхания, дыхательный объем, парциальное давление  $\text{CO}_2$  в выдыхаемом воздухе в конце выдоха ( $\text{PetCO}_2$ ), процентное содержание  $\text{O}_2$  в выдыхаемом воздухе ( $\text{FeO}_2$ ) и сатурация гемоглобина ( $\text{SpO}_2$ ). Измерения проводились спирометром MAC-2 C с функцией газоанализа и пульсоксиметрии (производство компании «Белинтелмед», г. Минск).

Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывались с помощью средних арифметических величин ( $M$ ) и стандартных отклонений ( $SD$ ), границ 95 % доверительного интервала (95 % ДИ). В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы ( $Me$ ) и нижнего и верхнего квартилей ( $Q1$ – $Q3$ ). Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро — Уилка. При сравнении количественных показателей, распределение которых отличалось от нормального, использовался критерий Уилкоксона.

### Регистрация электроэнцефалограммы

ЭЭГ регистрировали с помощью компьютерного электроэнцефалографа «Мицар-ЭЭГ-202» (производство компании «Мицар», Россия) от 31 электрода: Fp1, Fpz, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, Ft7, Fc3, Fcz, Fc4, Ft8, T3, C3, Cz, C4, T4, Tr7, Cr3, Crz, Cr4, Tr8, T5, P3, Pz, P4, T6, O1, Oz, O2. В качестве референта использовались необъединенные ушные электроды, заземляющий электрод располагался в отведении Fpz. Сопротивление электродов не превышало 5 кОм, частота оцифровки сигналов составляла 2000 Гц, параметры фильтров высокой и низкой частоты были соответственно 0,53 и 50 Гц. Для подавления сетевой электромагнитной помехи использовался цифровой режекторный фильтр 45–55 Гц.

Исследование проводилось в спокойной обстановке при отсутствии отвлекающих стимулов в положении испытуемого сидя в кресле в удобном положении. ЭЭГ-регистрация осуществлялась с одновременной записью ЭКГ по стандартной методике и регистрацией движений грудной клетки пьезокристаллическим датчиком (производство компании «SleepSense», Израиль) (табл. 1).

Для обработки данных использовалась программа WinEEG. Перед процедурой удаления артефактов записи ЭЭГ подвергались фильтрации, использовался фильтр низкой частоты 1,6 Гц и фильтр высокой частоты 50 Гц. Также записи приводились к референтному монтажу (объединенные электроды на мочках ушей).

Из дальнейшего анализа автоматически удалялись эпохи, которые содержали медленные волны в диапазоне 0–1 Гц с амплитудой более 50 мкВ и быстрые колебания в диапазоне 20–35 Гц с амплитудой более 35 мкВ. Это позволило удалить из анализа артефакты, связанные с медленными движениями головы или тела испытуемого, и миографические артефакты, связанные с напряжением мышц, сжатием зубов, глотанием и др.

Динамика мощности ЭЭГ в 7 частотных диапазонах —  $\delta$  (1,5–3 Гц),  $\theta$  (3,5–7 Гц),  $\alpha_1$  (7,5–10 Гц),  $\alpha_2$  (10,5–14 Гц),  $\beta_1$  (14,5–20 Гц),  $\beta_2$  (20,5–30 Гц) и  $\gamma$  (30–40 Гц) — рассчитывалась для сигналов в модели gICA [18].

Модель gICA предполагает, что число источников не может превышать число датчиков или ЭЭГ-отведений — в нашем случае это 31 ЭЭГ-канал. Для снижения размерности матрицы смешивания сигналов использовался метод главных компонент. Компоненты, которые описывают менее 0,1 % дисперсии сигналов ЭЭГ, исключались из анализа. Таким образом, число источников было уменьшено до 25. Полученные оценки топографий источников представлены на рис. 1.

Статистическая обработка различий сигналов ЭЭГ между сравниваемыми состояниями проводилась в каждом частотном диапазоне для каждой компоненты в отдельности при помощи Wilcoxon signed test, различия признавались значимыми при  $p \leq 0,01$ .

### 3. Результаты

Электроэнцефалография. Проведен сравнительный анализ мощности сигналов скрытых источников ЭЭГ (для разных частотных диапазонов) в состояниях: дыхание в «спецрежиме» относительно свободного дыхания с мысленным счетом (табл. 2).

Дыхание в «спецрежиме» относительно свободного дыхания с мысленным счетом в  $\delta$ -диапазоне ЭЭГ отличается увеличением мощности компоненты № 2, источники которой находятся в центрально-париетальной области. В  $\theta$ -диапазоне дыхание в «спецрежиме» отличается увеличением мощности компонент № 12 и 23, источники которых находятся в правой затылочной области и левой передневисочной области. Также дыхание в «спецрежиме» отличается от свободного дыхания с мысленным счетом большими значениями мощности компонент № 14, 17, 19, 23 в  $\alpha_1$ -диапазоне, источники сигналов данных компонент находятся в височных областях правого и левого полушарий. В  $\alpha_2$ -диапазоне дыхание в «спецрежиме» характеризуется увеличением мощности компонент № 13 и 17, источники которых находятся в левой задневисочной области. Также дыхание в «спецрежиме» относительно свободного дыхания характеризуется уменьшениями мощности компонент № 7, 8 (для  $\alpha_1$ -диапазона)

Таблица 1

### Протокол «Электроэнцефалография»

Table 1

### Protocol "Electroencephalography"

№ этапа исследования	Название этапа	Длительность, мин
1	Регистрация ЭЭГ на фоне свободного естественного дыхания, глаза закрыты	5
2	Регистрация ЭЭГ на фоне свободного естественного дыхания с мысленным счетом от 1 до 20 (или от 1 до 30) под звук метронома с частотой 60 ударов/минуту, глаза закрыты	5
3	Регистрация ЭЭГ на фоне дыхания в «спецрежиме» с частотой 1 раз/мин — вдох/выдох по 30 сек или 1,5 раза/мин — вдох/выдох по 20 сек (мысленный счет длительности вдоха и выдоха волонтером по звуку метронома 60 ударов/мин), глаза закрыты	5
4	Регистрация ЭЭГ на фоне свободного естественного дыхания, глаза закрыты	10
Общее время		25



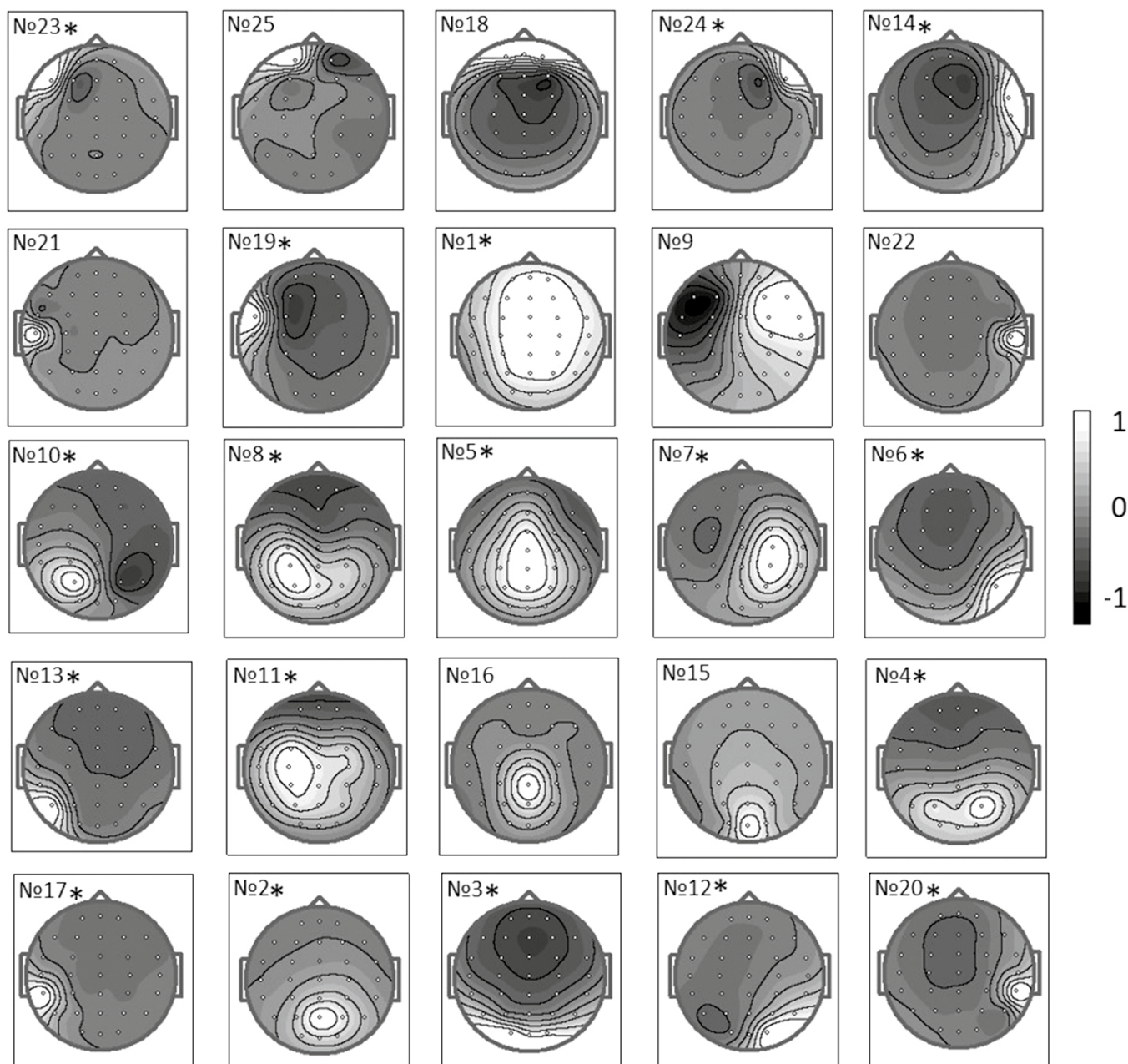


Рис. 1. Топографии источников в модели glCA.

Порядковый номер компоненты отражает вклад компоненты (в процентах) в описание дисперсии сигналов ЭЭГ. Астериском отмечены компоненты, для которых выявлены достоверные различия мощности между сравниваемыми состояниями

Fig. 1. Topographies of sources in the glCA model.

The serial number of the component reflects the contribution of the component (in percent) to the description of the dispersion of EEG signals. An asterisk marks the components for which significant differences in power between the compared states were revealed

и компонент № 7, 8 и 11 (для  $\alpha_2$ -диапазона), источники которых находятся в центрально-париетальных отделах правого и левого полушарий.

В  $\beta_1$ -,  $\beta_2$ -и  $\gamma$ -диапазонах ЭЭГ дыхание в «спецрежиме» относительно свободного дыхания характеризуется большим значением мощности компоненты № 1 с пространственно широко распределенной топографией. Также в  $\beta_1$ -диапазоне дыхание в «спецрежиме» отличается большими значениями мощности компонент № 3, 6,

12, 13, 17 и 20, источники которых находятся в височных и затылочных отделах. В  $\beta_2$  диапазоне дыхание в «спецрежиме» отличается большими значениями мощности компонент № 3, 6, 13, 14, 17, 20 и 24, источники которых также находятся в височных и затылочных отделах. Вместе с тем дыхание в «спецрежиме» относительно свободного дыхания характеризуется уменьшением мощности компонент № 7, 8, 11 (в  $\beta_1$ -диапазоне) и компонент № 5, 7, 8 (в  $\beta_2$ -диапазоне), источники которых находятся

Таблица 2

Достоверные (Wilcoxon signed test,  $p \leq 0,01$ ) изменения мощности сигналов ЭЭГ в состоянии дыхания в «специальном режиме» относительно свободного дыхания с мысленным счетом для каждого частотного диапазона ЭЭГ.  
 Порядковый номер компоненты отражает вклад компоненты (в процентах) в описание дисперсии сигналов ЭЭГ

Table 2

Significant (Wilcoxon signed test,  $p \leq 0.01$ ) changes in the power of EEG signals in the breathing state in the “special mode” relative to free breathing with mental counting for each EEG frequency band.  
 The serial number of the component reflects the contribution of the component (in percent) to the description of the dispersion of EEG signals

Частотный диапазон ЭЭГ	Направленность изменений во время дыхания в «специальном режиме» относительно свободного дыхания	Топографии источников (в модели gICA), в которых показаны достоверные (Wilcoxon signed test, $p \leq 0.01$ ) изменения мощности сигналов ЭЭГ во время дыхания в «специальном режиме» относительно свободного дыхания с мысленным счетом
$\delta$ (1,5–3 гц)	Увеличение	2
$\theta$ (3,5–7 гц)	Увеличение	12, 23
$\alpha 1$ (7,5–10 гц)	Увеличение	14, 17, 19, 23
	Уменьшение	7, 8
$\alpha 2$ (10,5–14 гц)	Увеличение	13, 17
	Уменьшение	7, 8, 11
$\beta 1$ (14,5–20 гц)	Увеличение	1, 3, 6, 12, 13, 17, 20
	Уменьшение	7, 8, 11
$\beta 2$ (20,5–30 гц)	Увеличение	1, 3, 6, 13, 14, 17, 20, 24
	Уменьшение	5, 7, 8
$\gamma$ (30–40 гц)	Увеличение	1, 3, 4, 6, 10, 12, 13, 14, 17, 20, 24
	Уменьшение	23

в центрально-париетальных отделах. В  $\gamma$ -диапазоне дыхание в «специальном режиме» также отличается большими значениями мощности компонент № 3, 4, 6, 10, 12, 13, 14, 17, 20 и 24, источники которых находятся в височных и затылочных отделах, и меньшими значениями мощности компоненты № 23, источник которой находится в левой передневисочной области.

#### Спирометрия и газоанализ

При регистрации свободного дыхания спирометрические показатели в группе имели следующие средние значения: ЧД —  $11,16 \pm 0,69$  (95% ДИ 9,73–12,59) раз/мин, ДО — 0,71 (0,68–0,89) л, МОД — 9,19 (6,96–10,24) л/мин.  $\text{PetCO}_2$  в состоянии покоя составил 37,70 (36,10–40,60) мм рт. ст.,  $\text{FeO}_2$ –13,80% (13,20–14,40%). При регистрации дыхания с ЧД = 1–1,5 раза/мин наблюдалось статистически значимое снижение МОД по сравнению со свободным дыханием до 5,04 (3,86–5,98) л/мин ( $p < 0,001$ ), а ДО составил 4,49 (4,01–4,93) л. Регистрировалось значимое увеличение уровня  $\text{PetCO}_2$  до 44,70 (41,90–46,60) мм рт. ст. — альвеолярная гиперкапния ( $p < 0,001$ ) (табл. 3) Значения  $\text{FeO}_2$  значимо снижались до 10,70% (10,10–11,80%), демонстрируя альвеолярную гипоксию ( $p < 0,001$ ) (табл. 3 и рис. 2).

#### 4. Обсуждение

Режим ЧД = 1–1,5 раза/минуту по сравнению с исходным продемонстрировал значимое уменьшение МОД, при этом регистрировались соответствующие изменения газообмена (альвеолярная гиперкапния и гипоксия). Данное гипоксически-гиперкапническое воздействие сопровождается локальными увеличениями мощности ряда компонент во всех рассматриваемых диапазонах ЭЭГ. Отдельно можно отметить, что гипоксически-гиперкапническое воздействие сопровождается уменьшением мощности компонент, источники которых находятся в центрально-париетальных отделах, в  $\alpha$ - и  $\beta$ -диапазонах ЭЭГ и сопровождается увеличением мощности компоненты с пространственно широко распределенной топографией в  $\beta$ - и  $\gamma$ -диапазонах.

Полученные нами изменения мощности компонент в  $\delta$ -,  $\theta$ - и  $\alpha$ -диапазонах ЭЭГ согласуются с данными литературы, где гипоксически-гиперкапническое воздействие в основном связывается с медленноволновой ( $\delta$ ,  $\theta$  и  $\alpha$ ) активностью. В частности, показано, что гипоксически-гиперкапническое воздействие (дыхание из замкнутого пространства в течение трех минут) сопровождалось увеличением амплитуды  $\delta$ -ритма практически во всех зонах коры и увеличением амплитуды  $\theta$ -ритма

Таблица 3

Результаты газоанализа при дыхании в покое и в режиме гиповентиляции ( $n = 25$ )

Table 3

Results of gas analysis when breathing at rest and in hypoventilation mode ( $n = 25$ )

Показатель	Свободное дыхание	ЧД = 1-1,5 раза/минуту	$p$
МОД (л/мин)	9,19 (6,96–10,24)	5,04 (3,86–5,98)	< 0,001*
РетСО <sub>2</sub> макс (мм рт. ст.)	37,70 (36,10–40,60)	44,70 (41,90–46,60)	< 0,001*
FeO <sub>2</sub> средний (%)	13,80 (13,20–14,40)	10,70 (10,10–11,80)	< 0,001*

Примечание: \* — различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ).

Note: \* — differences in indicators are statistically significant ( $p < 0.05$ ).

в лобной и затылочной коре [11]. То есть в ответ на вдыхание воздуха с пониженным содержанием кислорода на ЭЭГ реакция проявлялась в виде диффузной пароксизмальной активности. При изучении ЭЭГ в условиях экзогенной гипобарической гипоксии также показано, что на высотах около 8000 метров наступает 2-я стадия гипоксии мозга и начинают доминировать медленно-волновые высокоамплитудные ритмы [19]. Снижение мощности в  $\alpha$ -диапазоне авторы связывают с эффектами сдвигов газового состава крови с усилением гипоксии и гиперкапнии. В исследовании с использованием гиперкапнических стимулов (вдыхание газовой смеси с повышенным содержанием CO<sub>2</sub>) было обнаружено увеличение мощности в  $\delta$ -диапазоне во всех мозговых тканях, что рассматривалось авторами как признак того, что мозг входит в состояние низкого возбуждения при вдыхании CO<sub>2</sub> [20].

Известно, что гиповентиляция приводит к увеличению РаСО<sub>2</sub>, снижению рН крови, вызывая расширение сосудов и приводя к увеличению церебрального кровотока. Усиление медленноволновой активности на ЭЭГ при гиповентиляции может рассматриваться как следствие усиления притока крови к продолговатому мозгу и гипоталамусу при кислородной недостаточности и при действии углекислоты. Таким образом, активируются ретикулокортикальные и таламокортикальные системы, которые и приводят к усилению медленноволновой активности с развитием охранительного торможения деятельности коры головного мозга [11].

Известно, что в состоянии покоя у здоровых людей спектральные характеристики частотных диапазонов ЭЭГ связаны с колебаниями BOLD-сигнала (blood oxygen level-dependent), то есть с изменениями локального мозгового кровотока [21, 22, 23]. В частности, показана антикорреляция между BOLD-сигналом как показателем уровня мозгового кровотока и мощностью в  $\alpha$ -диапазоне ЭЭГ. Поэтому снижение мощности в  $\alpha$ -диапазоне при гиповентиляции может рассматриваться как отражение процесса увеличения церебрального кровотока в соответствующих зонах мозга и их

активации. В частности, показанное в проведенном исследовании уменьшение  $\alpha 1$ -и  $\alpha 2$ -мощности в моторных, центрально-париетальных отделах (отведения С3, С4, СР3, СР4) согласуется с литературными данными [10], где показано аналогичное снижение  $\alpha$ -активности через 2 минуты задержки дыхания у новичков и через 4 минуты задержки дыхания у опытных дайверов, что может расцениваться как показатель активации моторных зон коры. Авторы исследования предположили, что расслабленное состояние является основой для длительной задержки дыхания, поскольку способствует снижению потребления кислорода [24]. У опытных дайверов больше развита способность к релаксации, вызванная тренировкой, и более высокая толерантность к восприятию недостатка воздуха, и поэтому у них снижение  $\alpha$ -активности отмечается позже во времени и характеризует активацию моторных зон коры только на последних стадиях задержки дыхания.

Относительно изменений электрической активности мозга в высокочастотных диапазонах при гипоксии до сих пор существуют лишь ограниченные данные. Увеличение мощности в  $\gamma$ -диапазоне ЭЭГ при длительной задержке дыхания было показано во всех областях коры и локально в париетальных отделах. Показано также усиление мощности в  $\beta 2$ -диапазоне в центральных

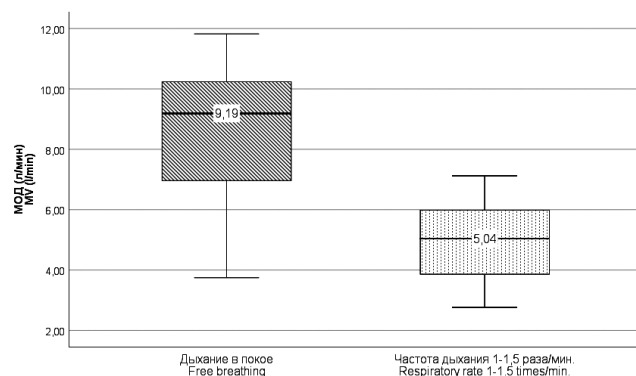


Рис. 2. Сравнение МОД в покое и гиповентиляционном режиме  
Fig. 2. Minute ventilation (MV) during free breathing and in hypoventilation mode

отделах коры. Усиление мощности в  $\beta$ - и  $\gamma$ -диапазонах может рассматриваться как показатель высокой кортикальной реактивности в ответ на стресс от нехватки кислорода при задержке дыхания [9].

Также существует мнение, что усиление колебаний в  $\gamma$ -диапазоне тесно связано с усилением локальной гемодинамической активности [25], поэтому усиление  $\gamma$ -мощности в нашем случае также может быть показателем усиления мозгового кровотока при гиповентиляции. Однако есть и данные о том, что связь между высокочастотной активностью в ЭЭГ и уровнем мозгового кровотока не такая однозначная [26]. В любом случае усиление высокочастотной ЭЭГ-активности коры связывается с метаболической активностью в соответствующей локальной корковой области [27].

В исследованиях  $\beta$ - и  $\gamma$ -колебания рассматриваются как связанные со многими когнитивными процессами [28]. В проведенном исследовании изучался режим дыхания с ЧД = 1–1,5 раза/мин с развитием альвеолярной гиперкапнии и гипоксии. Известно, что кислородное голодание, или нехватка воздуха, — это ощущение, воспринимаемое как изменение гомеостаза организма [29] и вызывающее сильные, стрессующие эмоциональные реакции, предупреждающие организм о возможной угрозе жизни [30, 31]. Эти изменения запускают целый каскад непроизвольных реакций, направленных на поддержание гомеостаза путем восстановления естественного режима дыхания. Преодоление этих механизмов регуляции требует значительного произвольного контроля и мотивации от испытуемых. Показано, что восходящие (bottom-up) и нисходящие (top-down) факторы влияют на синхронизацию нейронной активности в  $\gamma$ -диапазоне; более того, предполагается, что  $\gamma$ -активность может быть связана с координацией этих влияний [32]. Исходя из всего этого, можно предположить, что увеличение мощности компоненты с широко распределенной топографией в высокочастотных  $\beta$ - и  $\gamma$ -диапазонах, обнаруженное во время дыхания в гиповентиляционном режиме, может отражать процессы конкуренции между непроизвольными восходящими влияниями, сигнализирующими об изменении газового состава крови и запускающими механизмы восстановления естественного режима дыхания, и нисходящими

#### **Вклад авторов:**

**Фролов Артем Владимирович** — идея исследования, обзор публикаций по теме статьи, разработка дизайна исследования, отбор и обследование участников, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи;

**Бойцова Юлия Александровна** — обзор публикаций по теме статьи, разработка дизайна исследования, статистическая обработка, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи;

**Ермолаева Саргылана Александровна** — анализ и интерпретация данных, статистическая обработка данных, написание текста рукописи;

**Дидур Михаил Дмитриевич** — окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

влияниями, направленными на произвольный контроль дыхательной мускулатуры и формирование должной мотивации для поддержания замедленного режима дыхания.

Следует отметить, что усиление мощности в  $\beta$ - и  $\gamma$ -диапазонах ЭЭГ также может быть связано с усилением вклада мышечной активности (миограммы) во время дыхательного упражнения, поскольку произвольная регуляция дыхания в этом режиме потенциально может сопровождаться дополнительным напряжением лицевых мышц и мышц шеи. Вероятно, для дальнейших исследований может быть полезной дополнительная регистрация миограммы лицевых мышц и мышц шеи во время записи ЭЭГ.

Также одним из ограничений данного исследования является невозможность на данном этапе рассмотреть по отдельности метаболический (изменение газового состава крови) и когнитивный (произвольный контроль частоты дыхания) факторы. Дальнейшие исследования могут быть ориентированы в этом направлении.

#### **5. Заключение**

Дыхание с частотой 1–1,5 раза/мин приводит к снижению МОД, альвеолярной гипоксии и гиперкапнии, что сопровождается локальными увеличениями мощности ряда компонент в  $\delta$ -,  $\theta$ - и  $\alpha$ -диапазонах ЭЭГ, что может быть следствием компенсаторно-приспособительных реакций из-за изменения газового состава крови. Данный режим дыхания также сопровождается снижением  $\alpha$ - и  $\beta$ -мощности компонент, источники которых находятся в моторных областях коры. Это может свидетельствовать об увеличении мозгового кровотока в данных областях вследствие мышечного напряжения. Помимо этого, дыхание с частотой 1–1,5 раза/мин сопровождается увеличением  $\beta$ - и  $\gamma$ -мощности в компоненте с широко распределенной по коре топографией. Эти изменения могут быть связаны с усилением локального мозгового кровотока, могут отражать процессы конкуренции между непроизвольными восходящими влияниями, сигнализирующими об изменении газового состава крови и нисходящими влияниями, направленными на произвольный контроль дыхательной мускулатуры для поддержания замедленного режима дыхания.

#### **Author contributions:**

**Artem B. Frolov** — idea of the study, review of publications on the topic of the article, development of the study design, selection and examination of participants, analysis and interpretation of data, writing the text of the manuscript;

**Julia A. Boytsova** — review of publications on the topic of the article, development of study design, statistical processing, analysis and interpretation of data, writing the text of the manuscript;

**Sargylana A. Ermolaeva** — analysis and interpretation of data, statistical data processing, writing the manuscript;

**Michael M. Didur** — final approval of the article version for publication.



**Список литературы**

1. **Muralikrishnan K., Balakrishnan B., Balasubramanian K., Visnegarawla F.** Measurement of the effect of Isha Yoga on cardiac autonomic nervous system using short-term heart rate variability. *J. Ayurveda Integr. Med.* 2012;3(2):91–96. <https://doi.org/10.4103/0975-9476.96528>
2. **Nivethitha L., Mooventha A., Manjunath N.K.** Effects of Various Prāṇāyāma on Cardiovascular and Autonomic Variables. *Anc. Sci. Life.* 2016;36(2):72–77. [https://doi.org/10.4103/asl.ASL\\_178\\_16](https://doi.org/10.4103/asl.ASL_178_16)
3. **Dinesh T., Gaur Gs., Sharma Vk., Madanmohan T., Harichandra Kumar Kt., Bhavanani Ab.** Comparative effect of 12 weeks of slow and fast pranayama training on pulmonary function in young, healthy volunteers: A randomized controlled trial. *Int. J. Yoga.* 2015;8(1):22–26. <https://doi.org/10.4103/0973-6131.146051>
4. **Фролов А.В., Ермолаева С.А., Маничев И.А.** Гиповентиляционные упражнения йоги: влияние на газообмен. *Вестник восстановительной медицины.* 2021;20(5):73–80. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-5-73-80>
5. **Rybnikova E., Gluschenko T., Tulkova E., Churilova A., Jaroshevich O., Baranova K., Samoilov M.** Preconditioning induces prolonged expression of transcription factor pCREB and NF- $\kappa$ B in the neocortex of rats before and following severe hypobaric hypoxia. *J. Neurochem.* 2008;106(3):1450–1458. <https://doi.org/10.1111/j.1471-4159.2008.05516.x>
6. **Zhan L., Wang T., Li W., Xu Z.C., Sun W., Xu E.** Activation of Akt/FoxO signaling pathway contributes to induction of neuroprotection against transient global cerebral ischemia by hypoxic pre-conditioning in adult rats. *J. Neurochem.* 2010;114(3):897–908. <https://doi.org/10.1111/j.1471-4159.2010.06816.x>
7. **Tao T., Liu Y., Zhang J., Xu Y., Li W., Zhao M.** Therapeutic hypercapnia improves functional recovery and attenuates injury via antiapoptotic mechanisms in a rat focal cerebral ischemia/reperfusion model. *Brain. Res.* 2013;(1533):52–62. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2013.08.014>
8. **Трегуб П.П., Куликов В.П., Малиновская Н.А.** Механизмы нейропротекторного эффекта сочетанного воздействия гипоксии и гиперкапнии. *Сибирское медицинское обозрение.* 2018;(3):5–13. <https://doi.org/10.20333/2500136-2018-3-5-13>
9. **Kustubayeva A.M., Matthews G.** Differences in eeg oscillations during vasoactive stress reactions in extroverts and introverts. *RUDN Journal of Psychology and Pedagogics.* 2012;(4):114–121.
10. **Steinberg F., Pixa N.H. and Doppelmayr M.** Electroencephalographic alpha activity modulations induced by breath-holding in apnoea divers and non-divers. *Physiol. Behav.* 2017;179:90–98. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.05.028>
11. **Бойцова Ю.А.** К вопросу о влиянии гипоксически-гиперкапнической нагрузки на биоэлектрическую активность головного мозга человека. В: *Материалы съезда физиологического общества им. И.П. Павлова с международным участием.* Москва: Истоки; 2017, с. 673–675.
12. **Schellart N., Reits D.** Is magnetoencephalography applicable in the clinical neurophysiology of diving? *SPUMS J.* 1999;(29):156–158.
13. **Xu F., Uh J., Brier M.R., Jr J.H., Yezhuvath U.S., et al.** The influence of carbon dioxide on brain activity and metabolism in conscious humans. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2010;31(1):58–67. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2010.153>

**References**

1. **Muralikrishnan K., Balakrishnan B., Balasubramanian K., Visnegarawla F.** Measurement of the effect of Isha Yoga on cardiac autonomic nervous system using short-term heart rate variability. *J. Ayurveda Integr. Med.* 2012;3(2):91–96. <https://doi.org/10.4103/0975-9476.96528>
2. **Nivethitha L., Mooventha A., Manjunath N.K.** Effects of Various Prāṇāyāma on Cardiovascular and Autonomic Variables. *Anc. Sci. Life.* 2016;36(2):72–77. [https://doi.org/10.4103/asl.ASL\\_178\\_16](https://doi.org/10.4103/asl.ASL_178_16)
3. **Dinesh T., Gaur Gs., Sharma Vk., Madanmohan T., Harichandra Kumar Kt., Bhavanani Ab.** Comparative effect of 12 weeks of slow and fast pranayama training on pulmonary function in young, healthy volunteers: A randomized controlled trial. *Int. J. Yoga.* 2015;8(1):22–26. <https://doi.org/10.4103/0973-6131.146051>
4. **Frolov A.V., Ermolaeva S.A., Manichev I.A.** Hypoventilation Yoga Exercises: Effects on Respiratory Metabolism. *Bulletin of Rehabilitation Medicine.* 2021; 20(5):73–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-5-73-80>
5. **Rybnikova E., Gluschenko T., Tulkova E., Churilova A., Jaroshevich O., Baranova K., Samoilov M.** Preconditioning induces prolonged expression of transcription factor pCREB and NF- $\kappa$ B in the neocortex of rats before and following severe hypobaric hypoxia. *J. Neurochem.* 2008;106(3):1450–1458. <https://doi.org/10.1111/j.1471-4159.2008.05516.x>
6. **Zhan L., Wang T., Li W., Xu Z.C., Sun W., Xu E.** Activation of Akt/FoxO signaling pathway contributes to induction of neuroprotection against transient global cerebral ischemia by hypoxic pre-conditioning in adult rats. *J. Neurochem.* 2010;114(3):897–908. <https://doi.org/10.1111/j.1471-4159.2010.06816.x>
7. **Tao T., Liu Y., Zhang J., Xu Y., Li W., Zhao M.** Therapeutic hypercapnia improves functional recovery and attenuates injury via antiapoptotic mechanisms in a rat focal cerebral ischemia/reperfusion model. *Brain. Res.* 2013;(1533):52–62. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2013.08.014>
8. **Tregub P.P., Kulikov V.P., Malinovskaya N.A.** Neuroprotective effect mechanisms of hypoxia and hypercapnia combined impact. *Siberian Medical Review.* 2018; (3):5–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.20333/2500136-2018-3-5-13>
9. **Kustubayeva A.M., Matthews G.** Differences in eeg oscillations during vasoactive stress reactions in extroverts and introverts. *RUDN Journal of Psychology and Pedagogics.* 2012;(4):114–121.
10. **Steinberg F., Pixa N.H. and Doppelmayr M.** Electroencephalographic alpha activity modulations induced by breath-holding in apnoea divers and non-divers. *Physiol. Behav.* 2017;179:90–98. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.05.028>
11. **Boytsova Yu.A.** About the effect of hypercapnic hypoxia on bioelectrical brain activity. *Materials of the XXIII Congress of the Physiological Society named after I.P. Pavlova with international participation.* Moscow: Istoki Publ.; 2017, p. 673–675. (In Russ.).
12. **Schellart N., Reits D.** Is magnetoencephalography applicable in the clinical neurophysiology of diving? *SPUMS J.* 1999;(29):156–158.
13. **Xu F., Uh J., Brier M.R., Jr J.H., Yezhuvath U.S., et al.** The influence of carbon dioxide on brain activity and metabolism in conscious humans. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2010;31(1):58–67. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2010.153>

14. Wang D., Yee B.J., Wong K.K., Kim J.W., Dijk D.J. Comparing the effect of hypercapnia and hypoxia on the electroencephalogram during wakefulness. *Clin. neurophysiol.* 2015;126(1):103–109. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.04.012>
15. Morelli M.S., Giannoni A., Passino C., Landini L., Emdin M., Vanello N. A cross-correlational analysis between electroencephalographic and end-tidal carbon dioxide signals: Methodological issues in the presence of missing data and real data results. *Sensors.* 2016;16(11):1828. <https://doi.org/10.3390/s16111828>
16. Bušek P., Kemlink D. The influence of the respiratory cycle on the EEG. *Physiol. Res.* 2005;54(3):327–333.
17. Stanchak A. Jr., Pfeffer D., Hrudova L., Sovka P., Dostalek C. Electroencephalographic correlates of paced breathing. *Neuroreport.* 1993;4(6):723–726. <https://doi.org/10.1097/00001756-199306000-00031>
18. Пономарев В.А. Скрытые источники электроэнцефалограммы и связанных с событиями потенциалов и их значение [диссертация]. Санкт-Петербург; 2016.
19. Евсеева М.А., Евсеев А.В., Правдивцев В.А., Шабанов П.Д. Механизмы развития острой гипоксии и пути ее фармакологической коррекции. *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии.* 2008;6(1):3–25.
20. Xu F., Uh J., Brier M.R., Hart J.Jr, Yezhuvath U.S., Gu H., et al. The influence of carbon dioxide on brain activity and metabolism in conscious humans. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2010;31(1):58–67. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2010.153>
21. Portnova G., Tetereva A., Balaev V.V., Atanov M., Skiteva L., Ushakov V., et al. Correlation of BOLD signal with linear and nonlinear patterns of EEG in resting state EEG-informed fMRI. *Front. Hum. Neurosci.* 2018;11:654. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00654>.
22. Sclocco R., Tana M.G., Visani E., Gilioli I., Panzica F., Franceschetti S., et al. EEG-informed fMRI analysis during a hand grip task: estimating the relationship between EEG rhythms and the BOLD signal. *Front. Hum. Neurosci.* 2014;8:186. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00186>
23. Козлова Л.И., Петровский Е.Д., Веревкин Е.Г., Мельников М.Е., Савелов А.А., Штарк М.Б. Связанные с альфа-ритмом изменения BOLD-сигнала при нейробиоуправлении. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины.* 2019;168(8):149–154.
24. Schagatay E. Predicting performance in competitive apnoea diving. Part I: static apnoea diving. *Diving Hyperb. Med.* 2009;39(2):88–99.
25. Logothetis N.K., Pauls J., Augath M., Trinath T., Oeltermann A. Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal. *Nature.* 2001;412(6843):150–157. <https://doi.org/10.1038/35084005>
26. Butler R., Bernier P.-M., Lefebvre J., Gilbert G., Whittings-tall K. Decorrelated Input Dissociates Narrow Band  $\gamma$ Power and BOLD in Human Visual Cortex. *J. Neurosci.* 2017;37(22):5408–5418. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3938-16.2017>
27. Cook I.A., O'Hara R., Uijtdehaage S.H., Mandelkern M., Leuchter A.F. Assessing the accuracy of topographic EEG mapping for determining local brain function. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1998;107(6):408–414. [https://doi.org/10.1016/s0013-4694\(98\)00092-3](https://doi.org/10.1016/s0013-4694(98)00092-3)
28. Данилова Н.Н. Роль высокочастотных ритмов электрической активности мозга в обеспечении психических процессов. *Психология. Журнал Высшей школы экономики.* 2006;3(2):62–72.
14. Wang D., Yee B.J., Wong K.K., Kim J.W., Dijk D.J. Comparing the effect of hypercapnia and hypoxia on the electroencephalogram during wakefulness. *Clin. neurophysiol.* 2015;126(1):103–109. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.04.012>
15. Morelli M.S., Giannoni A., Passino C., Landini L., Emdin M., Vanello N. A cross-correlational analysis between electroencephalographic and end-tidal carbon dioxide signals: Methodological issues in the presence of missing data and real data results. *Sensors.* 2016;16(11):1828. <https://doi.org/10.3390/s16111828>
16. Bušek P., Kemlink D. The influence of the respiratory cycle on the EEG. *Physiol. Res.* 2005;54(3):327–333.
17. Stanchak A. Jr., Pfeffer D., Hrudova L., Sovka P., Dostalek C. Electroencephalographic correlates of paced breathing. *Neuroreport.* 1993;4(6):723–726. <https://doi.org/10.1097/00001756-199306000-00031>
18. Ponomarev V.A. Hidden sources of electroencephalogram and event-related potentials and their significance [dissertation]. Saint Petersburg; 2016. (In Russ.).
19. Evseeva M.A., Evseev A.V., Pravdivtsev V.A., Shabanov P.D. Mehanizmy razvitiya ostroi gipoksii i puti eyo farmakologicheskoi korrektsii. *Reviews on Clinical Pharmacology and Drug Therapy.* 2008;6(1):3–25. (In Russ.).
20. Xu F., Uh J., Brier M.R., Hart J.Jr, Yezhuvath U.S., Gu H., et al. The influence of carbon dioxide on brain activity and metabolism in conscious humans. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2010;31(1):58–67. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2010.153>
21. Portnova G., Tetereva A., Balaev V.V., Atanov M., Skiteva L., Ushakov V., et al. Correlation of BOLD signal with linear and nonlinear patterns of EEG in resting state EEG-informed fMRI. *Front. Hum. Neurosci.* 2018;11:654. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00654>.
22. Sclocco R., Tana M.G., Visani E., Gilioli I., Panzica F., Franceschetti S., et al. EEG-informed fMRI analysis during a hand grip task: estimating the relationship between EEG rhythms and the BOLD signal. *Front. Hum. Neurosci.* 2014;8:186. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00186>
23. Kozlova L.I., Petrovskii E.D. Verevkin E.G., Melnikov M.E., Savelov A.A., Shtark M.B. EEG alpha-rhythm related changes of BOLD fMRI signal in neurofeedback training. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine.* 2019;168(8):149–154. (In Russ.).
24. Schagatay E. Predicting performance in competitive apnoea diving. Part I: static apnoea diving. *Diving Hyperb. Med.* 2009;39(2):88–99.
25. Logothetis N.K., Pauls J., Augath M., Trinath T., Oeltermann A. Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal. *Nature.* 2001;412(6843):150–157. <https://doi.org/10.1038/35084005>
26. Butler R., Bernier P.-M., Lefebvre J., Gilbert G., Whittings-tall K. Decorrelated Input Dissociates Narrow Band  $\gamma$ Power and BOLD in Human Visual Cortex. *J. Neurosci.* 2017;37(22):5408–5418. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3938-16.2017>
27. Cook I.A., O'Hara R., Uijtdehaage S.H., Mandelkern M., Leuchter A.F. Assessing the accuracy of topographic EEG mapping for determining local brain function. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1998;107(6):408–414. [https://doi.org/10.1016/s0013-4694\(98\)00092-3](https://doi.org/10.1016/s0013-4694(98)00092-3)
28. Danilova N.N. The Role of Highfrequency Electrical Brain Activity in the Realization of Psychological Processes. *Psychology.* 2006;3(2):62–72. (In Russ.).

29. **Craig A.D.** How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nat. Rev. Neurosci.* 2002;3(8):655–666. <https://doi.org/10.1038/nrn894>
30. **Liotti M., Brannan S., Egan G., Shade R., Madden L., Abplanalp B., et al.** Brain responses associated with consciousness of breathlessness (air hunger). *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2001;98(4):2035–2040. <https://doi.org/10.1073/pnas.98.4.2035>
31. **Laurino M., Menicucci D., Matorci F., Allegrini P., Piarulli A., Scilingo E.P., et al.** Mind-body relationships in elite apnea divers during breath holding: A study of autonomic responses to acute hypoxemia. *Front. Neuroeng.* 2012;5:4. <https://doi.org/10.3389/fneng.2012.00004>
32. **Herrmann C.S., Munk M.H.J., Engel A.K.** Cognitive functions of gamma-band activity: memory match and utilization. *Trends Cogn. Sci.* 2004;8(8):347–355. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.06.006>
29. **Craig A.D.** How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nat. Rev. Neurosci.* 2002;3(8):655–666. <https://doi.org/10.1038/nrn894>
30. **Liotti M., Brannan S., Egan G., Shade R., Madden L., Abplanalp B., et al.** Brain responses associated with consciousness of breathlessness (air hunger). *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2001;98(4):2035–2040. <https://doi.org/10.1073/pnas.98.4.2035>
31. **Laurino M., Menicucci D., Matorci F., Allegrini P., Piarulli A., Scilingo E.P., et al.** Mind-body relationships in elite apnea divers during breath holding: A study of autonomic responses to acute hypoxemia. *Front. Neuroeng.* 2012;5:4. <https://doi.org/10.3389/fneng.2012.00004>
32. **Herrmann C.S., Munk M.H.J., Engel A.K.** Cognitive functions of gamma-band activity: memory match and utilization. *Trends Cogn. Sci.* 2004;8(8):347–355. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.06.006>

#### Информация об авторах

**Фролов Артем Владимирович\***, ректор, врач ЛФК и врач функциональной диагностики, ООО «Санкт-Петербургский институт восточных методов реабилитации», Россия, 191186, Санкт-Петербург, Невский проспект, дом № 30, литер А, помещение 35-Н, офис 2.8В ([polyclinic@list.ru](mailto:polyclinic@list.ru))

**Бойцова Юлия Александровна**, научный сотрудник ФГБУН «Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой РАН», Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, 9 ([Boytsova.ihb@gmail.com](mailto:Boytsova.ihb@gmail.com))

**Ермолаева Саргылана Александровна**, проректор по научной работе, ООО «Санкт-Петербургский институт восточных методов реабилитации», Россия, 191186, Санкт-Петербург, Невский проспект, дом № 30, литер А, помещение 35-Н, офис 2.8В ([supersagi@gmail.com](mailto:supersagi@gmail.com))

**Дидур Михаил Дмитриевич**, д.м.н., профессор, директор ФГБУН «Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой РАН», Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, 9 ([Didour@mail.ru](mailto:Didour@mail.ru))

#### Information about the authors:

**Artem B. Frolov\***, Rector, exercise therapy doctor and functional diagnostics doctor St. Petersburg Institute of Oriental Rehabilitation Methods, Russian Federation, 191186, St. Petersburg, Nevsky Prospekt, building No. 30, letter A, room 35-N, office 2.8B ([polyclinic@list.ru](mailto:polyclinic@list.ru))

**Julia A. Boytsova**, researcher, N.P. Bekhtereva Human Brain Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, 197022, St. Petersburg, st. Academician Pavlova, 9 ([Boytsova.ihb@gmail.com](mailto:Boytsova.ihb@gmail.com))

**Sargylana A. Ermolaeva**, vice-rector for Research, St. Petersburg Institute of Oriental Rehabilitation Methods, Russian Federation, 191186, St. Petersburg, Nevsky Prospekt, building No. 30, letter A, room 35-N, office 2.8B ([supersagi@gmail.com](mailto:supersagi@gmail.com))

**Michael M. Didur**, D.Sc. (Medicine), professor, chief at N.P. Bekhtereva Human Brain Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, 197022, St. Petersburg, st. Academician Pavlova, 9 ([Didour@mail.ru](mailto:Didour@mail.ru))

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.10>

УДК: 612.014.4+612.825.56

Тип статьи: Оригинальная статья / Original Research



## Управление соединительнотканскими рисками в спортивной медицине

М.В. Санькова<sup>1,\*</sup>, В.Н. Николенко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова», Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

В современных условиях спортивная медицина играет важную роль в медико-биологическом сопровождении людей, занимающихся оздоровительной физической культурой и спортом. Выработка оптимальных рекомендаций зависит прежде всего от своевременной диагностики особенностей функционирования опорно-двигательного аппарата и внутренних органов. Особое значение имеет выявление исходной несостоятельности тканей мезенхимального происхождения.

**Цель исследования:** идентификация диагностически значимых признаков дисплазии соединительной ткани, выявление которых позволит своевременно подбирать адекватные виды спортивной деятельности, предупреждать возникновение травм и разрабатывать эффективные лечебные мероприятия в реабилитационном периоде.

**Материалы и методы:** проведено клинико-соматометрическое обследование 117 лиц в возрасте от 18 до 49 лет ( $35,14 \pm 5,63$  года), обратившихся по поводу повторяющихся травм опорно-двигательного аппарата, возникающих в процессе привычных занятий оздоровительной физической культурой. Сформированы соответствующие подгруппы по возрасту и полу. Для оценки состояния тканей мезенхимального происхождения использовались ранжированные по значимости клинико-морфологические диспластические признаки, выделенные Т. И. Кадуриной и Л. Н. Аббакумовой (2008). Контрольная группа, сопоставимая с основной группой по возрасту и полу, была представлена 36 здоровыми молодыми людьми.

**Результаты:** лица с предрасположенностью к травмам опорно-двигательного аппарата, имеют высокую встречаемость диспластических признаков. Доказано, что клинически значимыми из них являются миопия средней и высокой степени, готическое небо, избыточно мягкие ушные раковины, «хруст» при движениях в височно-нижнечелюстном суставе, патологический кифоз позвоночника, гипермобильность суставов, деформации грудной клетки, О- и Х-образная форма ног и варикоз нижних конечностей. Установлено, что клинически значимые маркеры соединительнотканной дисплазии модифицируются с возрастом и имеют характерные гендерные особенности.

**Заключение:** полученные данные имеют особое значение в контексте безопасности занятий физической культурой и спортом и подчеркивают значимость медико-биологического сопровождения спортивной деятельности.

**Ключевые слова:** спортивная медицина, соединительнотканная дисплазия, патогномичные признаки, выбор вида спорта, профилактика травм и посттравматических заболеваний

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

**Для цитирования:** Санькова М.В., Николенко В.Н. Управление соединительнотканскими рисками в спортивной медицине // *Спортивная медицина: наука и практика*. 2023;13(3):78–87. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.10>

Поступила в редакцию: 25.08.2022

Принята к публикации: 03.10.2023

Online first: 17.10.2023

Опубликована: 28.12.2023

\* Автор, ответственный за переписку



# Diagnostically significant dysplastic feature identification as a tool for managing connective tissue risks in sports medicine

Maria V. Sankova<sup>1,\*</sup>, Vladimir N. Nikolenko<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

## ABSTRACT

**Aim:** to identify the diagnostically significant signs of connective tissue dysplasia, detection of which will allow adequate sports activity selection, injury prevention and effective rehabilitation.

**Materials and methods:** clinical-somatometric examination of 117 persons aged 18 to 49 years ( $35.14 \pm 5.63$  years) with recurrent musculoskeletal injuries occurred during habitual physical training was carried out. Corresponding subgroups were formed by age and gender. Ranked by significance clinic-morphological dysplastic features, identified by T.I. Kadurina and L.N. Abbakumova (2008), were used to assess the mesenchymal tissue state. The control group, comparable to the main group by age and sex, was represented by 36 healthy young people.

**Results:** persons with a predisposition to musculoskeletal injuries have a high dysplastic sign incidence. It was proved that clinically significant of them are moderate to high degree myopia, gothic palate, excessively soft auricles, "crunch" during movements in the temporomandibular joint, pathological spine kyphosis, joint hypermobility, chest deformities, O- and X-shaped legs and varicose lower limbs. Clinically significant markers of connective tissue dysplasia were found to be modified with age and to have characteristic gender features.

**Conclusions:** the study results have particular importance for injury-free physical activity and medical-biological support for sports activities.

**Keywords:** sports medicine, connective tissue dysplasia, pathognomonic signs, choice of sport, prevention of injuries and post-traumatic diseases

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

**For citation:** Sankova M.V., Nikolenko V.N. Diagnostically significant dysplastic feature identification as a tool for managing connective tissue risks in sports medicine. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2023;13(3):78–87. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.10>

**Received:** 25 August 2022

**Accepted:** 03 October 2023

**Online first:** 17 October 2023

**Published:** 28 December 2023

\*Corresponding author

## 1. Введение

В современных условиях спортивная медицина играет особую роль в регулярном медико-биологическом обеспечении людей, занимающихся оздоровительной физической культурой и спортом [1]. Основными задачами этого специализированного научно-практического направления являются обоснованный выбор конкретного вида спортивной деятельности в соответствии с генотипическими и фенотипическими возможностями человека, коррекция характера и интенсивности тренировочной нагрузки, профилактика и лечение травм и посттравматических заболеваний [2, 3]. Выработка оптимальных рекомендаций зависит прежде всего от своевременной диагностики особенностей функционирования опорно-двигательного аппарата и внутренних органов [2–4]. Особое значение имеет выявление исходной несостоятельности тканей мезенхимального происхождения, которая определяет повышенную чувствительность к механическим нагрузкам, создает предрасполагающий фон к травматизации и ухудшает восстановление соединительнотканых структур в посттравматическом периоде, обуславливая формирование хронических посттравматических заболеваний [5–8]. В последние десятилетия отмечается существенный рост встречаемости несиндромных форм

дисплазии соединительной ткани, которая, по данным научных исследований, достигает в популяции 85–91% [9–11]. Полиморфизм фенотипических диспластических проявлений, их гендерные особенности и модификация в течение жизни в значительной степени затрудняет постановку диагноза [12, 13]. Поэтому целью нашего исследования была идентификация диагностически значимых признаков дисплазии соединительной ткани для введения обязательного принципа их учета при медицинском обследовании лиц, занимающихся физической культурой и спортом.

## 2. Материалы и методы исследования

В период с октября 2018 по январь 2022 года в Сеченовском университете и в московском филиале Европейского остеопатического клинического центра проведено комплексное клинично-соматометрическое обследование 117 лицам, обратившимся по поводу повторяющихся травм опорно-двигательного аппарата, возникающих в процессе привычных занятий физической культурой. Для оценки состояния тканей мезенхимального происхождения использовались ранжированные по диагностической значимости (от 1 до 6 баллов) клинично-морфологические диспластические признаки, выделенные Т.И. Кадуриной и Л.Н. Аббакумовой (2008) [12]. Осмотр включал в себя

$$N_1 = \left\{ z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\bar{p} * \bar{q} * \left(1 + \frac{1}{k}\right)} + z_{1-\beta} * \sqrt{p_1 * q_1 + \left(\frac{p_2 * q_2}{k}\right)} \right\}^2 / \Delta^2$$

$$q_1 = 1 - p_1$$

$$q_2 = 1 - p_2$$

$$\bar{p} = \frac{p_1 + kp_2}{1 + K}$$

$$\bar{q} = 1 - \bar{p}$$

$$N_1 = \left\{ 1.96 * \sqrt{0.68 * 0.32 * \left(1 + \frac{1}{1}\right)} + 1.04 * \sqrt{0.889 * 0.111 + \left(\frac{0.471 * 0.529}{1}\right)} \right\}^2 / 0.418^2$$

$$N_1 = 21$$

$$N_2 = K * N_1 = 21$$

Рис. 1. Расчет минимального размера выборки  
Fig. 1. Sample Size Calculation

оценку гармоничности телосложения с измерением роста, массы тела, сегментов тела, обхвата грудной клетки, размаха рук, длины кистей и стоп, рассчитывались индексы Вервека, Пинье, Варги и Кетле. Для выявления арахнодактилии использовались тесты запястья и большого пальца [13], для диагностики гипермобильности суставов — критерии Бэйтона [14]. Возраст участников исследования варьировал от 18 до 49 лет (в среднем  $35,14 \pm 5,63$  года), в связи с чем были сформированы соответствующие возрастные подгруппы: (1-я подгруппа от 18 до 35 лет — 59 (50,43%), 2-я подгруппа от 36 до 49 лет — 59 (49,57%). Женщин было 67 человек (57,26%), мужчин — 50 (42,74%), что позволило выявить полоспецифические признаки дисморфогенеза. Контрольная группа была представлена 36 здоровыми молодыми людьми, возраст которых в среднем составлял  $28,85 \pm 5,56$  года.

С помощью статистического пакета G\* (EM) Power (Christian Albrechts-Universität, Olshausenstr, Германия) [15] и исходя из мощности 85%, альфа <0,05, был рассчитан минимальный размер выборки, необходимый для выделенных групп сравнения (рис. 1).

Статистическое обобщение полученных данных осуществлялось в компьютерной программе Microsoft Excel 2010. с расчетом критерия Стьюдента — для выявления межгрупповых различий в количественных показателях и критерия Фишера — при сравнении качественных показателей. Уровень статистической значимости различий был менее 0,05. Проведение данного исследования было согласовано с Локальным этическим комитетом Сеченовского университета (протокол № 08–19 от 05.06.2019 г.). У всех обследуемых было получено информированное письменное согласие.

### 3. Результаты

Лица, имеющие в анамнезе рецидивирующие повреждения опорно-двигательного аппарата, отличались большей выраженностью диспластических проявлений в сравнении с контрольной группой ( $49,44 \pm 13,12$  и  $11,33 \pm 3,29$  балла соответственно;  $p < 0,001$ ). У 37,5% обследованных сумма значимости стигм находилась в пределах

от 21 до 40 баллов, что соответствовало дисплазии умеренной степени, у 62,5% — в пределах от 41 до 60 баллов, что указывало на дисплазию выраженной степени. По данным расчетных индексов Вервека, Пинье, Варги и Кетле участники исследования достоверно чаще имели астенический тип телосложения и общую худощавость. В большем проценте случаев у них отмечалось наличие непропорционально более длинных стоп, кистей и пальцев, выявляющих у них черты долихостеномелии и арахнодактилии.

Из присутствующих в классификации Т.И. Кадуриной и Л.Н. Аббакумовой (2008) двадцати шести характерных костно-суставных диспластических маркеров в группе обследованных лиц чаще наблюдались двадцать два признака (рис. 2). Так, участники основной группы отличались существенным преобладанием частоты встречаемости сколиоза, патологического кифоза грудного отдела позвоночника и асимметричного положения лопаток, плеч и костей таза. Отмечалось наличие таких патогномоничных деформаций грудной клетки, как воронкообразная и килевидная.

В большем проценте случаев наблюдались измененная кривизна ног, плосковальгусные стопы, макродактилия большого пальца стопы, узкий лицевой скелет, аркообразное небо и нарушение прикуса. Более половины обследуемых имели гипермобильность суставов и «хруст» в суставах при движениях.

Среди эктодермальных диспластических признаков у лиц, имеющих в анамнезе рецидивирующие повреждения опорно-двигательного аппарата, более часто регистрировалось наличие тонкой, гиперэластичной кожи, петехий, телеангиоэктазий, атрофических стрий, келоидных рубцов и участков гиперпигментации кожи над позвоночником (рис. 3).

У подавляющего большинства обследованных имелись повышенная ломкость ногтей пластин, истонченность волос и участки облысения, ушные раковины отличались избыточной мягкостью и эластичностью, чаще наблюдались диастаз абдоминальных мышц и рецидивирующие грыжи.

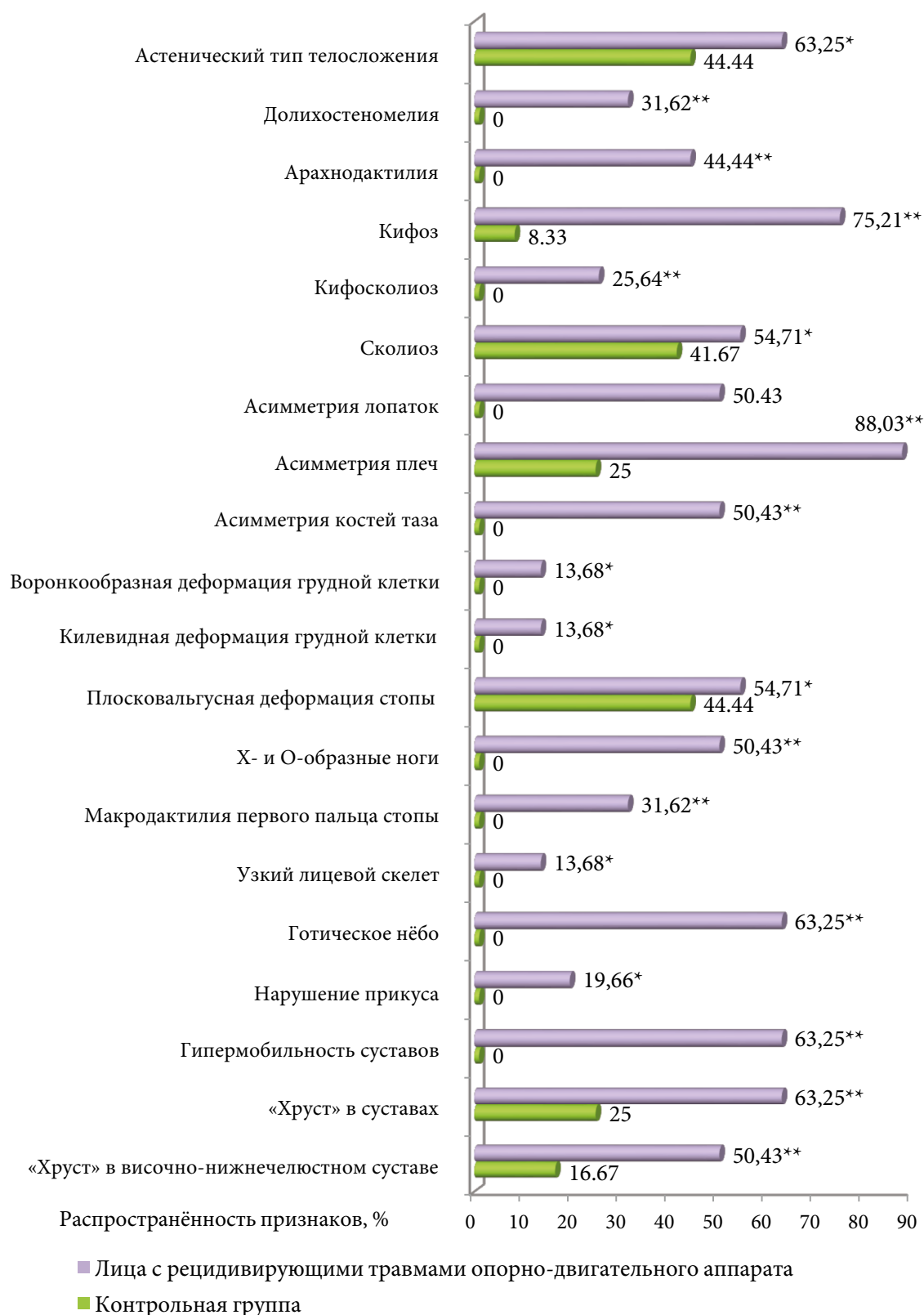


Рис. 2. Костно-суставные диспластические признаки  
Fig. 2. Osteoarticular dysplastic signs

Примечание: распространённость признаков указана в %.

\* — различия достоверны,  $p < 0,05$ ; \*\* — различия достоверны,  $p < 0,001$ .

Note: the prevalence of symptoms is indicated in %.

\* — the differences are significant,  $p < 0,05$ ; \*\* — the differences are significant,  $p < 0,001$ .

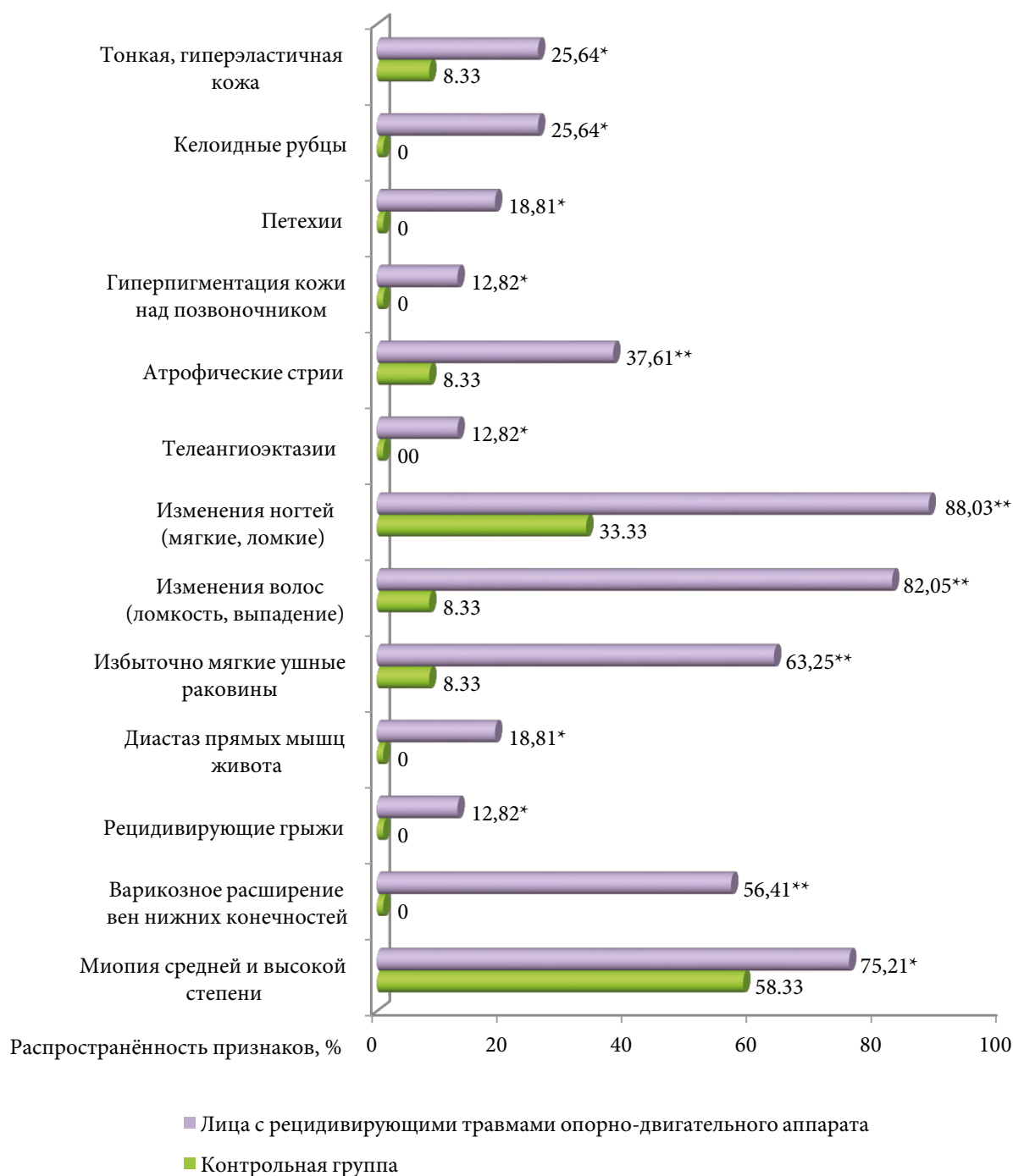


Рис. 3. Костно-суставные диспластические признаки

Fig. 3. Osteoarticular dysplastic signs

Примечание: распространённость признаков указана в %.

\* — различия достоверны,  $p < 0,05$ ; \*\* — различия достоверны,  $p < 0,001$

Note: \* — the differences are significant,  $p < 0,05$ ; \*\* — the differences are significant,  $p < 0,001$ .



Распределение выявленных преобладающих внешних признаков дисморфогенеза в зависимости от их диагностической значимости, оцененной в 3 балла и выше согласно классификации Т.И. Кадуриной и Л.Н. Аббакумовой для детей (2008), позволило определить клинически значимые патогномоничные маркеры, указывающие на предрасположенность к травматизации (рис. 4).

Ранжирование наиболее часто встречаемых в разные возрастные периоды диспластических признаков по клинической значимости позволило установить, что среди молодежи (18–35 лет) персонифицированный подход медико-биологического сопровождения необходим лицам долихоморфного телосложения, отличающимся гипермобильностью суставов, наличием тонкой гиперэластичной кожи, келоидных рубцов и избыточно мягких ушных раковин (рис. 5).

С возрастом чаще встречались такие внешние фенотипы, как кифотическое искривление позвоночника, плоскостопие, участки гиперпигментации кожи над позвоночником, атрофические стрии, варикозное расширение вен нижних конечностей и диастаз

мышц живота, проявляющийся рецидивирующими грыжами.

Показано, что патогномоничные диспластические признаки имели значимые гендерные различия (рис. 5).

Так, для женщин более характерно наличие астенического телосложения, гипермобильности суставов, избыточно мягких ушных раковин, тонкой гиперэластичной кожи, телеангиоэктазий, атрофических стрий и варикозного расширения вен нижних конечностей. У мужчин чаще встречаются такие патогномоничные маркеры, как арахнодактилия, долихостеномелия, деформации грудной клетки, плоскостопие, диастазы мышц живота, манифестирующие рецидивирующими грыжами.

Особую клиническую ценность в спортивной медицине приобретают универсальные патогномоничные диспластические признаки, имеющие значение во всех возрастных группах и не зависящие от пола. К ним относятся миопия высокой и средней степени, сколиоз, X- и O-образная деформация нижних конечностей, готическое нёбо и «хруст» при движениях в височно-нижнечелюстном суставе (рис. 4, 5).



Рис. 4. Ключевые патогномоничные маркеры предрасположенности к травматизации опорно-двигательного аппарата  
Fig. 4. Key pathognomonic markers of susceptibility to musculoskeletal traumatization

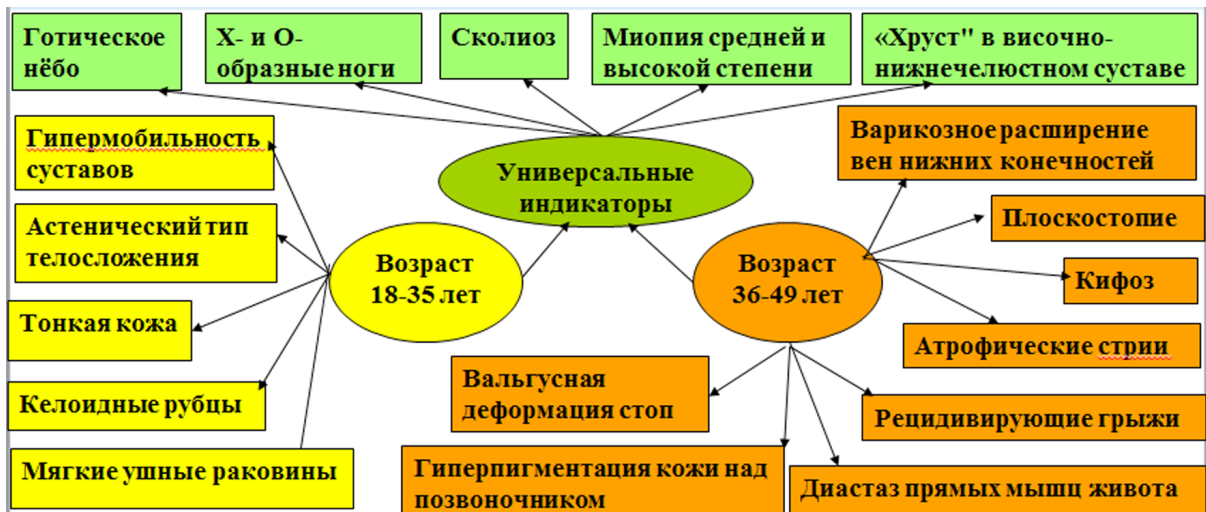


Рис. 5. Возрастная модификация патогномоничных маркеров предрасположенности к травматизации опорно-двигательного аппарата  
Fig. 5. Age-related modification of pathognomonic markers of predisposition to musculoskeletal traumatization

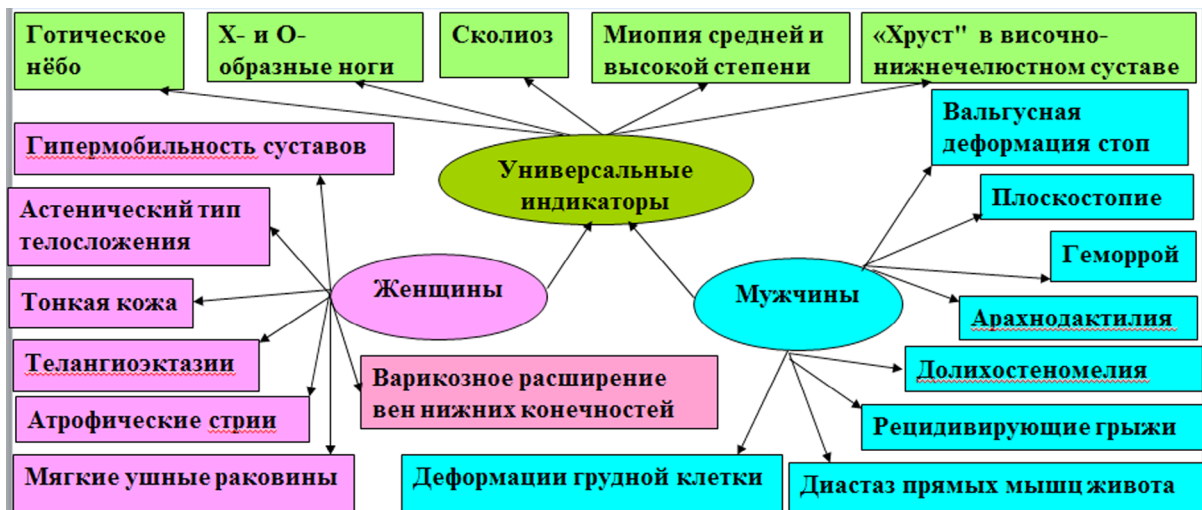


Рис. 6. Патогномоничные полоспецифические маркеры предрасположенности к травматизации опорно-двигательного аппарата  
Fig. 6. Pathognomonic polospesific markers of predisposition to musculoskeletal traumatization

#### 4. Обсуждение

В ходе работы показано, что лица, предрасположенные к травматизации опорно-двигательного аппарата, отличаются более выраженными диспластическими проявлениями в сравнении с контрольной группой. Среди диагностически значимых диспластических признаков (3 балла и более) наиболее высокую частоту встречаемости имеют миопия средней и высокой степени, готическое нёбо, избыточно мягкие ушные раковины, «хруст» при движениях в височно-нижнечелюстном суставе, патологический кифоз грудного отдела позвоночника, гипермобильность суставов, деформации грудной клетки, O- и X-образная форма ног и варикозное расширение вен нижних конечностей.

Выявление этих патогномоничных маркеров служит основанием для верификации диагноза дисплазии соединительной ткани лабораторными и молекулярно-генетическими методами [13, 16]. Наличие установленных

стигм диктует необходимость персонализированного подхода в выборе вида спортивной активности, размера физической нагрузки и интенсивности тренировочной нагрузки. Рекомендованы прежде всего аэробные виды спорта, которые включают плавание, быструю ходьбу или умеренный бег, езду на велосипеде, лыжи в зимнее время года, бадминтон и настольный теннис. Противопоказаны занятия спринтом, тяжелой атлетикой, дайвингом, а также деятельностью, связанной с неконтролируемыми растяжками и вытяжениями позвоночника. Исключаются также балетная гимнастика и командные игровые состязания, связанные с большой вероятностью получения травм [16, 17].

Во время тренировочных занятий важно, чтобы частота сердечных сокращений не превышала субмаксимальных значений (до 70% от максимально возможной для определенного возраста). Оптимальными считаются тренировки, направленные на повышение общей

физической подготовки и исключают высокие нагрузки специальной направленности. Совершенствование двигательных качеств и повышение функциональных возможностей способствует увеличению выносливости и повышению аэробного обеспечения кардиореспираторной системы. Дозирование интенсивности физических упражнений и расчет индивидуальных тренировочных границ должны проводиться в соответствии с индивидуальными нагрузочными зонами [13, 16–18].

Поскольку дисплазия соединительной ткани является полисистемным заболеванием, то она лежит в основе не только предрасположенности к травматизации, но и в основе таких патологий, как жизнеугрожающие аритмии, аневризмы аорты и сосудов, которые длительное время протекают бессимптомно и приводят к внезапной смерти молодых людей даже при обычных физических нагрузках. Регулярно проводимый врачебный контроль лиц с установленными патогномичными признаками, включающий обязательное ультразвуковое исследование сердца с нагрузочным тестом и суточное холтеровское мониторирование электрокардиограммы, позволит своевременно оценить уровень адаптации организма к проводимым нагрузкам и предупредить возникновение неотложных состояний во время физической активности [13, 16].

Выявление установленных маркеров играет определяющую роль и в проектировании терапевтических мероприятий в посттравматическом периоде, которые должны быть направлены на укрепление и полное восстановление соединительнотканых структур и должны способствовать профилактике рецидивов травм, посттравматических осложнений и хронических заболеваний опорно-двигательного аппарата. Так, в программу реабилитации для коррекции синтеза коллагена целесообразно включить витаминно-минеральные комплексы, содержащие L-карнитин, лизин, витамины E, C, группы B, а также такие микроэлементы, как магний, цинк, медь и марганец. Нормализация метаболизма гликозаминогликанов осуществляется добавлением хондропротекторов, регулирующих активность хондроцитов и подавляющих синтез ферментов, разрушающих суставной хрящ. Глюкозаминсульфат способствует отложению кальция в костной ткани и восстановлению соединительнотканых и хрящевых волокон. Для стабилизации фосфорно-кальциевого обмена применяются активные формы витамина D. Поддержание энергетического статуса проводится препаратами, стимулирующими выработку аденозинтрифосфата. Кроме того, в посттравматическом периоде показана терапия, стабилизирующая перекисное окисление липидов, угнетающая свободнорадикальное окисление

#### **Вклад авторов:**

**Санькова Мария Вячеславовна** — концепция и дизайн публикации, написание первой версии текста, редактирование текста.

**Николенко Владимир Николаевич** — написание и редактирование текста, сбор и анализ данных исследования, сбор и анализ литературных данных.

и улучшающая тканевое дыхание, для чего используются бета-каротин, липоевая и омега-3 ненасыщенные кислоты. Длительность курсов метаболической терапии должна составлять не менее 1–2 месяцев [10, 11, 13, 16, 17].

Существенным ограничением данного исследования является небольшой размер выборки, который может оказывать влияние на результаты возрастного-полового распределения диспластических признаков. В дальнейшем планируется увеличение количества обследуемых лиц, имеющих в анамнезе рецидивирующие повреждения опорно-двигательного аппарата, поэтому данное исследование и его результаты следует рассматривать как начальный этап многоцентрового исследования по проблемам дисплазии соединительной ткани в спортивной медицине. В перспективе планируется разработать единую электронную скрининговую карту обследования лиц, занимающихся физической культурой и спортом, способствующую выявлению патогномичных морфометрических предикторов высокого риска травматизации.

#### **5. Заключение**

Лица с предрасположенностью к травмам опорно-двигательного аппарата имеют высокую встречаемость диспластических признаков. Показано, что клинически значимыми из них являются миопия средней и высокой степени, готическое небо, избыточно мягкие ушные раковины, «хруст» при движениях в височно-нижнечелюстном суставе, патологический кифоз позвоночника, гипермобильность суставов, деформации грудной клетки, O- и X-образная форма ног и варикозное расширение вен нижних конечностей. Установлено, что патогномичные маркеры соединительнотканной дисплазии модифицируются с возрастом и имеют характерные гендерные особенности. Медицинские обследования лиц, занимающихся физической культурой и спортом, должны включать скрининг состояния соединительной ткани. Выявление установленных признаков во время первичных медицинских осмотров позволит правильно подбирать виды спорта, адекватную физическую нагрузку и индивидуальный темп тренировочной программы, что позволит снизить риск возникновения неотложных состояний. В посттравматическом периоде раннее назначение соответствующей терапии будет способствовать предупреждению травм, посттравматических осложнений и хронических заболеваний опорно-двигательного аппарата. Полученные данные имеют особое значение в контексте безопасности занятий физической культурой и подчеркивают значимость медико-биологического обеспечения спортивной деятельности.

#### **Author contributions:**

**Maria V. Sankova** — concept and publication design, writing the first draft of manuscript, editing of the text.

**Vladimir N. Nikolenko** — collection and analysis of study data, collection and analysis of literature.

## Список литературы

## References

1. Pujalte G.G.A., Maynard J.R. The increasing importance of sports science and medicine. *J. Int. Med. Res.* 2020;48(1):300060519827694. <https://doi.org/10.1177/0300060519827694>
2. Frank R.M., Bradsell H., Thompson S.R. What's New in Sports Medicine. *J. Bone Joint Surg. Am.* 2021;103(8):653–659. <https://doi.org/10.2106/JBJS.21.00152>
3. Neunhaeuserer D., Niebauer J., Degano G., Baiocato V., Borjesson M., Casasco M., et al. Sports and exercise medicine in Europe and the advances in the last decade. *Br. J. Sports Med.* 2021;55(20):1122–1124. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-103983>
4. Kweon C.Y., Hagen M.S., Gee A.O. What's New in Sports Medicine. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(8):636–643. <https://doi.org/10.2106/JBJS.20.00014>
5. Nikolenko V.N., Oganessian M.V., Vovkogon A.D., Cao Y., Churganova A.A., Zolotareva M.A., et al. Morphological signs of connective tissue dysplasia as predictors of frequent post-exercise musculoskeletal disorders. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2020;21(1):660. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03698-0>
6. Николенко В.Н., Оганесян М.В., Вовкогон А.Д., Санькова М.В., Ризаева Н.А. Морфологические маркеры структурно-функциональных нарушений опорно-двигательного аппарата, возникающих после физической нагрузки. *Человек. Спорт. Медицина.* 2019;19(3):103–111. <https://doi.org/10.14529/hsm190313>
7. Sankova M.V., Nikolenko V.N., Oganessian M.V., Vovkogon A.D., Chirkova E.L., Sinelnikov M.Y. Age Pathognomonic Indicators of Injury Predisposition as a Basis for Public Health Preservation during Physical Activity. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021;18(4):1989. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041989>
8. Санькова М.В., Николенко В.Н., Оганесян М.В., Вовкогон А.Д., Ризаева Н.А. Гендерные аспекты проявлений соединительнотканной дисплазии как основа профилактики спортивных травм. *Человек. Спорт. Медицина.* 2021;21(1):169–176. <https://doi.org/10.14529/hsm210121>
9. Arseni L., Lombardi A., Orioli D. From Structure to Phenotype: Impact of Collagen Alterations on Human Health. *Int. J. Mol. Sci.* 2018;19(5):E1407. <https://doi.org/10.3390/ijms19051407>
10. Акатова Е.В., Аникин В.В., Арсентьев В.Г., Арутюнов Г.П., Баранов А.А., Бутолин Е.Г., Ягода А.В. Недифференцированные дисплазии соединительной ткани (проект клинических рекомендаций). *Терапия.* 2019;5(7):9–42. <https://doi.org/10.18565/therapy.2019.7.9-42>
11. Фомичева Т.А., Балашов А.Л. Дисплазия соединительной ткани. *Университетский терапевтический вестник.* 2020;2(3):30–41.
12. Кадурина Т.И., Аббакумова Л.Н. Оценка степени тяжести недифференцированной дисплазии соединительной ткани у детей. *Медицинский вестник Северного Кавказа.* 2008;(2):15–20.
13. Мартынов А.И., Нечаева Г.И. Клинические рекомендации российского научного медицинского общества терапевтов по диагностике, лечению и реабилитации пациентов с дисплазиями соединительной ткани (первый пересмотр). *Медицинский вестник Северного Кавказа.* 2018;13(1-2):137–209. <https://doi.org/10.14300/mnnc.2018.13037>
14. Kumar B., Lenert P. Joint Hypermobility Syndrome: Recognizing a Commonly Overlooked Cause of Chronic Pain. *Am. J. Med.* 2017;130(6):640–647. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2017.02.013>

1. Pujalte G.G.A., Maynard J.R. The increasing importance of sports science and medicine. *J. Int. Med. Res.* 2020;48(1):300060519827694. <https://doi.org/10.1177/0300060519827694>
2. Frank R.M., Bradsell H., Thompson S.R. What's New in Sports Medicine. *J. Bone Joint Surg. Am.* 2021;103(8):653–659. <https://doi.org/10.2106/JBJS.21.00152>
3. Neunhaeuserer D., Niebauer J., Degano G., Baiocato V., Borjesson M., Casasco M., et al. Sports and exercise medicine in Europe and the advances in the last decade. *Br. J. Sports Med.* 2021;55(20):1122–1124. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-103983>
4. Kweon C.Y., Hagen M.S., Gee A.O. What's New in Sports Medicine. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(8):636–643. <https://doi.org/10.2106/JBJS.20.00014>
5. Nikolenko V.N., Oganessian M.V., Vovkogon A.D., Cao Y., Churganova A.A., Zolotareva M.A., et al. Morphological signs of connective tissue dysplasia as predictors of frequent post-exercise musculoskeletal disorders. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2020;21(1):660. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03698-0>
6. Nikolenko V., Oganessian M., Vovkogon A., Sankova M., Rizaeva N. Morphological Markers of the Post Exercise Structural and Functional Disorders of the Locomotor Apparatus. *Human. Sport. Medicine.* 2019;19(3):103–111. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm190313>
7. Sankova M.V., Nikolenko V.N., Oganessian M.V., Vovkogon A.D., Chirkova E.L., Sinelnikov M.Y. Age Pathognomonic Indicators of Injury Predisposition as a Basis for Public Health Preservation during Physical Activity. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021;18(4):1989. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041989>
8. Sankova M., Nikolenko V., Oganessian M., Vovkogon A., Rizaeva N. Gender Aspects of Connective Tissue Dysplasia as a Basis for Sports Injuries Prevention. *Human. Sport. Medicine.* 2021;21(1):169–176. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm210121>
9. Arseni L., Lombardi A., Orioli D. From Structure to Phenotype: Impact of Collagen Alterations on Human Health. *Int. J. Mol. Sci.* 2018;19(5):E1407. <https://doi.org/10.3390/ijms19051407>
10. Akatova E.V., Anikin V.V., Arsent'ev V.G., Arutyunov G.P., Baranov A.A., Butolin E.G., Yagoda A.V. Undifferentiated connective tissue dysplasia (the project of guidelines). *Terapiya = Therapy.* 2019;5(7):9–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.18565/therapy.2019.7.9-42>
11. Fomicheva T.A., Balashov A.L. Connective Tissue Disorders. *University Universitetskii terapevticheskii vestnik = Therapeutic Journal.* 2020;2(3):30–41. (In Russ.).
12. Kadurina T.I., Abbakumova L.N. Estimation of the Severity of the Nondifferentiated Connective Tissue Dysplasia in Children. *Meditsinskii vestnik Severnogo Kavkaza = Medical News of North Caucasus.* 2008;(2):15–20. (In Russ.).
13. Martynov A., Nechaeva G. Guidelines of the Russian scientific medical society of internal medicine on the diagnosis, treatment and rehabilitation of patients with the connective tissue dysplasia (first edition). *Meditsinskii vestnik Severnogo Kavkaza = Medical News of North Caucasus.* 2018;13(1-2):137–209. (In Russ.). <https://doi.org/10.14300/mnnc.2018.13037>
14. Kumar B., Lenert P. Joint Hypermobility Syndrome: Recognizing a Commonly Overlooked Cause of Chronic Pain. *Am. J. Med.* 2017;130(6):640–647. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2017.02.013>



15. **Мартынов А.И., Нечаева Г.И.** Национальные рекомендации Российского научного медицинского общества терапевтов по диагностике, лечению и реабилитации пациентов с дисплазиями соединительной ткани. Медицинский вестник Северного Кавказа. 2016;11(1):2–76. <https://doi.org/10.14300/mnnc.2016.11001>

16. **Чемоданов В.В., Краснова Е.Е.** Принципы медицинского сопровождения детей с дисплазией соединительной ткани. Лечащий врач. 2018;(11):66–70.

15. **Martynov A., Nechaeva G.** National recommendations of the Russian scientific society of internal medicine for diagnostics, treatment and rehabilitation of patients with connective tissue dysplasia. Meditsinskii vestnik Severnogo Kavkaza = Medical News of North Caucasus. 2016;11(1):2–76. (In Russ.). <https://doi.org/10.14300/mnnc.2016.11001>

16. **Chemodanov V.V., Krasnova E.E.** Principles of medical support for children with connective tissue dysplasia. Lechaschi Vrach. 2018;(11):66. (In Russ.).

#### Информация об авторах:

**Санькова Мария Вячеславовна\***, стажер-исследователь кафедры анатомии и гистологии человека, ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова», Россия, 119991, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2 ([cankov@yandex.ru](mailto:cankov@yandex.ru))

**Николенко Владимир Николаевич**, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный работник высшей школы РФ, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой анатомии и гистологии человека, ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова», Россия, 119048, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2; заведующий кафедрой нормальной и топографической анатомии факультета фундаментальной медицины, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1 ([vn.nikolenko@yandex.ru](mailto:vn.nikolenko@yandex.ru))

#### Information about the authors:

**Maria V. Sankova\***, research intern at the Human Anatomy and Histology Department, Sechenov First Moscow State Medical University, Russia, 119048, Moscow, Trubetskaya Str., 8, building 2 ([cankov@yandex.ru](mailto:cankov@yandex.ru))

**Vladimir N. Nikolenko**, Honored Scientist of the Russian Federation, Honored Worker of Higher School of the Russian Federation, MD, Professor, Head of the Human Anatomy and Histology Department, Sechenov First Moscow State Medical University, Russia, 119048, Moscow, Trubetskaya Str., 8, building 2; Head of the Normal and Topographic Anatomy Department, Basic Medicine Faculty, Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1 ([vn.nikolenko@yandex.ru](mailto:vn.nikolenko@yandex.ru))

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



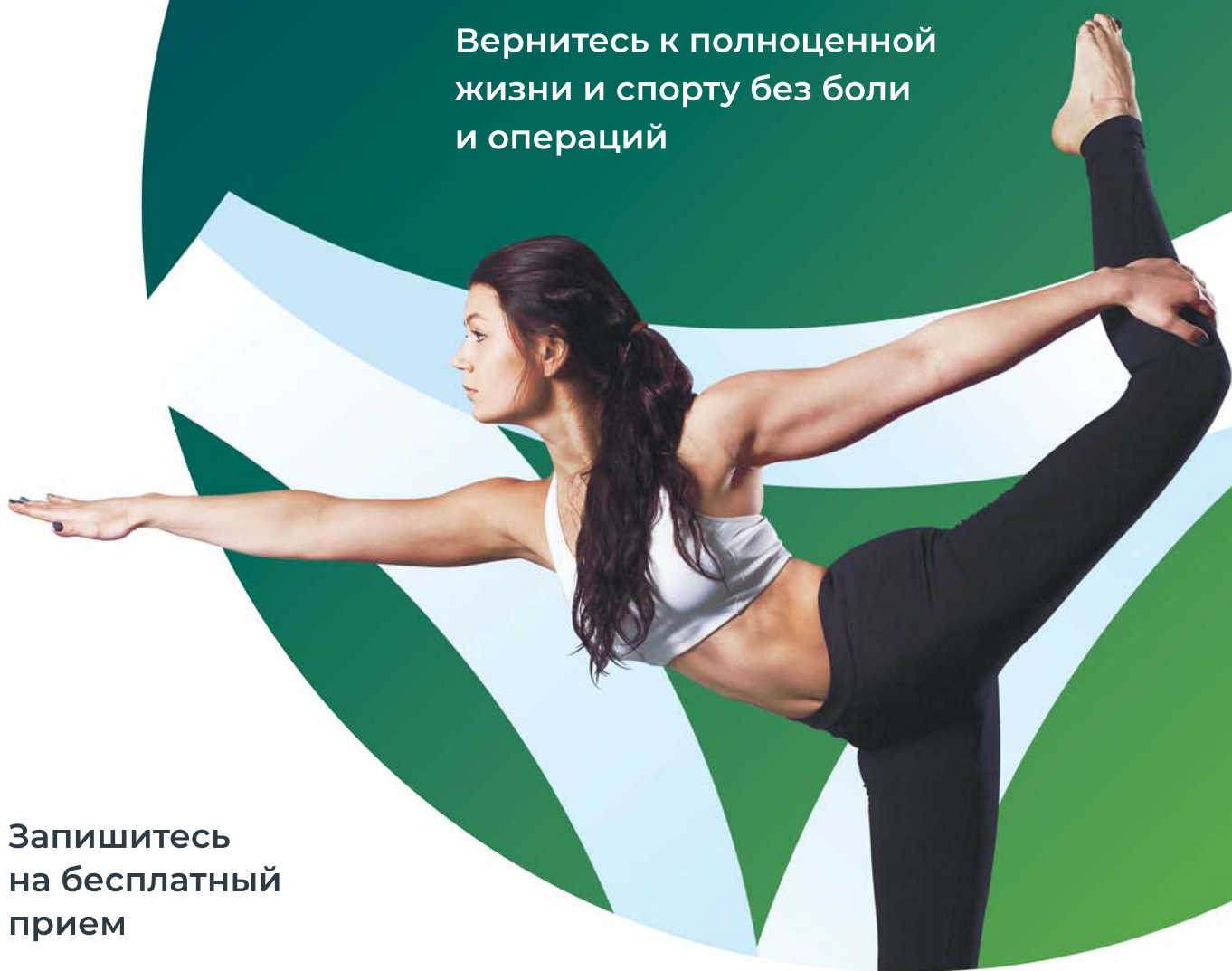


RēMEDICA

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



## 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)

