



Спортивная Медицина:

наука и практика



Т. 15 №2

2025

Sports
Medicine:

research and practice





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.





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)

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

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

Оганесян А.С. — проф., д.б.н.

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

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

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

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

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

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

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

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

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



СЕЧЕНОВСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



КЛИНИКА ЛУЖНИКИ
спортивная медицина

Founded by:

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

Sports Medicine: Research and Practice

research and practical journal

FOCUS AND SCOPE

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

EDITOR-IN-CHIEF

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

ASSOCIATE EDITORS

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

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

SCIENTIFIC EDITOR

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

EDITORIAL BOARD

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

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

Oleg Glazachev – M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Professor of the Department of Normal Physiology of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University) (Moscow, Russia)

nov 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 Sereda – 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)

Davide 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 "Трида"»
170034, Россия, Тверь, пр-т Чайковского, 9, оф. 514

Сайт:

smjournal.ru
neicon.ru

Подписано в печать 14.11.2025

Формат 60х90/8

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, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Организация медицины спорта

Рикардо Риччи Увинья, Дж. Ханс де Риддер, Ю.Ш. Гуцина

Улучшение здоровья посредством физической активности и досуга в странах БРИКС
Плюс: отчет ассоциации БРИКСЕСС Плюс 5

Физиология и биохимия спорта

А.Н. Овчинников

Кинетика сердечного тропонина I в ротовой жидкости после забегов
на дистанции 5 и 21 км 12

Фармакологическая поддержка

О.С. Медведев, А.А. Южаков, О.Л. Коннова, О.В. Поварова

Влияние водородных ингаляций на функциональные характеристики и газовые
биомаркеры кишечника у спортсменов-борцов при физической нагрузке 20

Заболевания спортсменов

Е.А. Теняева, Е.А. Турова, В.А. Бадтиева

Исследование последствий перенесенного COVID-19 на эндокринную систему
спортсменов подросткового возраста 31

Спортивное питание

П.Д. Рыбакова, А.В. Мештель, А.Б. Мирошников, А.Г. Антонов, В.Д. Выборнов

Влияние биологически активной добавки кофеина на работоспособность
спортсменов-единоборцев: систематический обзор и метаанализ 41

Спортивная гигиена

Цзюнь Юй, Хуань Ван, Хаотун Юй

Метаанализ влияния высокоинтенсивных интервальных тренировок
на улучшение липидного профиля у студентов 58

Реабилитация

Маджлеси Махди, Элахех Азадиан, Рафе З. Мохаммад

Кинематическая оценка доминирующей и недоминирующей ноги в момент
первого контакта: последствия для риска травм нижних конечностей
при приземлениях после атакующих и блокирующих прыжков
у профессиональных волейболистов 67

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

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

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
neicon.ru

Published: 14 November 2025
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, 2025

CONTENTS

Sports Medicine Management

Ricardo Ricci Uvinha, J. Hans de Ridder, Yulia Sh. Gushchina

Advancing Health through Physical Activity and Leisure in BRICS Plus Nations:

A Report from the BRICSCESS Plus Association 5

Sports Physiology and Biochemistry

Aleksandr N. Ovchinnikov

The kinetics of cardiac troponin I in saliva following 5-km and 21-km running trials 12

Sports Pharmacology

Oleg S. Medvedev, Aleksey A. Uzhakov, Olga L. Konnova, Oxana V. Povarova

Effect of hydrogen inhalation on functional characteristics and intestinal gas biomarkers

in wrestlers during physical exercise 20

Sports Diseases

Elena A. Tenyaeva, Elena A. Turova, Victoria A. Badtieva

A study of the effects of COVID-19 on the endocrine system of adolescent athletes 31

Sports Supplements

Polina D. Rybakova, Alexander V. Meshtel, Alexander B. Miroshnikov, Alexey G. Antonov, Vasily D. Vybornov

The effect of caffeine supplementation on the performance in combat athletes:

A systematic review and meta-analysis 41

Sports Hygiene

Jun Yu, Huan Wang, Haotong Yu

Meta-analysis of the effect of high-intensity interval training on improving blood

lipid metabolism in female college students 58

Rehabilitation

Mahdi Majlesi, Elaheh Azadian, Rafe Mohammad Zaheri

Kinematic assessment of the dominant and non-dominant legs at initial contact:

Implications for lower limb injury risk during spike and block landings in professional

volleyball players 67

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

Scopus

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU

ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

РУКОТ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ РЕСУРС

INFOBASE INDEX

Crossref



Scientific Indexing Services

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

Advancing Health through Physical Activity and Leisure in BRICS Plus Nations: A Report from the BRICSCESS Plus Association

Ricardo Ricci Uvinha^{1,*}, J. Hans de Ridder², Yulia Sh. Gushchina³

¹ School of Arts, Science and Humanities of University of Sao Paulo, Brazil

² School of Human Movement Sciences at the North-West University, Potchefstroom, South Africa

³ Department of Management of Nursing Activities, Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow, Russia

ABSTRACT

The shift from BRICS to BRICS+ signifies a major step forward in global cooperation among emerging economies, with an emphasis on inclusivity, shared development, and collaboration among developing nations. As the bloc expands to include countries such as Egypt, Ethiopia, Iran, Saudi Arabia, the UAE, and Indonesia, opportunities for joint health promotion efforts have also increased. Within this broader context, the BRICS Council of Exercise and Sport Science (BRICSCESS) has evolved into BRICSCESS+, a global platform focused on advancing health through physical activity, sport, and leisure. This article explores the growth, aims, and impact of BRICSCESS+, particularly its role in combating physical inactivity and non-communicable diseases in the Global South. Established in 2014 and formally launched in 2015, BRICSCESS has fostered international cooperation through biennial congresses, research partnerships, and community-driven initiatives. Its transformation into BRICSCESS+ mirrors the inclusive vision of the expanded BRICS+ alliance. Drawing on comparative research—including a doctoral study on Physical Education across the original BRICS countries—the article investigates how cultural, systemic, and policy environments influence health promotion strategies. Case studies from new BRICS+ members, such as Ethiopia's grassroots programs, Iran's school-based initiatives, and Saudi Arabia's national fitness campaigns, further illustrate this integration. The article also highlights the successful BRICSCESS congresses held in Brazil (2017), South Africa (2019), and India (2024), and looks ahead to the 2026 event in Moscow. It concludes that BRICSCESS+ serves as a vital, evidence-informed platform for advancing sustainable, holistic health development across emerging nations.

Keywords: BRICS+, BRICSCESS, health promotion, physical activity, leisure, global health, developing countries

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

Acknowledgements. The authors gratefully acknowledge the visionary leaders whose dedication and foresight were instrumental in conceptualizing and founding the BRICS Council of Exercise and Sport Science (BRICSCESS). In particular, sincere appreciation is extended to Dr. Ming-Kai Chin, who, as interim President, guided the development of the organization's foundational structure. His leadership culminated in the landmark founding meeting at the 7th Asia Pacific Conference on Exercise and Sports Science in India, where he was elected the first President of BRICSCESS. We also acknowledge the significant leadership contributions of fellow founding Vice Presidents, Dr. Gulshan Khanna and Dr. Elena Istiagina-Eliseeva. Their combined efforts, alongside those of the authors, have been central to shaping BRICSCESS into a vibrant and influential platform for advancing health, physical activity, and scientific cooperation across the BRICS nations and beyond.

For citation: Ricci Uvinha R., de Ridder H., Gushchina Yu.Sh. Advancing health through physical activity and leisure in BRICS Plus Nations: A report from the BRICSCESS Plus association. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2025;15(2):5–11. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.7>

Received: 07 August 2025

Accepted: 12 October 2025

Online first: 07 November 2025

Published: 14 November 2025

*Corresponding author

Улучшение здоровья посредством физической активности и досуга в странах БРИКС Плюс: отчет ассоциации БРИКСЕСС Плюс

Рикардо Риччи Увинья^{1,*}, Дж. Ханс де Риддер², Ю.Ш. Гущина³

¹ Факультет искусств, наук и гуманитарных наук Университета Сан-Паулу, Сан Паулу, Бразилия

² Факультет наук о движении человека Северо-Западного университета, Потчештрум, Южная Африка

³ Кафедра управления сестринской деятельностью, Медицинский институт, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Переход от формата БРИКС к формату БРИКС+ знаменует собой важный шаг вперед в глобальном сотрудничестве между развивающимися экономиками с акцентом на интеграцию, совместное развитие и взаимодействие между развивающимися странами. По мере расширения блока за счет включения таких стран, как Египет, Эфиопия, Иран, Саудовская Аравия, ОАЭ и Индонезия, также возросли возможности для совместных усилий по укреплению здоровья. В этом более широком контексте Совет БРИКС по физической культуре и спортивной науке (БРИКСЕСС) трансформировался в БРИКСЕСС+ — глобальную платформу, ориентированную на укрепление здоровья посредством физической активности, спорта и отдыха. В данной статье рассматриваются развитие, цели и влияние БРИКСЕСС+, в частности его роль в борьбе с физической неактивностью и неинфекционными заболеваниями на глобальном Юге. Созданный в 2014 году и официально запущенный в 2015 году, БРИКСЕСС содействует международному сотрудничеству посредством проведения раз в два года конгрессов, исследовательских партнерств и инициатив, инициированных сообществами. Его преобразование в БРИКСЕСС+ отражает интегративное видение расширенного альянса БРИКС+. Опираясь на сравнительные исследования, включая докторскую диссертацию по физическому воспитанию в странах-основателях БРИКС, статья рассматривает влияние культурных, системных и политических факторов на стратегии укрепления здоровья. Примеры из практики новых членов БРИКС+, такие как программы развития на местах в Эфиопии, школьные инициативы в Иране и национальные кампании по фитнесу в Саудовской Аравии, дополнительно иллюстрируют эту интеграцию. В статье также освещаются успешные конгрессы BRICSCESS, проведенные в Бразилии (2017), Южной Африке (2019) и Индии (2024), и анализируется предстоящее мероприятие 2026 года в Москве. В статье сделан вывод о том, что BRICSCESS+ служит важной платформой, основанной на фактических данных, для продвижения устойчивого и комплексного развития здравоохранения в развивающихся странах.

Ключевые слова: БРИКС+, BRICSCESS, укрепление здоровья, физическая активность, досуг, глобальное здравоохранение, развивающиеся страны

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы выражают глубокую признательность проницательным лидерам, чья преданность делу и дальновидность сыграли решающую роль в концептуализации и создании Совета БРИКС по физической культуре и спорту (БРИКСЕСС). Особая благодарность выражается доктору Мин-Кай Чину, который в качестве временного президента руководил разработкой основополагающей структуры организации. Его лидерство увенчалось знаменательным учредительным собранием на 7-й Азиатско-Тихоокеанской конференции по науке о физической культуре и спорте в Индии, где он был избран первым президентом БРИКСЕСС. Мы также высоко ценим значительный лидерский вклад соучредителей, вице-президентов доктора Гульшана Кханны и доктора Елены Истиагиной-Елисеевой. Их совместные усилия, наряду с усилиями авторов, сыграли ключевую роль в превращении БРИКСЕСС в динамичную и влиятельную платформу для продвижения здоровья, физической активности и научного сотрудничества в странах БРИКС и за их пределами.

Для цитирования: Риччи Увинья Р., де Риддер Д.Х., Гущина Ю.Ш. Улучшение здоровья посредством физической активности и досуга в странах БРИКС Плюс: отчет ассоциации БРИКСЕСС Плюс. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2025;15(2):5–11. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.7>

Поступила в редакцию: 07.08.2025

Принята к публикации: 12.10.2025

Online first: 07.11.2025

Опубликована: 14.11.2025

* Автор, ответственный за переписку:

1. Introduction

The evolution from BRICS to BRICS+ marks a significant shift in global geopolitics and economic collaboration. Originally formed by Brazil, Russia, India, China, and South Africa, the BRICS bloc emerged as a powerful voice for emerging economies, promoting multipolarity and challenging Western-dominated institutions. Over time, the alliance recognized the need for greater inclusivity and broader representation of the Global South. This led to the expansion into BRICS+, an initiative aimed at building stronger

partnerships with other like-minded developing countries across Africa, Latin America, Asia, and the Middle East (BRICS, 2023).

Saran [1] and Stuenkel [2] note that the BRICS+ framework promotes broader economic collaboration, knowledge sharing, and policy alignment, thereby strengthening the bloc's collective influence on the global stage. Reflecting this shift, the BRICS group officially expanded on January 1, 2024, during the 15th BRICS Summit in Johannesburg, South Africa, with the inclusion of five new member states—Egypt,

Ethiopia, Iran, Saudi Arabia, and the United Arab Emirates [3]. This marked a pivotal moment in the transition from BRICS to BRICS+, a term that denotes the original five founding members plus any subsequent additions. Indonesia further joined the alliance in January 2025, increasing the total membership to eleven.

In recent years, the global health landscape has experienced a growing shift toward preventive strategies that emphasize wellness and quality of life. Among these strategies, physical activity and leisure have emerged as essential pillars in promoting health and preventing non-communicable diseases [4]. Within the context of emerging economies, the BRICS Plus nations face unique health challenges and opportunities related to population growth, urbanization, socioeconomic disparities, and changing lifestyles.

The BRICS Council of Exercise and Sport Science (BRICSCESS) was established to address these challenges by fostering international collaboration in the fields of exercise science, physical education, health promotion, and wellness [5]. The inclusion of BRICS+ countries into the framework of BRICSCESS represents a unique chance to broaden the impact of physical activity and leisure-based strategies, particularly in regions that face accelerated urbanization, demographic shifts, and systemic health disparities.

This article explores the role of the BRICSCESS+ organization, in advancing health promotion through physical activity and leisure across BRICS+ countries.

2. From BRICSCESS to BRICSCESS plus

BRICSCESS was first envisioned during the 18th International Scientific Congress held in Kazakhstan in 2014, under the collaborative international leadership of Dr. Ming-Kai Chin (Hong Kong, China), Dr. J. Hans de Ridder (South Africa), and Dr. Ricardo Ricci Uvinha (Brazil). The idea gained momentum during the 4th International Conference of Physical Education and Sports Science in Indonesia in 2015, where these founding leaders were joined by Dr. Gulshan Khanna (India) and Dr. Elena Istiagina-Eliseeva (Russia). Together, they began drafting the BRICSCESS constitution and bylaws, forming a scientific board, and planning for biennial conferences [5].

Dr. Ming-Kai Chin, serving as interim President, led efforts to establish the organizational framework and to prepare for the founding meeting, which took place later that year at the 7th Asia Pacific Conference on Exercise and Sports Science in India. At this historic meeting, Dr. Ming-Kai Chin was elected the first BRICSCESS President, with Dr. J. Hans de Ridder appointed as Vice President and Secretary-General/Treasurer. The other three Vice Presidents were Dr. Gulshan Khanna from India, Dr. Ricardo Uvinha from Brazil, and Dr. Elena Istiagina-Eliseeva from Russia. The association's headquarters was officially established at North-West University in Potchefstroom, South Africa, where the BRICSCESS constitution was finalized and adopted [5].

Shortly after the official expansion of the BRICS group to include five new member countries on January 1, 2024,

the BRICSCESS Board, during its meeting on February 28 in New Delhi NCR, India, resolved to officially adopt the name BRICSCESS+ and welcomed the new BRICS+ nations into the organization. The first BRICS+ member elected to the BRICSCESS Board of Directors is Dr. Dessalegn Wase Mola from Ethiopia. Dr. Mola serves as an Assistant Professor and Senior Lecturer in the Department of Sport Science at Ambo University in Ethiopia.

Founded on principles of inclusivity, innovation, and global partnership, BRICSCESS+ serves as a platform for scholars, practitioners, and policymakers to share knowledge, build networks, and implement culturally relevant interventions aimed at improving the health and wellbeing of diverse populations [6]. Through international conferences, academic exchanges, community engagement projects, and interdisciplinary research, the association supports sustainable development goals related to health, education, and social equity.

3. Physical activity and leisure in the original BRICS countries

In a PhD study conducted in South Africa by Dr. Vasti Oelofse, the state and status of Physical Education in the BRICS countries (Brazil, Russia, India, China, and South Africa) were investigated, recognising its pivotal role in the development of psychomotor, social, emotional, and cognitive skills, as well as its importance in combatting lifestyle-related diseases such as obesity. Despite its potential, Physical Education often faced neglect and marginalization within school curricula. This research addressed the dearth of comparative literature on Physical Education across BRICS nations, aiming to shed light on the subject's implementation and its impact on learners' health.

Grounded in Bronfenbrenner's Ecological Systems Theory, the study explored how various ecological systems influenced learner engagement in Physical Education. It also provided a detailed overview of the education systems in Brazil, Russia, India, China, and South Africa, highlighting key features relevant to Physical Education. These included governance structures in these countries, ranging from centralized to mixed models, each carrying diverse implications for curriculum implementation.

The research contributed to a deeper understanding of the dynamics shaping Physical Education in the BRICS nations and offered recommendations for enhancing its effectiveness in promoting learners' health and well-being. In addition to bridging the knowledge gap in comparative studies, the study's findings informed both policy and practice, providing guidance for the improvement of Physical Education across diverse educational and cultural contexts.

Based on the findings from Dr. Oelofse's doctoral study [7], it is evident that, in terms of key factors such as time allocation, subject recognition, teacher training, and assessment focus within curriculum frameworks, Physical Education is more firmly established in Russia, India, and China than in Brazil and South Africa. These countries, through their

national school curricula—situated within the exosystem of Bronfenbrenner’s Ecological Systems Theory [8] — allocate more instructional time, place greater emphasis on teacher preparation, and provide more comprehensive assessment guidelines for Physical Education.

However, the implementation of Physical Education curricula and related policies across all BRICS nations continues to face significant challenges. These include disparities in access to resources, variations in infrastructure, and shortages of well-qualified Physical Education teachers, which differ across regions. Despite these obstacles, various education reform efforts have emerged, signaling a shift towards improving Physical Education. Notable examples include Brazil’s introduction of a new common curriculum, Russia’s curriculum enhancements and the revitalisation of the national “Ready for Labor and Defense” (GTO) programme, India’s launch of the “Fit India” initiative, and China’s focused efforts to promote Physical Education and health through expanded physical activity opportunities. These reform initiatives have already led to positive outcomes, including improved levels of physical fitness among students, greater awareness of the benefits of regular physical activity, and better classroom dynamics. Collectively, these developments support the holistic well-being of learners and enhance their motivation, underscoring the potential of Physical Education as a key contributor to health promotion in the BRICS context [7].

4. Physical Activity and Leisure in BRICS Plus Countries

The global COVID-19 pandemic significantly underscored the importance of health and well-being, not only as an individual concern but also as a global development priority. This emphasis aligns closely with Goal #3 of the United Nations Sustainable Development Goals (UNSDG 17), which advocates for ensuring healthy lives and promoting well-being for all at all ages [9]. As nations began re-evaluating their public health systems in the aftermath of the pandemic, the role of physical activity (PA) and leisure-based movement emerged as a critical strategy for fostering long-term health resilience, particularly in BRICS Plus countries, where rapid urbanization and lifestyle transitions have led to rising rates of non-communicable diseases (NCDs) [10].

Children and youth, often referred to as the architects of the future, became a central focus of these initiatives. It is now widely acknowledged that early investment in physical activity and structured leisure opportunities can reduce the risk of obesity, mental health disorders, and sedentary-related illnesses in adulthood. In this context, several BRICS Plus nations have taken proactive steps toward integrating physical activity into national health and education policies. For example, Ethiopia has emerged as a noteworthy case in Africa. Through the incorporation of community-based exercise programs within its primary health care framework, the country has aimed to reduce the burden of NCDs such as hypertension, diabetes, and cardiovascular disease [11–13]. These community-led interventions leverage local health

workers and volunteers to deliver fitness education, group walks, and culturally relevant movement routines that resonate with rural and urban populations alike.

Similarly, Iran has made substantial strides in promoting adolescent health through school-based physical activity interventions. Recent programs have integrated physical education into academic curricula while also offering extra-curricular sports and wellness activities. These interventions have been linked to improved mental well-being, reduced anxiety and depression symptoms, and better academic performance among students [14, 15]. The focus in Iran underscores a broader Middle Eastern trend toward youth-focused health promotion.

In the Gulf region, both Saudi Arabia and the United Arab Emirates (UAE) have launched comprehensive national fitness and wellness agendas. As part of Saudi Vision 2030, the kingdom has prioritized increasing the percentage of citizens engaging in regular physical activity through public campaigns, urban planning reforms, and the development of sports infrastructure [16, 17]. Similarly, the UAE has introduced health reforms encouraging active lifestyles, including the “Dubai Fitness Challenge,” which invites residents to engage in 30 minutes of physical activity daily for 30 consecutive days.

These few examples illustrate how BRICS Plus countries are beginning to recognize the long-term value of preventive health through physical activity and leisure. By leveraging diverse strategies — ranging from grassroots community engagement to high-level national policy — the region is building a more resilient health culture. These efforts not only contribute to individual well-being but also address broader socioeconomic challenges, such as healthcare costs, productivity, and social cohesion. Promoting structured and unstructured forms of physical activity remains an essential pillar for sustainable development in the post-pandemic world.

5. BRICSCESS plus conferences

An excellent way to promote Health through Physical Activity and Leisure in BRICS Plus Nations is by hosting biennial congresses where not only BRICS Plus countries come together, but also colleagues from various other international countries.

The inaugural BRICSCESS Conference took place in Santos, Brazil, from 29 November to 2 December 2017. Organized by the Federal University of São Paulo (UNIFESP) and the University of São Paulo (USP), it was supported by CAPES and CNPq. The event, promoted by BRICSCESS, focused on the theme: “Sports Mega Events and Health Promotion: Policies and Legacies in Exercise and Sports Science.” The scientific program emphasized interdisciplinary approaches to health, wellness, physical activity, and the impact of major sporting events on active living. Over two and a half days, the conference welcomed around 200 participants from 31 countries. It featured four keynote addresses, 18 invited speakers, six workshops, and 15 Future Leaders/Volunteers (FLVs). A total of 41 oral presentations and 44

posters were showcased. This landmark event united global practitioners, educators, and researchers from the BRICS nations and beyond, all dedicated to advancing the field of exercise and sports science [5, 18].

The 2nd BRICSCESS Conference and the inaugural World Congress of Future Leader/Volunteer (WCFLV 2019) took place in Cape Town, South Africa, from 10–13 October 2019. Hosted by North-West University, it marked the first time Africa welcomed this prestigious event, making South Africa the second BRICS nation to do so. For the first time, BRICSCESS partnered with the South African Sports Medicine Association (SASMA) to present a joint congress under the theme: “Holistic Health, Sports Science and Sustainability: The Way Forward.” The conference featured 26 keynote and invited speakers from 23 countries, many of whom are leading global experts in sports medicine and science. The event was officially opened by the Honourable Anroux Marais, Minister of Cultural Affairs and Sport in the Western Cape. A highlight was the special two-hour session on 12 October, sponsored by the Department of Sport and Recreation in the Western Cape, featuring Dr Lyndon Bouah, Chief Director of Sport and Recreation at DCAS, and Professor Ian Culpan from New Zealand. Spanning three and a half days, the conference offered dynamic group sessions, insightful presentations, and vibrant exchanges in both formal and informal settings. International delegates praised the event’s quality and impact, describing it as unforgettable. The conference not only fostered global collaboration but also left a lasting impression on attendees and contributed meaningfully to the development of sport and health in Africa [18, 19].

The 3rd BRICSCESS Conference 2024 was held from 26–29 February at the Manav Rachna International Institute of Research and Studies in Faridabad, New Delhi NCR, India. With the theme “Advances in Holistic Health and Sport for Children and Youth: Innovation, Integration, and Sustainability through Science,” India became the third BRICS nation to host this prestigious event. The inaugural conference was held in Santos, Brazil in 2017, led by Professors Ricardo Uvinha and Nara Oliveira, followed by Cape Town, South Africa in 2019, under Professors Hans de Ridder and Maya van Gent. Chaired by Professor Gulshan Khanna, the 2024 edition upheld the tradition of excellence, emphasizing interdisciplinary collaboration to promote holistic health through scientific innovation. The program featured five keynote speakers, 17 invited speakers, and three workshop presenters, alongside nine Future Leaders (FLVs). Participants represented 20 countries and regions, including Brazil, Canada, China, India, Israel, Korea, Malaysia, New Zealand, Russia, South Africa, Spain, Turkey, and the USA. BRICSCESS 2024 proved to be an inspiring and memorable experience for all attendees, fostering global dialogue and advancing the field of sport and health science [18, 19].

The 4th BRICSCESS 2026 Conference is scheduled to take place from 26–29 October 2026 at the Peoples’ Friendship University of Russia (RUDN) in Moscow, RUSSIA. The congress will be held under the theme “Empowering

Future Generations through Holistic, Science-Based Health Solutions” and will be led by Prof. Yulia Gushchina of Russia, who serves as Chair of the Local Organizing Committee (LOC). Prof. Gushchina is the Deputy Director for International Affairs at the Institute of Medicine, RUDN University. Preparations for the event are well underway behind the scenes, and the congress is expected to be a major success, continuing the strong legacy of the previous three BRICSCESS conferences.

6. Future Research Directions

Future research within the BRICSCESS+ framework should focus on comparative studies that examine how cultural, policy, and systemic factors shape health promotion strategies across diverse BRICS+ nations. As the alliance expands to include countries like Egypt, Ethiopia, Iran, and Saudi Arabia, there is a growing need to explore localized approaches to combating physical inactivity and non-communicable diseases. Investigating grassroots initiatives, school-based programs, and national fitness campaigns can reveal scalable models for holistic health development. Longitudinal studies assessing the impact of physical activity and sport on youth well-being, especially in underserved communities, will be crucial. Additionally, interdisciplinary research integrating sport science, education, and public health can inform inclusive policies that support sustainable wellness. Future congresses, such as the 2026 event in Moscow, should serve as platforms to present findings, foster collaboration, and refine global strategies. BRICSCESS+ offers a unique opportunity to build a robust evidence base for health promotion across emerging economies.

7. Conclusion

The transition from BRICS to BRICS+ reflects a growing recognition of the need for inclusive global collaboration, particularly in addressing shared health challenges among emerging economies. Within this evolving framework, BRICSCESS+ has emerged as a vital platform for promoting physical activity, sport, and leisure as strategic tools for health promotion and disease prevention. Its evolution from a visionary idea into a thriving international organization underscores the power of academic partnerships, cross-cultural dialogue, and evidence-based practice.

From the early foundational work of its leaders in Brazil, South Africa, Russia, India, and China, to its expansion to include new voices from countries such as Ethiopia, Iran, Saudi Arabia, and the UAE, BRICSCESS+ has shown that cooperative health strategies can be both contextually grounded and globally impactful. As demonstrated by initiatives in countries like Ethiopia and Iran, national and community-based interventions are increasingly integrating physical activity into broader health and education policies, contributing to long-term societal resilience.

Moreover, the success of past BRICSCESS conferences in Brazil, South Africa, and India has highlighted the value of convening global experts, youth leaders, and policymakers to

share innovations and build sustainable health networks. The upcoming 4th BRICSCESS+ Conference in Moscow promises to build on this momentum, fostering holistic, science-based solutions to empower future generations.

In a world where non-communicable diseases, mental health challenges, and lifestyle-related illnesses are on the

Authors contributions:

Ricardo Ricci Uvinha — writing original draft, review & editing, validation, supervision, methodology.

J. Hans de Ridder — methodology, project administration, writing original draft.

Julia Sh. Gushchina — software, data curation, resources.

References / Литература

1. Eshete A., Mohammed S., Shine S., Eshetie Y., Assefa Y., Tadesse N. Effect of physical activity promotion program on adherence to physical exercise among patients with type II diabetes in North Shoa Zone Amhara region: a quasi-experimental study. *BMC Public Health*. 2023;23(1):709. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-15642-7>
2. Stuenkel O. The BRICS and the future of global order. Lexington Books; 2021. <https://doi.org/10.5040/9781978730687>
3. Kornegay F.A., Bohler-Muller N. (eds). Laying the BRICS of a new global order: from Yekaterinburg 2009 to Ethekweni 2013 [internet]. Pretoria: Africa Institute of South Africa; 2013. Available at: <http://hdl.handle.net/20.500.11910/2807>
4. Edginton C.R., Chin M.-K., de Ridder J.H., Moss S.J. The Global Forum for Physical Education Pedagogy 2014 (GoF-PEP 2014) — Physical education and health: Global perspectives and best practice. *International Journal of Physical Education*. 2014;51(3):29–40. <https://doi.org/10.5771/2747-6073-2014-3-29>
5. Uvinha R.R., de Oliveira N.R.C., de Ridder J.H., Chin M.-K., Durstine J.L. The BRICS Council for Exercise and Sport Science (BRICSCESS) — A new era has dawned. *J. Sport Health Sci*. 2018;7(4):425–428. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2018.06.004>
6. Chin M.-K., Anderson E., de Ridder J.H., Uvinha R.R., Durstine J.L. BRICS to BRICSCESS — A perspective for practical action in the promotion of healthy lifestyles to improve public health in five countries. *J. Sport Health Sci*. 2019;8(6):520–523. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2019.09.004>
7. Oelofse V., Van der Merwe N., Du Toit D., de Ridder J.H. The status of physical education in BRICS nations. *African Journal for Physical Activity and Health Sciences*. 2024;30(3):503–525. Available at: https://hdl.handle.net/10520/ejc-ajpherd1_v30_n3_a10
8. Bronfenbrenner U., Morris P.A. The bioecological model of human development. In: Lerner R.M., Damon W. (eds.). *Handbook of child psychology*. Wiley Online Library; 2006 <https://doi.org/10.1002/9780470147658.chpsy0114>
9. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development [internet]. Available at: <https://sdgs.un.org/2030agenda>
10. Mubarik S., Bin W., Le Z., Sang M., Lin Y., Zheng J., Wang Y. Epidemiological trends in cardiovascular disease mortality attributable to modifiable risk factors and its association with so-

rise, the role of physical activity and leisure cannot be overstated. BRICSCESS+ stands at the intersection of science, policy, and community, offering a collaborative path forward for improving public health across the Global South. As the alliance continues to grow, so too does its potential to shape a healthier, more equitable future for all.

Вклад авторов:

Рикардо Риччи Увинья — написание первоначальной версии рукописи, обзор и редактирование, валидация, контроль, методология, концептуализация.

Дж. Ханс де Риддер — методология, администрирование проекта, написание первоначального проекта, рецензирование и редактирование.

Юлия Шамилевна Гущина — курирование данных, ресурсы.

ciodemographic transitions across BRICS Plus countries. *Nutrients*. 2023;15(17):3757. <https://doi.org/10.3390/nu15173757>

11. Eshete A., Mohammed S., Shine S., Eshetie Y., Assefa Y., Tadesse N. Effect of physical activity promotion program on adherence to physical exercise among patients with type II diabetes in North Shoa Zone Amhara region: a quasi-experimental study. *BMC Public Health*. 2023;23(1):709. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-15642-7>

12. Bekele A., Alem A., Seward N., Eshetu T., Gebremariam T.H., Getachew Y., et al. Barriers and enablers to improving integrated primary healthcare for non-communicable diseases and mental health conditions in Ethiopia: a mixed methods study. *BMC Prim. Care*. 2024;25(1):211. <https://doi.org/10.1186/s12875-024-02458-6>

13. Mengistu T.S., Endalamaw A., Zewdie A., Wolka E., Assefa Y. Strengthening primary health care in Ethiopia: A scoping review of successes, challenges, and pathways towards universal health coverage using the WHO monitoring framework. *PLOS Global Public Health*. 2025;5(4):e0004470. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0004470>

14. Sanaeinasab H., Saffari M., Pakpour A.H., Nazeri M., Piper C.N. A model-based educational intervention to increase physical activity among Iranian adolescents. *J. Pediatr. (Rio J)*. 2012;88(5):430–438. <https://doi.org/10.2223/JPED.2223>

15. Ranaei A., Tavakoly Sany S.B., Vahedian Shahroodi M., Sabahi A., Tehrani H., Khajavi A. School-based peer education intervention on physical activity in Iranian adolescent girls: an application of the theory of planned behavior. *Front. Public Health*. 2025;13:1558210. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1558210>

16. Albululaya N., Stevinson C. Exercise Promotion in Saudi Arabia: Understanding Personal, Environmental, and Social Determinants of Physical Activity Participation and Well-Being. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2023;20(4):3554. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043554>

17. Albululaya N., Clare S., Joe P. Physical Activity Policy in Saudi Arabia: Analysis of Progress and Challenges. *International Journal of Sport Policy and Politics*. 2023;16(4):609–624. <https://doi.org/10.1080/19406940.2023.2228812>

18. BRICS. Council of Exercise and Sports Science [internet]. Available at: <https://bricscess.com>

19. BRICS 2023. XV BRICS Summit Johannesburg II Declaration [internet]. Available at: <https://ocds-brics.org/wp-content/uploads/2023/08/jhb-ii-declaration-24-august-2023-1.pdf>

Information about the authors:

Ricardo Ricci Uvinha, Full Professor, Director, School of Arts, Science and Humanities of University of São Paulo, 1000 Ermelino Matarazzo Avenida Arlindo Bettio, São Paulo SP, 03828-000, Brazil, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2936-9453> (uvinha@usp.br; +5511996015048)И

J. Hans de Ridder, Full Professor, Director, School of Human Movement Sciences, North-West University, Potchefstroom Campus, office 112, bldg. E3, Hoffman Street South, Africa, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8766-8916> (hans.deridder@nwu.ac.za; +27828823987)

Yulia Sh. Gushchina, Cand. Sci. (Pharmaceutical), Associate Professor, Department of Management of Nursing Activities, Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University); bldg. 6 Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1377-4796> (gushchina-yush@rudn.ru; +79250181017)

Информация об авторах:

Рикардо Риччи Увинья, профессор, директор Школы искусств, наук и гуманитарных наук Университета Сан-Паулу, Бразилия, Бразилия, 03828-000, Сан-Паулу, пр-т Арлиндо Беттио, 1000 Эрмелино Матараццо, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2936-9453> (uvinha@usp.br; +5511996015048)

Дж. Ханс де Риддер, профессор, директор Школы наук о движении человека, Северо-Западный университет, кампус Потчеструм, ЮАР, ул. Хоффман, зд. Е3, оф. 112, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8766-8916> (hans.deridder@nwu.ac.za; +27828823987)

Юлия Шамилевна Гущина*, кандидат фармацевтических наук, доцент, кафедра управления сестринской деятельностью, Медицинский институт, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, стр. 6, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1377-4796> (gushchina-yush@rudn.ru; +79250181017)

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.5>

УДК: 796.01:577.01

Тип статьи: Оригинальная статья / Original research



Кинетика сердечного тропонина I в ротовой жидкости после забегов на дистанции 5 и 21 км

А.Н. Овчинников

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», Нижний Новгород, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: сравнить изменения концентрации сердечного тропонина I (сТн-I) в слюне у спортсменов после забегов на дистанции 5 и 21 км.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 32 спортсмена мужского пола, которые были разделены на две группы. Группа 1 ($n = 16$) преодолевала дистанцию 5 км, группа 2 ($n = 16$) — 21 км. Слюна собиралась методом нестимулированного сплевывания до начала забега (Т1), после забега (Т2), через 4 часа (Т3) и 24 часа (Т4) после его окончания. Концентрация сТн-I в слюне определялась с использованием анализатора Getein. Полученные данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха (Me [IQR]).

Результаты. Уровень сТн-I в слюне значительно увеличился как после забега на дистанцию 5 км, так и после преодоления дистанции 21 км. При этом более высокие пиковые значения сТн-I наблюдались после забега на дистанцию 5 км. Так, уровень сТн-I в слюне был статистически значимо выше в Т2 (группа 1: 0,38 [0,34–0,41] нг/мл; группа 2: 0,33 [0,29–0,35] нг/мл) по сравнению с Т1 (группа 1: 0,14 [0,13–0,16] нг/мл; группа 2: 0,15 [0,13–0,17] нг/мл), достигая максимума в Т3 (группа 1: 0,59 [0,54–0,64] нг/мл; группа 2: 0,40 [0,38–0,44] нг/мл) и возвращаясь к исходному уровню к Т4 (группа 1: 0,17 [0,13–0,20] нг/мл; группа 2: 0,13 [0,11–0,17] нг/мл).

Заключение: забег на дистанцию 5 км вызывал более выраженное повышение уровня сТн-I в слюне у спортсменов по сравнению с забегом на дистанцию 21 км, что указывает на доминирующую роль интенсивности аэробной нагрузки в высвобождении сТн-I.

Ключевые слова: интенсивность физической нагрузки, сердечный тропонин I, слюна, повреждение миокарда, неинвазивная диагностика; спортивная кардиология

Благодарности: автор выражает благодарность спортсменам и их тренерам за сотрудничество и приверженность данному исследованию.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Овчинников А.Н. Кинетика сердечного тропонина I в ротовой жидкости после забегов на дистанции 5 и 21 км. Спортивная медицина: наука и практика. 2025;15(2):12–19. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.5>

Поступила в редакцию: 16.09.2025

Принята к публикации: 03.10.2025

Online first: 06.11.2025

Опубликована: 14.11.2025

The kinetics of cardiac troponin I in saliva following 5-km and 21-km running trials

Aleksandr N. Ovchinnikov

National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

ABSTRACT

Objective: to compare changes in salivary concentrations of cardiac troponin I (cTnI) in athletes after 5-km and 21-km running trials.

Materials and methods: 32 male athletes were recruited and assigned to two groups. Participants of group 1 ($n = 16$) completed a 5-km running trial, while participants of group 2 ($n = 16$) completed a 21-km running trial. Unstimulated saliva was collected using the spitting method at pre-exercise (T1), post-exercise (T2), 4 hours post-exercise (T3), and 24 hours post-exercise (T4). Salivary concentrations of cTnI were measured using a Geteint analyser. Data are expressed as median and interquartile range (Me [IQR]).

Results: Salivary levels of cTnI increased significantly in both running trials, with higher peak values occurring after the 5-km running trial compared with those of the 21-km running trial. cTnI levels in saliva rose at T2 (group 1: 0.38 [0.34–0.41] ng/mL; group 2: 0.33 [0.29–0.35] ng/mL) compared to T1 (group 1: 0.14 [0.13–0.16] ng/mL; group 2: 0.15 [0.13–0.17] ng/mL), peaked at T3 (group 1: 0.59 [0.54–0.64] ng/mL; group 2: 0.40 [0.38–0.44] ng/mL), and returned to baseline by T4 (group 1: 0.17 [0.13–0.20] ng/mL; group 2: 0.13 [0.11–0.17] ng/mL).

Conclusion: A 5-km running trial induced a greater increase in salivary levels of cTnI in athletes compared to a 21-km running trial, indicating a dominant role of exercise intensity in cTnI release.

Keywords: exercise intensity; cardiac troponin I; saliva; myocardial injury; non-invasive diagnostics; sports cardiology

Acknowledgments: The author would like to thank the athletes and their coaches for their cooperation and commitment to this study.

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

For citation: Ovchinnikov A.N. The kinetics of cardiac troponin I in saliva following 5-km and 21-km running trials. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2025;15(2):12–19. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.5>

Received: 16 September 2025

Accepted: 03 October 2025

Online first: 06 November 2025

Published: 14 November 2025

1. Введение

Сердечный тропонин I (сТн-I) является высокоспецифичным маркером повреждения кардиомиоцитов, поэтому определение его концентрации в крови служит золотым стандартом лабораторной диагностики острого коронарного синдрома в клинической практике [15]. Традиционно концентрация сТн-I измеряется в крови, однако взятие крови является инвазивной процедурой, требующей наличия специально обученного медицинского персонала и лабораторной инфраструктуры, что существенно ограничивает ее применение в условиях тренировочных занятий или спортивных соревнований [1].

Детекция сТн-I в слюне открывает новые перспективы для неинвазивного и безболезненного мониторинга повреждения миокарда у спортсменов непосредственно во время тренировочных занятий, а также в других ситуациях, когда взятие крови затруднено [21]. Учитывая, что молекулы сТн-I ранее были обнаружены в слюне, где их концентрация была ниже, чем в сыворотке крови, пассивный транспорт в ротовую жидкость через гематоэнцефалический барьер может быть одним из механизмов элиминации сТн-I и его фрагментов из кровотока [6, 7]. Косвенным подтверждением этого предположения является продемонстрированная в ряде исследований корреляция между концентрацией сТн-I в слюне

и сыворотке крови как у здоровых добровольцев, так и у пациентов с острым инфарктом миокарда [6, 7, 11, 14, 24].

Высокоинтенсивные физические нагрузки, особенно продолжительного характера, могут вызывать повышение уровня сТн-I у здоровых лиц, что, как правило, отражает обратимое физиологическое стрессовое воздействие на миокард [25]. Несмотря на то что у спортсменов зачастую наблюдается транзиторное повышение уровня сТн-I в зависимости от интенсивности и продолжительности физической нагрузки, каждый случай следует рассматривать в индивидуальном порядке, поскольку повышенный уровень сТн-I может быть связан с потенциальным риском возникновения неблагоприятных сердечных событий, особенно при наблюдаемой концентрации сТн-I выше 99-го перцентиля верхнего референтного предела в течение более 24 часов с сопутствующими доказательствами ишемии миокарда [23]. В качестве дополнительного инструмента для предупреждения риска возникновения острых сердечно-сосудистых событий после индуцированного физической нагрузкой повреждения миокарда целесообразно выполнять серийные измерения концентрации сТн-I в слюне [21]. Поскольку динамика уровня сТн-I в слюне в ответ на аэробные нагрузки разной интенсивности и продолжительности изучена недостаточно, целью

исследования было сравнение изменения концентрации сТн-I в слюне у здоровых молодых спортсменов после забегов на дистанции 5 и 21 км с максимально возможной скоростью.

2. Материалы и методы

В исследовании приняли участие 32 спортсмена мужского пола (возраст: $26,78 \pm 2,43$ года; рост: $174,84 \pm 2,60$ см; масса тела: $68,06 \pm 2,73$ кг; индекс массы тела: $22,27 \pm 0,99$ кг/м²), специализирующихся в беге на стайерские дистанции и имеющих III спортивный разряд по легкой атлетике. Все участники не имели каких-либо жалоб на состояние здоровья, не курили, не принимали на регулярной основе лекарственных препаратов и не имели ранее диагностированных сердечно-сосудистых заболеваний, что было подтверждено результатами предварительного скрининга (анамнез, регистрация электрокардиограммы).

Критериями исключения из исследования были острые респираторные инфекции на момент исследования или за две недели до его начала, прием субстанций, включенных в Запрещенный список Всемирного антидопингового агентства, ортопедические травмы, препятствующие бегу, а также несанированная полость рта. Все участники исследования были разделены на две группы, исходя из приоритетной для них дистанции (5 или 21 км), за выполнение разрядного норматива по бегу на которой ранее им был присвоен III спортивный разряд по легкой атлетике.

Группа 1 ($n = 16$, возраст: $27,19 \pm 2,69$ года; рост: $175,50 \pm 2,25$ см; масса тела: $68,69 \pm 2,87$ кг; индекс массы тела: $22,31 \pm 1,07$ кг/м²) преодолевала дистанцию 5 км, группа 2 ($n = 16$, возраст: $26,38 \pm 2,16$ года; рост: $174,19 \pm 2,83$ см; масса тела: $67,44 \pm 2,53$ кг; индекс массы тела: $22,24 \pm 0,93$ кг/м²) — дистанцию 21 км. Все участники исследования находились под наблюдением медицинского персонала как во время проведения забегов, так и в период восстановления. Во время участия в забегах у участников исследования непрерывно регистрировали частоту сердечных сокращений (ЧСС) с использованием пульсометра Polar (Polar Electro Oy, Финляндия). Исследование было одобрено Комитетом по биоэтике ННГУ им. Н.И. Лобачевского (протокол № 43 от 15.10.2020 г.) и проводилось в соответствии с принципами Хельсинкской декларации [30]. От всех участников исследования было получено письменное информированное согласие.

В зависимости от группы участники преодолевали дистанцию 5 или 21 км гладким бегом с максимальной возможной скоростью на легкоатлетической дорожке стадиона. Все участники исследования использовали стандартные кроссовки для бега по шоссе. Время финиша регистрировалось с помощью ручного секундомера с точностью до 0,01 секунды.

Всем участникам было рекомендовано позавтракать за один час до забега и воздержаться от употребления кофеина и алкоголя в течение как минимум 24 часов

до сбора слюны. Смешанная слюна собиралась методом нестимулированного сплевывания в стерильные пробирки в следующих временных точках: до начала забега (T1), непосредственно после забега (T2), через 4 (T3) и 24 часа (T4) после забега. Перед каждым взятием образца слюны все участники тщательно ополаскивали рот бутилированной водой за 5 минут до сбора биоматериала.

Все образцы были доставлены в лабораторию, центрифугированы при 3000 об/мин в течение 15 минут, разделены на аликвоты и заморожены при температуре -80°C до момента измерения уровня сТн-I. Концентрация сТн-I в слюне определялась с использованием портативного иммунофлуоресцентного анализатора Getein (Getein Biotech Inc., Китай) в соответствии с инструкциями производителя. Анализатор обеспечивает диапазон измерения концентрации сТн-I от 0,01 нг/мл до 50 нг/мл. Аналитическая валидность используемого иммунофлуоресцентного анализатора Getein для измерения концентрации сТн-I в слюне была продемонстрирована в предшествующих исследованиях [21].

Полученные данные представлены в виде среднего арифметического значения и стандартного отклонения или медианы и межквартильного размаха. Предположение о нормальности распределения данных было оценено с помощью критерия Шапиро — Уилка. Учитывая, что все данные были распределены в соответствии с законом нормального распределения, для сравнения уровней сТн-I в слюне между группами в одних и тех же временных точках использовался t -критерий Стьюдента, дополненный расчетом соответствующих размеров эффекта. Учитывая размер выборки и мощность 80% при $\alpha = 0,05$, для определения межгрупповых различий в уровнях сТн-I в слюне потребовалась бы величина эффекта Коэна (Cohen's d), равная 1,03. Поскольку дисперсии были неоднородны, о чем свидетельствуют результаты применения критерия Флигнера — Килина, для сравнения уровней сТн-I в слюне внутри групп между разными временными точками использовался критерий Фридмана с последующим применением апостериорного критерия Дарбина — Коновера. Статистическую значимость устанавливали при $p < 0,05$. Статистический анализ выполнялся с использованием программного приложения RStudio (версия 2022.07.2+576 для macOS (RStudio, PBC, Boston, MA; <http://www.rstudio.com>)).

3. Результаты

Все участники исследования успешно завершили забеги на дистанцию 5 или 21 км в зависимости от групповой принадлежности. Ни у одного из участников исследования не было зарегистрировано клинических симптомов, которые могли бы быть расценены как связанные с острой кардиальной патологией.

Время преодоления дистанции в группе 1 составило 18 минут 1 секунду \pm 52 секунды, в группе 2 — 90 минут 26 секунд \pm 3 минуты 55 секунд. Темп бега на 1 км в группе 1 составил 3 минуты 36 секунд \pm 10 секунд, в группе 2 — 4 минуты 18 секунд \pm 11 секунд. У участников

группы 1 скорость бега и частота сердечных сокращений во время забега были статистически значимо выше по сравнению с представителями группы 2 (рис. 1).

Концентрация сТн-I в слюне до начала забега была сопоставима между группами (см. рис. 2).

В обеих группах уровень сТн-I в слюне был статистически значимо выше сразу после завершения забега (Т2) по сравнению с исходными значениями (Т1). При этом концентрация сТн-I в слюне у спортсменов группы 1

была статистически значимо больше сразу после забега по сравнению со значениями, наблюдаемыми у участников группы 2. Пиковая концентрация сТн-I в слюне наблюдалась во временной точке Т3 у спортсменов обеих групп (см. рис. 3).

Уровень сТн-I в слюне у спортсменов группы 1 был также статистически значимо выше через 4 часа после забега в сравнении со значениями, зарегистрированными у представителей группы 2. Спустя 24 часа

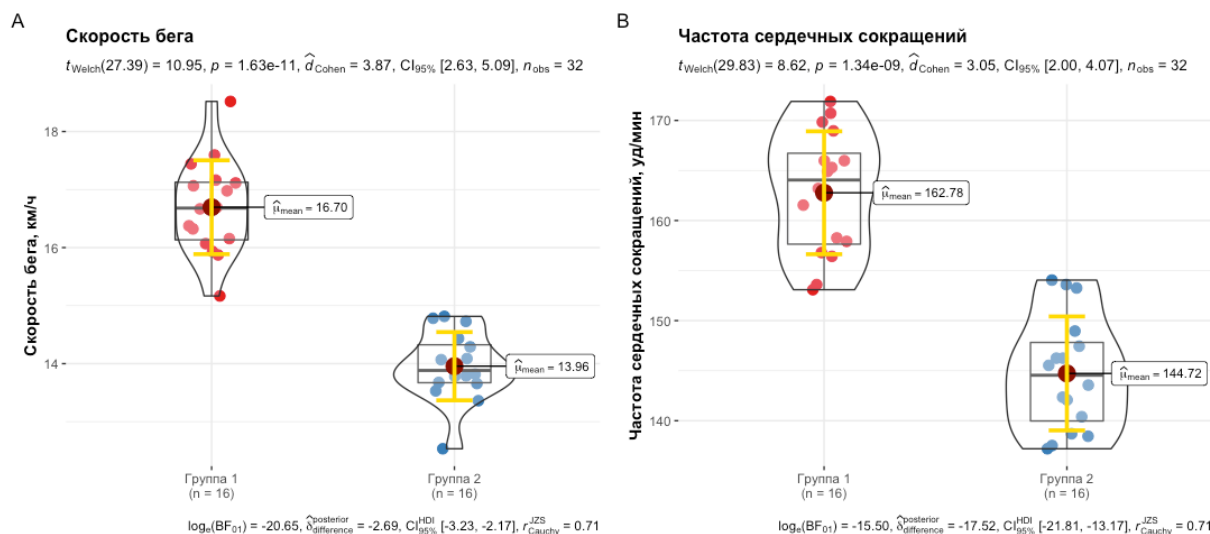


Рис. 1. Сравнение скорости бега (А) и частоты сердечных сокращений (В) между группами

Fig. 1. Comparison of running speed (A) and heart rate (B) between groups

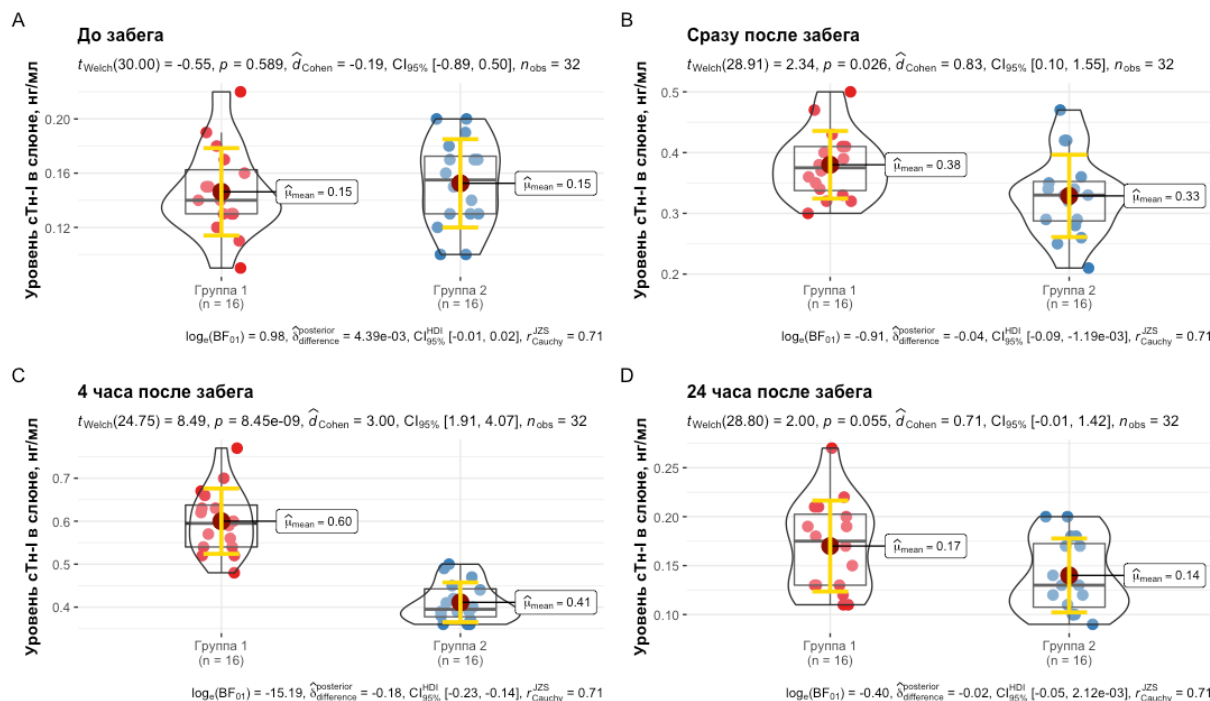


Рис. 2. Сравнение концентрации сердечного тропонина I (сТн-I) в слюне между группами до забега (А), сразу после забега (В), через 4 часа (С) и 24 часа (Д) после забега

Fig. 2. Comparison of cardiac troponin I (cTnI) concentrations in saliva between groups before exercise (A), immediately after exercise (B), 4 hours (C) and 24 hours (D) post-exercise

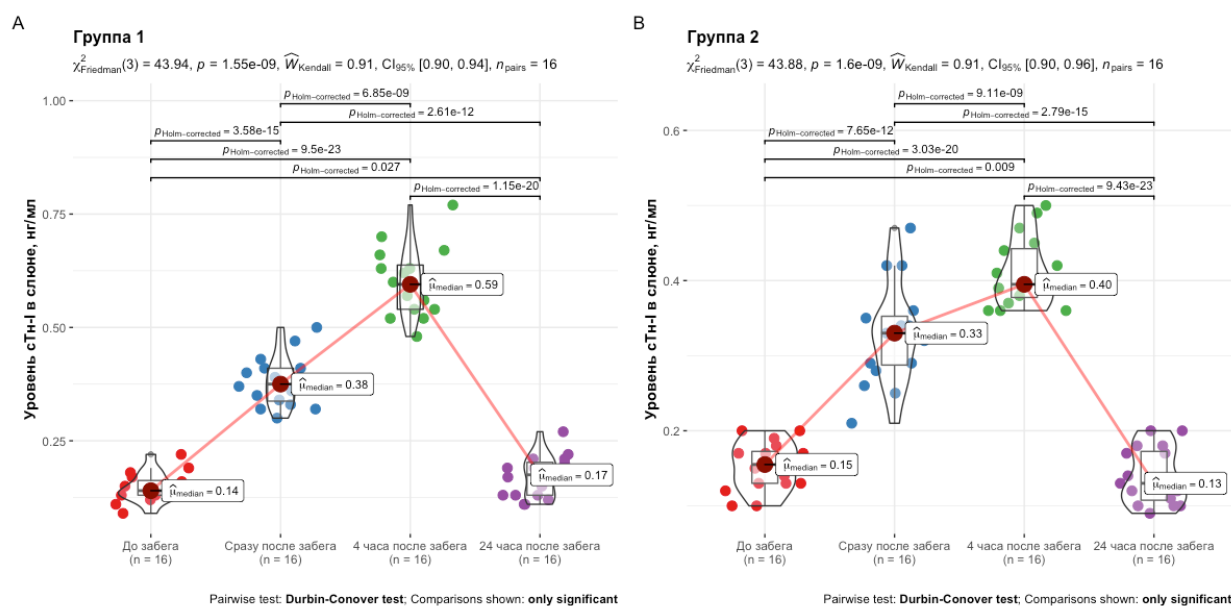


Рис. 3. Динамика концентрации сердечного тропонина I (сТн-I) в слюне у спортсменов группы 1 (А) и группы 2 (В)
Fig. 3. Changes in cardiac troponin I (cTnI) concentrations in saliva of athletes in group 1 (A) and group 2 (B)

концентрация сТн-I в слюне уменьшилась в обеих группах, приблизившись к исходным значениям до забега (Т1), и не различалась статистически значимо между группами.

4. Обсуждение

Насколько известно, это первое исследование, сравнивающее кинетику уровней сТн-I в слюне в ответ на аэробные нагрузки разной интенсивности и продолжительности у здоровых молодых спортсменов. Аэробная нагрузка (забеги на дистанцию 5 или 21 км с максимально возможной скоростью) приводила к значительному повышению концентрации сТн-I в слюне у спортсменов обеих групп. Изменение уровня сТн-I в слюне характеризовалось быстрым увеличением сразу после забега (Т2), достижением пика через 4 часа (Т3) после забега и возвращением к исходным значениям спустя 24 часа (Т4). Наблюдаемый паттерн отсроченного пика (Т3) соответствовал существующим представлениям о кинетике высвобождения тропонинов из кардиомиоцитов после индуцированного физической нагрузкой повреждения миокарда [1, 21]. Кроме того, отмечалась существенная индивидуальная вариабельность пикового уровня сТн-I в слюне. Возвращение к исходным значениям через 24 часа после завершения забега свидетельствовало о транзитном характере вызванного физической нагрузкой высвобождения сТн-I.

Механизмы, ответственные за повышение концентрации сТн-I при физической нагрузке, остаются предметом дискуссии [1]. Исследовательская группа по биомаркерам Европейского общества кардиологов выделила три возможные причины повышения концентрации сТн-I [17]:

- 1) обратимое повреждение миокарда, обусловленное повреждением клеток, повышенной скоростью экзоцитоза и образованием внеклеточных везикул;
- 2) повреждение миокарда, связанное с апоптотическими процессами;
- 3) необратимое повреждение, обусловленное некрозом миокарда.

Хотя прямые данные, подтверждающие или опровергающие наличие единого механизма, ответственного за повышение концентрации сТн-I при физической нагрузке, ограничены, тем не менее на основе имеющихся доказательств можно сделать ряд предположений относительно потенциального вклада каждой из возможных причин, указанных выше. Во-первых, повреждение кардиомиоцитов в результате β -адренергической стимуляции, сокращения и/или растяжения, а также кратковременной ишемии при физической нагрузке может изменять проницаемость сарколеммы [5, 9, 13, 22], что приводит к пассивному транспорту молекул сТн-I и его фрагментов из кардиомиоцита во внеклеточное пространство и кровоток [2]. Фрагменты сТн-I с низкой молекулярной массой могут проникать непосредственно в кровоток, в то время как его более крупные фрагменты могут выйти за пределы клетки преимущественно только после модификации или разрушения клеточной мембраны [1]. Во-вторых, высокоинтенсивная аэробная нагрузка может увеличивать скорость апоптоза, тогда как повышенная преднагрузка левого желудочка и/или кратковременная ишемия (состояния, которые могут возникнуть во время интенсивной физической нагрузки) также могут приводить к возникновению его локализованной формы [3, 8, 10, 27, 28]. С одной стороны, апоптоз не должен приводить к повышению уровня

cTн-I за пределами кардиомиоцита, поскольку внутриклеточное содержимое не высвобождается, когда апоптотическая клетка фрагментируется и поглощается другими клетками. Однако, с другой стороны, cTн-I может высвобождаться при разрушении апоптотических телец или переходе от апоптоза кардиомиоцита к вторичному некрозу [12]. В-третьих, высокоинтенсивная аэробная нагрузка может ускорить обновление кардиомиоцитов, что может привести к высвобождению молекул cTн-I в кровоток из замененных кардиомиоцитов [1, 4, 26]. Наконец, учитывая, что концентрация cTн-I после физической нагрузки меньше, достигает пика раньше и возвращается к исходным значениям быстрее, чем после острого инфаркта миокарда, маловероятно, что некроз является причиной повышения уровня cTн-I даже после сверхинтенсивной аэробной нагрузки продолжительного характера. Однако существующие различия не исключают возможности того, что при физической нагрузке может возникнуть небольшая степень некроза, приводящая к повышению уровня cTн-I, в особенности у лиц с высоким риском возникновения неблагоприятных сердечных событий [1]. Тем не менее на данный момент нет никаких доказательств возникновения отека миокарда или отсроченного повышения концентрации гадолиния у спортсменов после физической нагрузки [19, 20]. В свою очередь также следует отметить, что методы визуализации могут быть недостаточно чувствительными для выявления очень небольшой степени некроза с сопутствующим повышением уровня cTн-I [18].

Ряд альтернативных гипотез, выдвинутых для объяснения повышения уровня cTн-I при физической нагрузке, также могут быть приняты во внимание с некоторыми ограничениями. Во-первых, предполагается, что дегидратация, вызванная физической нагрузкой, может влиять на уровень cTн-I в слюне. Однако относительное изменение концентрации показателей водно-электролитного баланса, как правило, незначительно по сравнению с изменением концентрации cTн-I [1]. Кроме того, подразумевается, что любая дегидратация вскоре будет компенсирована за счет регидратации в постнагрузочном периоде, что противоречит прогрессирующему повышению уровня cTн-I в слюне через 4 часа после аэробной нагрузки. Во-вторых, имеющиеся данные свидетельствуют о том, что умеренное снижение функции почек, индуцированное физической нагрузкой, может ослабить элиминацию cTн-I через гломерулярный фильтр, что приводит к повышению его уровня в кровотоке после физической нагрузки [29]. Однако повышение концентрации cTн-I, вызванное аэробной нагрузкой, обычно значительно превышает временное умеренное снижение функции почек [1]. Данный факт указывает на то, что влияние временного умеренного снижения функции почек, индуцированного физической нагрузкой, на концентрацию cTн-I в кровотоке незначительно.

Логично предположить, что повышение уровня cTн-I в слюне у испытуемых обеих групп, наблюдаемое

в данном исследовании, в основном обусловлено обратимым повреждением мембран жизнеспособных кардиомиоцитов. Был ли это единственный механизм, ответственный за повышение уровня cTн-I в слюне испытуемых после забегов на дистанции 5 и 21 км, или же также наблюдался локализованный апоптоз и/или некроз в крайне незначительной степени, в данном исследовании неизвестно. Более того, неясно, являются ли предполагаемые изменения проницаемости сарколеммы кардиомиоцитов полностью физиологическими (частью процесса ремоделирования). Учитывая, что наблюдалась индивидуальная вариабельность в пиковых уровнях cTн-I в слюне даже у участников одной и той же группы после забега на идентичную дистанцию, возможно, что вклад этих базовых механизмов в наблюдаемую изменчивость различался у спортсменов с разными уровнями cTн-I в слюне.

Наиболее значимым результатом данного исследования стало обнаружение более выраженного повышения концентрации cTн-I в слюне после менее продолжительного, но более интенсивного бега на дистанцию 5 км по сравнению с более длительным, но менее интенсивным бегом на дистанцию 21 км. Данный факт может быть свидетельством того, что интенсивность аэробной нагрузки является более мощным стимулом для высвобождения cTн-I, чем ее продолжительность или общий объем. Полученные данные соответствуют выводам предыдущих исследований [16], демонстрируя возможность неинвазивного мониторинга концентрации cTн-I в слюне с использованием портативной тест-системы.

5. Ограничения и перспективы

Во-первых, полученные результаты не представляется возможным экстраполировать на лиц женского пола и спортсменов, представляющих другие виды спорта, поскольку в исследовании участвовали только легкоатлеты мужского пола, специализирующиеся в беге на стайерские дистанции. Во-вторых, сравнение кинетики уровней cTн-I в слюне не у одних и тех же спортсменов в ответ на аэробную нагрузку разной интенсивности и продолжительности, а у разных спортсменов не позволяет исключить влияние индивидуальных особенностей на полученные результаты, несмотря на сопоставимость групп по основным параметрам.

Важнейшим направлением будущих исследований является детальное изучение кинетики уровней cTн-I в слюне у пациентов с острым инфарктом миокарда и лиц, испытывающих физические нагрузки экстремального характера, с последующим сравнением наблюдаемых паттернов и определением 99-го перцентиля верхнего референтного предела.

6. Заключение

Ключевым выводом данного исследования является демонстрация того, что менее продолжительная, но более интенсивная аэробная нагрузка вызывала более

выраженное повышение уровня сТн-I в слюне у здоровых молодых спортсменов по сравнению с более длительной, но менее интенсивной аэробной нагрузкой. Данный факт убедительно указывает на доминирующую роль интенсивности аэробной нагрузки в высвобождении

сТн-I. Полученные данные подчеркивают важность контроля интенсивности физических нагрузок у спортсменов с точки зрения потенциального воздействия на миокард и открывают перспективы для регулярного неинвазивного измерения концентрации сТн-I в слюне.

Литература / References

1. Aengevaeren V.L., Baggish A.L., Chung E.H., George K., Kleiven Ø., Mingels A.M.A., Ørn S., Shave R.E., Thompson P.D., Eijsvogels T.M.H. Exercise-induced cardiac troponin elevations: from underlying mechanisms to clinical relevance. *Circulation*. 2021;144(24):1955–1972. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.121.056208>
2. Aengevaeren V.L., Froeling M., Hooijmans M.T., Monte J.R., van den Berg-Faay S., Hopman M.T.E., Strijkers G.J., Nederveen A.J., Bakermans A.J., Eijsvogels T.M.H. Myocardial Injury and Compromised Cardiomyocyte Integrity Following a Marathon Run. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2020;13(6):1445–1447. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.12.020>
3. Árnadóttir Á., Pedersen S., Bo Hasselbalch R., Goetze J.P., Friis-Hansen L.J., Bloch-Münster A.M., Skov Jensen J., Bundgaard H., Iversen K. Temporal Release of High-Sensitivity Cardiac Troponin T and I and Copeptin After Brief Induced Coronary Artery Balloon Occlusion in Humans. *Circulation*. 2021;143(11):1095–1104. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.120.046574>
4. Boström P., Mann N., Wu J., Quintero P.A., Plovie E.R., Panáková D., Gupta R.K., Xiao C., MacRae C.A., Rosenzweig A., Spiegelman B.M. C/EBPβ controls exercise-induced cardiac growth and protects against pathological cardiac remodeling. *Cell*. 2010;143(7):1072–1083. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2010.11.036>
5. Boutet M., Hüttner I., Rona G. Permeability alteration of sarcolemmal membrane in catecholamine-induced cardiac muscle cell injury. In vivo studies with fine structural diffusion tracer horse radish peroxidase. *Lab. Invest*. 1976;34(5):482–488.
6. Chaulin A.M. Cardiac Troponins Metabolism: From Biochemical Mechanisms to Clinical Practice (Literature Review). *Int. J. Mol. Sci*. 2021;22(20):10928. <https://doi.org/10.3390/ijms222010928>
7. Chaulin A.M. Metabolic Pathway of Cardiospecific Troponins: From Fundamental Aspects to Diagnostic Role (Comprehensive Review). *Front. Mol. Biosci*. 2022;9:841277. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2022.841277>
8. Cheng W., Li B., Kajstura J., Li P., Wolin M.S., Sonnenblick E.H., Hintze T.H., Olivetti G., Anversa P. Stretch-induced programmed myocyte cell death. *J. Clin. Invest*. 1995;96(5):2247–2259. <https://doi.org/10.1172/JCI118280>
9. Clarke M.S., Caldwell R.W., Chiao H., Miyake K., McNeil P.L. Contraction-induced cell wounding and release of fibroblast growth factor in heart. *Circ. Res*. 1995;76(6):927–934. <https://doi.org/10.1161/01.res.76.6.927>
10. Feng J., Schaus B.J., Fallavollita J.A., Lee T.C., Canty J.M. Jr. Preload induces troponin I degradation independently of myocardial ischemia. *Circulation*. 2001;103(16):2035–2037. <https://doi.org/10.1161/01.cir.103.16.2035>
11. Gohel V., Jones J.A., Wehler C.J. Salivary biomarkers and cardiovascular disease: a systematic review. *Clin. Chem. Lab. Med*. 2018;56(9):1432–1442. <https://doi.org/10.1515/cclm-2017-1018>
12. Hammarsten O., Mair J., Möckel M., Lindahl B., Jaffe A.S. Possible mechanisms behind cardiac troponin elevations. *Biomarkers*. 2018;23(8):725–734. <https://doi.org/10.1080/1354750X.2018.1490969>
13. Hickman P.E., Potter J.M., Aroney C., Koerbin G., Southcott E., Wu A.H., Roberts M.S. Cardiac troponin may be released by ischemia alone, without necrosis. *Clin. Chim. Acta*. 2010;411(5-6):318–323. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2009.12.009>
14. Huang X., Bai S., Luo Y. Advances in research on biomarkers associated with acute myocardial infarction: A review. *Medicine (Baltimore)*. 2024;103(15):e37793. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000037793>
15. Keller T., Zeller T., Peetz D., Tzikas S., Roth A., Czyz E., et al. Sensitive troponin I assay in early diagnosis of acute myocardial infarction. *N. Engl. J. Med*. 2009;361(9):868–877. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0903515>
16. Legaz-Arrese A., Sitko S., Cirer-Sastre R., Mayolas-Pi C., Jiménez-Gaytán R.R., Orocio R.N., García R.L., Corral P.G.M., Reverter-Masia J., George K., Carranza-García L.E. The kinetics of cardiac troponin T release during and after 1- and 6-h maximal cycling trials. *J. Sci. Med. Sport*. 2025;28(1):3–8. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2024.08.207>
17. Mair J., Lindahl B., Hammarsten O., Müller C., Giannitsis E., Huber K., Möckel M., Plebani M., Thygesen K., Jaffe A.S. How is cardiac troponin released from injured myocardium? *Eur. Heart J. Acute Cardiovasc. Care*. 2018;7(6):553–560. <https://doi.org/10.1177/2048872617748553>
18. Marjot J., Kaier T.E., Martin E.D., Reji S.S., Copeland O., Iqbal M., Goodson B., Hamren S., Harding S.E., Marber M.S. Quantifying the Release of Biomarkers of Myocardial Necrosis from Cardiac Myocytes and Intact Myocardium. *Clin. Chem*. 2017;63(5):990–996. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2016.264648>
19. Mousavi N., Czarnecki A., Kumar K., Fallah-Rad N., Lytwyn M., Han S.Y., et al. Relation of biomarkers and cardiac magnetic resonance imaging after marathon running. *Am. J. Cardiol*. 2009;103(10):1467–1472. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2009.01.294>
20. O'Hanlon R., Wilson M., Wage R., Smith G., Alpendurada F.D., Wong J., et al. Troponin release following endurance exercise: is inflammation the cause? a cardiovascular magnetic resonance study. *J. Cardiovasc. Magn. Reson*. 2010;12(1):38. <https://doi.org/10.1186/1532-429X-12-38>
21. Ovchinnikov A.N. Utilizing saliva for non-invasive detection of exercise-induced myocardial injury with point-of-care cardiac troponin-I. *Sci. Rep*. 2025;15(1):27283. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-12380-1>
22. Page E., Upshaw-Earley J., Goings G. Permeability of rat atrial endocardium, epicardium, and myocardium to large molecules. Stretch-dependent effects. *Circ. Res*. 1992;71(1):159–173. <https://doi.org/10.1161/01.res.71.1.159>
23. Pelliccia A., Solberg E.E., Papadakis M., Adami P.E., Biffi A., Caselli S., et al. Recommendations for participation in competitive and leisure time sport in athletes with cardiomyopathies, myocarditis, and pericarditis: position statement of the Sport Cardiology Section of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). *Eur. Heart J*. 2019;40(1):19–33. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy730>
24. Saviñon-Flores A.I., Saviñon-Flores F., Trejo G., Méndez E., T̃alu Ş., González-Fuentes M.A., Méndez-Albores A. A re-

view of cardiac troponin I detection by surface enhanced Raman spectroscopy: Under the spotlight of point-of-care testing. *Front. Chem.* 2022;10:1017305. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.1017305>

25. **Shave R., Baggish A., George K., Wood M., Scharhag J., Whyte G., Gaze D., Thompson P.D.** Exercise-induced cardiac troponin elevation: evidence, mechanisms, and implications. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2010;56(3):169–176. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.03.037>

26. **Vujic A., Lerchenmüller C., Wu T.D., Guillermier C., Rabolli C.P., Gonzalez E., et al.** Exercise induces new cardiomyocyte generation in the adult mammalian heart. *Nat. Commun.* 2018;9(1):1659. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04083-1>

27. **Weil B.R., Suzuki G., Young R.F., Iyer V., Canty J.M. Jr.** Troponin Release and Reversible Left Ventricular Dysfunc-

tion After Transient Pressure Overload. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018;71(25):2906–2916. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.04.029>

28. **Weil B.R., Young R.F., Shen X., Suzuki G., Qu J., Malhotra S., Canty J.M. Jr.** Brief Myocardial Ischemia Produces Cardiac Troponin I Release and Focal Myocyte Apoptosis in the Absence of Pathological Infarction in Swine. *JACC Basic Transl. Sci.* 2017;2(2):105–114. <https://doi.org/10.1016/j.jacbts.2017.01.006>

29. **Wołyniec W., Ratkowski W., Renke J., Renke M.** Changes in Novel AKI Biomarkers after Exercise. A Systematic Review. *Int. J. Mol. Sci.* 2020;21(16):5673. <https://doi.org/10.3390/ijms21165673>

30. World Medical Association declaration of Helsinki. Recommendations guiding physicians in biomedical research involving human subjects. *JAMA.* 1997;277(11):925–926.

Информация об авторе:

Овчинников Александр Николаевич, доцент кафедры спортивной медицины и психологии, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», пр-т Гагарина, 23, г. Нижний Новгород, 603022, Россия (alexander_ovchinnikov91@mail.ru)

Information about the author:

Aleksandr N. Ovchinnikov, Associate Professor, Department of Sports Medicine and Psychology, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, 23 Gagarin Avenue, Nizhny Novgorod, 603022, Russia (alexander_ovchinnikov91@mail.ru)

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.4>

УДК: 796.015.6; 615.03; 577.2+661.961

Тип статьи: Оригинальная статья / Original research



Влияние водородных ингаляций на функциональные характеристики и газовые биомаркеры кишечника у спортсменов-борцов при физической нагрузке

О.С. Медведев^{1,2}, А.А. Южаков³, О.Л. Коннова⁴, О.В. Поварова^{1,*}

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия

² Научно-исследовательский институт экспериментальной кардиологии имени академика В.Н. Смирнова ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

³ Региональная физкультурно-спортивная общественная организация «Федерация смешанного боевого единоборства (ММА) Пермского края», Пермь, Россия

⁴ ГБУЗ Пермского края «Врачебно-физкультурный диспансер», Пермь, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучение влияния периодических ингаляций молекулярного водорода в течение одного месяца на основные характеристики работоспособности, уровень лактата и другие биохимические показатели, определяемые в крови молодых спортсменов-борцов после физической нагрузки.

Материалы и методы. В проспективном клиническом исследовании приняли участие 10 здоровых добровольцев-спортсменов, которым проводился анализ уровня водорода и метана в выдыхаемом воздухе, общеклинический и биохимический анализы крови, оценивались физиологические параметры состояния сердечно-сосудистой системы и основные характеристики работоспособности после физической нагрузки до и после ингаляций молекулярного водорода.

Результаты. Ингаляции с молекулярным водородом привели к снижению уровня метана в выдыхаемом воздухе (преимущественно у метанопродукторов), уменьшению щелочной фосфатазы, увеличению тромбинового времени, активированного частичного тромбопластинового времени, а также снижению уровня лактата до физических нагрузок с увеличением после физических нагрузок. В общеклиническом анализе крови статистически значимых изменений выявлено не было. При проведении тредмил-теста ингаляции молекулярного водорода приводили к снижению диастолического артериального давления на уровне аэробного порога и анаэробного порога с увеличением дыхательного коэффициента. В тесте на гребном тренажере после ингаляций молекулярного водорода было выявлено увеличение дистанции, пройденной за две минуты, а также более быстрое восстановление систолического артериального давления на пятой минуте после окончания нагрузки.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют о положительном влиянии ингаляций молекулярного водорода на состояние свертывающей системы крови и состояние сердечно-сосудистой системы, что вносит вклад в улучшение показателей работоспособности и выносливости при физической нагрузке у спортсменов.

Ключевые слова: ингаляции с молекулярным водородом, концентрация водорода и метана в выдыхаемом воздухе, лактат, свертывающая система крови, тредмил-тест, гребной тренажер

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: авторы выражают глубокую признательность всем добровольцам — спортсменам Пермского клуба ММА Центр, принявшим участие в данном исследовании. Авторы признательны всем медицинским сотрудникам ГБУЗ ПК «Врачебно-физкультурный диспансер», принявшим активное участие в проведении данного исследования: Сиротину А. Б., Клестову В. В., Гининой Е. В., Журавлевой В. В., Захарову С. Г., Новикову Д. В., Симоненкову С. И., Шиловой С. Н., Капитоновой Л. С.

Для цитирования: Медведев О.С., Южаков А.А., Коннова О.Л., Поварова О.В. Влияние водородных ингаляций на функциональные характеристики и газовые биомаркеры кишечника у спортсменов-борцов при физической нагрузке. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2025;15(2):20–30. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.4>

Поступила в редакцию: 04.07.2025

Принята к публикации: 01.09.2025

Online first: 06.11.2025

Опубликована: 14.11.2025

* Автор, ответственный за переписку

Effect of hydrogen inhalation on functional characteristics and intestinal gas biomarkers in wrestlers during physical exercise

Oleg S. Medvedev^{1,2}, Aleksey A. Uzhakov³, Olga L. Konnova⁴, Oxana V. Povarova^{1,*}

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Scientific Research Institute of Experimental Cardiology named after Academician V.N. Smirnov, "National Medical Research Centre of Cardiology named after Academician E.I. Chazov", Moscow, Russia

³Perm City Federation of Martial Arts, Perm, Russia

⁴Sports Medicine Dispensary, Perm, Russia

ABSTRACT

Purpose of the study: to investigate the effect of periodic hydrogen inhalations for one month on the main performance characteristics, lactate levels and other biochemical parameters determined in the blood of young wrestlers after physical activity.

Materials and methods. 10 healthy volunteer athletes took part in a prospective clinical study. The analysis of hydrogen and methane levels in exhaled air, complete blood count and biochemical blood parameters, physiological parameters of the cardiovascular system, the main performance characteristics after physical activity before and after hydrogen inhalations were carried out.

Results. Hydrogen inhalations led to a decrease in the methane level in the exhaled air mainly of methane producers. A decrease in alkaline phosphatase, an increase in thrombin time, activated partial thromboplastin time, a decrease in lactate levels before exercise with an increase after exercise were noted. No changes were found in the complete blood count. A decrease in diastolic blood pressure at the aerobic threshold and anaerobic threshold with an increase in the respiratory coefficient was noted in the treadmill test. An increase in the distance covered in 2 minutes, as well as a faster recovery of systolic blood pressure at the 5th minute were found in the rowing machine test.

Conclusion. The obtained data indicate a positive effect of hydrogen inhalation on the blood coagulation and cardiovascular system, alkaline phosphatase, which makes an important contribution to improving performance and endurance during physical exercise in athletes.

Keywords: molecular hydrogen inhalation, hydrogen and methane concentration in exhaled air, lactate, blood coagulation system, treadmill test, rowing machine test

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

Acknowledgments: the authors express their deep gratitude to all volunteer athletes of the Perm MMA Center club who took part in this study. The authors are grateful to all medical staff of the State Budgetary Healthcare Institution of the Perm Region "Sports medicine dispensary" who took an active part in conducting this study: Sirotin A.B., Klestov V.V., Ginina E.V., Zhuravleva V.V., Zakharov S.G., Novikov D.V., Simonenkov S.I., Shilova S.N., Kapitonova L.S.

For citation: Medvedev O.S., Uzhakov A.A., Konnova O.L., Povarova O.V. Effect of hydrogen inhalation on functional characteristics and intestinal gas biomarkers in wrestlers during physical exercise. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2025;15(2):20–30. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.4>

Received: 07 July 2025

Accepted: 01 September 2025

Online first: 06 November 2025

Published: 14 November 2025

*Corresponding author

1. Введение

Известно, что физические нагрузки вызывают развитие окислительного стресса, при котором активные формы кислорода (АФК) появляются в сокращающихся скелетных мышцах человека и животных, и их можно зарегистрировать как в мышцах, так и в крови [1, 2]. Образование АФК в скелетных мышцах может влиять на здоровье и функцию скелетных мышц как положительно, так и отрицательно, что зависит от баланса между интенсивностью их образования и функциональными характеристиками антиоксидантных систем клеток организма, защищающих последние от избытка активных радикалов. В последние годы было показано, что регулярные физические нагрузки не только не вызывают

развитие хронического окислительного стресса в скелетных мышцах, но малые средние уровни АФК способствуют развитию адаптации скелетных мышц к физической нагрузке. Основные механизмы положительного воздействия умеренных концентраций АФК, прежде всего перекиси водорода (H_2O_2), на функцию и адаптацию скелетных мышц к выполнению физических нагрузок подробно описаны в обзоре Powers и соавт., опубликованном в 2024 году [2]. Напротив, высокие уровни АФК, возникающие при интенсивных или длительных субмаксимальных нагрузках, вызывают повреждение скелетных мышц и являются одним из факторов развития мышечного утомления. Состояние организма, при котором высокие концентрации АФК при высокоинтенсивных

нагрузках вызывают повреждение тканей, обозначается термином «гормезис» (hormesis) [3]. Установление важной роли АФК как в механизмах адаптации к выполнению нагрузки (при умеренных концентрациях), так и в повреждении скелетных мышц (при высоких концентрациях) логично вызвало интерес к изучению эффектов антиоксидантов. Идеальными представляются антиоксиданты, которые не влияли бы на механизмы развития адаптации, но подавляли эффекты наиболее агрессивных АФК типа -ОН или пероксинитрита.

Именно к таким антиоксидантам относится молекулярный водород, антиоксидантные свойства которого были установлены в 2007 году [4]. Он способен оказывать антиоксидантное действие путем нейтрализации -ОН или пероксинитрита, не оказывая прямого действия на уровень перекиси водорода [5, 6] и, таким образом, не подавляя положительные эффекты низких концентраций АФК при умеренном повышении их уровней в скелетных мышцах.

В спортивной медицине выполнено достаточно большое количество исследований по изучению эффектов молекулярного водорода, при которых преимущественно используются два вида введения — в виде насыщенной водородом воды и в виде ингаляций, содержащих разные концентрации водорода (от 2 до 66 %) во вдыхаемом воздухе. С учетом особенностей фармакокинетики водорода ингаляционный путь введения представляется более перспективным, так как при нем концентрация водорода в скелетных мышцах может поддерживаться на более высоком уровне в течение всего периода ингаляции. Тогда как при приеме воды, насыщенной водородом, последний полностью элиминируется из организма в течение 40–45 минут с выдыхаемым воздухом [7].

Обзор результатов употребления воды, насыщенной водородом, в суточной дозе от 500 до 2520 мл в небольших группах спортсменов (от 8 до 37 человек) показал возможность ускорения бега у спринтеров, возрастание пиковой и средней нагрузки, тогда как уровень лактата после физической нагрузки снижался в одних работах и не изменялся в других. В большинстве исследований отмечалось снижение болезненных ощущений в скелетных мышцах после тренировок и снижение индекса утомляемости [8]. Длительное применение «водородной воды» (в течение 28 дней) у элитных спортсменок, получаемой при растворении магнийсодержащих таблеток, сопровождалось увеличением мышечной массы, максимальной силы сокращений мышц и ускорением восстановления после физической нагрузки [9]. Механизмы, ответственные за положительные эффекты молекулярного водорода, включают стимуляцию митогенеза с большей продукцией АТФ, белков теплового шока, подавление образования провоспалительных цитокинов [10].

В исследовании Dong и соавт. ингаляции водорода в концентрации около 4 % применялись перед тестированием максимально переносимой нагрузки на велоэргометре у 24 молодых спортсменов. Их применение

сопровождалось снижением утомления, вызванного ступенчато возрастающей нагрузкой, сохранением функциональных возможностей и снижением уровней гидроксильных радикалов и уровня молочной кислоты после нагрузки [11].

Противоречивость опубликованных в литературе данных о влиянии молекулярного водорода на максимальную мощность выполняемой работы, на уровень лактата при выполнении физической нагрузки явилось причиной выполнения настоящей работы. Основной целью проведенного исследования было изучение влияния периодических ингаляций молекулярного водорода в течение одного месяца на основные характеристики работоспособности, уровень лактата в крови, а также на ряд биохимических параметров, определяемых в крови после физической нагрузки в группе молодых спортсменов-борцов.

2. Материалы и методы

Проспективное клиническое исследование проводилось на базе ГБУЗ Пермского края «Врачебно-физкультурный диспансер» в период с сентября по декабрь 2024 г. Исследование было одобрено Локальным этическим комитетом (протокол № 131 от 30 августа 2024 г.). В исследовании приняли участие здоровые спортсмены смешанных спортивных единоборств мужского пола ($n = 10$). Среди участников были выступающие, действующие спортсмены и любители. Средний возраст участников составил 20 лет (19; 26). Дизайн исследования представлен на рисунке 1.

Ингаляции с молекулярным водородом проводились с помощью генератора водорода MN-H0900 (компания Xiamen Moneng Technology Co., Ltd, Китай) их длительность варьировалась от 30 до 120 минут. Для ингаляций использовались индивидуальные канюли, через которые участники получали 600 мл водорода и 300 мл кислорода (смесь 66 % водорода и 34 % кислорода).

До и после проведения сеансов ингаляций молекулярного водорода у участников исследования проводился гематологический скрининг, в который входили общий анализ крови с развернутой лейкоцитарной формулой и биохимический анализ крови.

Общий анализ крови проводился на автоматическом гематологическом анализаторе Mindray BC-5380 (компания Shenzhen Mindray Bio-Medical Electronics Co., Ltd, Китай). Анализ крови на глюкозу, лактат, гемоглобин проводился на анализаторе SUPER GL compact (компания Dr. Muller Geratbau GmbH, Германия). Анализ биохимических показателей крови (общий белок, альбумин, креатинин, общий билирубин, связанный билирубин, аланинаминотрансфераза (АЛТ), аспартатаминотрансфераза (АСТ), щелочная фосфатаза (ЩФ), общий холестерин, триглицериды, гликированный гемоглобин, калий, натрий, С-реактивный белок (СРБ), а также показатели коагулограммы (активированное частичное

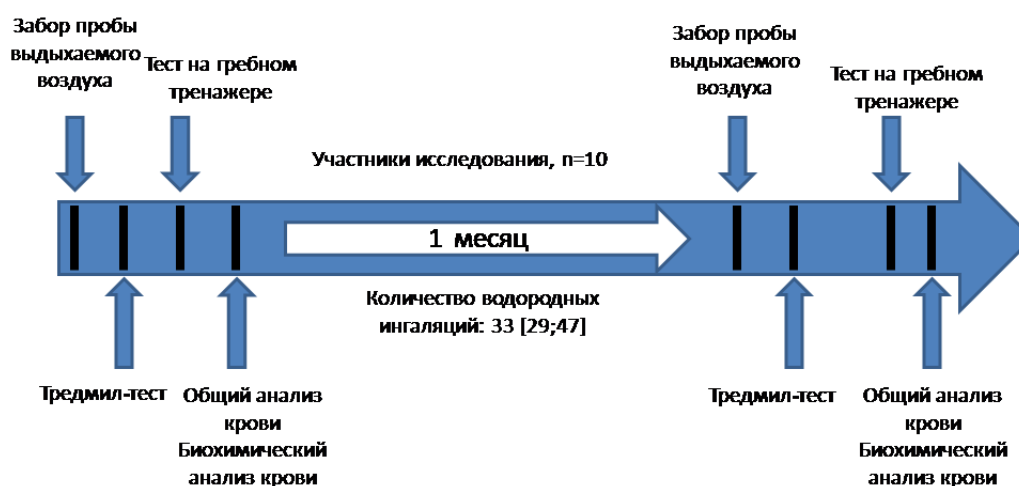


Рис. 1. Дизайн исследования
Fig. 1. Study design

тромбопластиновое время (АЧТВ), тромбиновое время (ТВ), протромбиновый индекс (ПТИ), протромбиновое время (ПТВ), международное нормализованное отношение (МНО), фибриноген) проводился на оборудовании клинической лаборатории согласно общепринятой методике.

В протокол исследования входили два теста с физической нагрузкой: тредмил-тест с газоанализатором и тест на гребном тренажере.

Тесты с нагрузкой проводились до начала сеансов с ингаляцией с молекулярным водородом и после их окончания.

Тредмил-тест с газоанализатором проводился в соответствии с общепринятым протоколом для нагрузочного тестирования спортсменов на беговой дорожке (компания Treadmill QS600, Китай) с газоанализатором под контролем электрокардиограммы с использованием программного обеспечения CardioSoft и MetaSoft. Использовался протокол многоступенчатой нагрузки, включающий 11 ступеней (длительность каждой ступени — 2 минуты), с максимальным углом подъема 12%. В ходе тредмил-теста оценивались частота сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД), частота дыхания, объем вентиляции, время наступления аэробного и анаэробного порогов, максимальное потребление кислорода и дыхательный коэффициент.

Тест на гребном тренажере для академической гребли проводился согласно общепринятой методике. Тренажер использовался для фиксации ускорения восстановления спортсменов при физической нагрузке. Регистрация показателей сердечно-сосудистой системы (ЧСС и АД) проводилась с использованием кардиомонитора. Спортсмены выполняли упражнение на тренажере в течение 2 минут на нагрузке «16», после окончания упражнения каждую минуту производилась оценка ЧСС и АД в течение 5 минут. При проведении теста на гребном тренажере оценивались индивидуальная норма ЧСС — максимум для каждого участника (220 минус возраст),

дистанция, пройденная за две минуты (в метрах), ЧСС перед началом теста, АД систолическое и диастолическое перед началом теста, максимальная ЧСС, динамика восстановления ЧСС и АД в течение 5 минут после окончания теста.

В ходе исследования дважды (в начале и в конце исследования) оценивалось содержание водорода и метана в выдыхаемом воздухе участников исследования. Методика сбора проводилась согласно общепринятым правилам сбора. Пробы с выдыхаемым воздухом собирались в алюминиевые пакеты (компания Guangzhou Itingbaby Tech Co., Китай), из которых воздух анализировали на содержание водорода (H_2), метана (CH_4) и кислорода (O_2) на газоанализаторе Gastroch4eck (компания Bedfont, Великобритания) не позже чем через семь дней после забора образцов выдыхаемого воздуха. Концентрации H_2 и CH_4 были скорректированы с учетом истинного содержания кислорода для стандартизации по уровням альвеолярного газа и представлены в ppm (parts per million, частей на миллион).

Статистические методы

Нормальность распределения проверялась с помощью критерия Шапиро — Уилка. Для сравнения данных для зависимых выборок с ненормальным распределением использовался дисперсионный анализ с критерием Фридмана. Корреляции рассчитывались с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Все данные представлены как медиана [квартиль 1; квартиль 3] (Me [Q1; Q3]). Статистический анализ результатов проведен с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics, версия 26.

3. Результаты исследования

В исследовании приняли участие 10 спортсменов мужского пола смешанных спортивных единоборств (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика участников исследования

Table 1

Characteristics of the study participants

Количество участников	10
Возраст (лет)	20 (19; 26)
Пол (муж/жен)	10/0
Вес (кг)	72 (67; 73)
ИМТ (кг/м ²)	21 (20; 22)
Водородные сеансы, n	33 (29; 47)

Примечание: данные представлены в виде медианы с указанием межквартильного размаха 25-й и 75-й процентиля (Me (Q1; Q3)).

Note: The data are presented as medians with an interquartile range (Me [Q1; Q3]).

Таблица 2

Анализ газового состава (H₂ и CH₄) выдыхаемого воздуха у участников исследования до проведения сеансов с водородом и после

Table 2

Analysis of the gas composition (H₂ and CH₄) of exhaled air in study participants before and after hydrogen inhalation

Показатели	Исходный уровень		После ингаляций с водородом	
	H ₂ -продуценты (n = 7)	CH ₄ -продуценты (n = 3)	H ₂ -продуценты (n = 7)	CH ₄ -продуценты (n = 3)
	Me (Q1; Q3)	Me (Q1; Q3)	Me (Q1; Q3)	Me (Q1; Q3)
H ₂ , ppm	22 (14;35)	16 (9; 18)	10 (9; 26)	8 (5; 23)
CH ₄ , ppm	0	36 (21; 44)	0	4 (3; 7)*

Примечание: результаты представлены в виде медианы с указанием межквартильного размаха 25-й и 75-й процентиля (Me (Q1; Q3)); * $p = 0,014$ относительно исходного уровня.

Note: The data are presented as medians with an interquartile range (Me [Q1; Q3]); * $p = 0.014$ relative to baseline.

Продукция кишечных газов оценивалась до начала исследования и в конце исследования (табл. 2).

Из 10 участников исследования семь являлись водородопродуцентами, а трое — метанопродуцентами. У всех участников после ингаляций с водородом отмечалось снижение содержания метана в выдыхаемом воздухе, которое было статистически значимым в группе метанопродуцентов ($p = 0,014$).

Показатели общеклинического анализа крови после ингаляций водорода достоверно не изменялись. На фоне ингаляций водорода отмечались статистически значимые изменения показателей биохимического анализа крови (табл. 3).

Ингаляции водорода достоверно снижали уровень щелочной фосфатазы ($p = 0,005$) и уровня лактата до физической нагрузки ($p = 0,032$). После ингаляций водорода отмечалось двукратное повышение лактата на фоне физической нагрузки ($p = 0,005$) и отмечалось статистически незначимое снижение уровней АЛТ и АСТ, общего холестерина. Ингаляции водорода сопровождалось изменением показателей свертывающей системы крови в сторону гипокоагуляции: уменьшение протромбинового индекса (ПТИ) ($p = 0,041$), увеличение

тромбинового времени (ТВ) ($p = 0,05$), активированного парциального (частичного) тромбопластинового времени (АЧТВ) ($p = 0,007$). Отмечалось снижение уровня фибриногена без статистически значимой разницы между измерениями до сеансов водорода и после.

В ходе исследования проведены два теста с физической нагрузкой в виде тредмил-теста и теста на гребном тренажере. Каждый из тестов проводился дважды: до ингаляций водородом и после (табл. 4 и 5).

Во время тестов с физической нагрузкой (тредмил-тест и тест на гребном тренажере) до и после ингаляций спортсмены чувствовали себя хорошо, жалоб не предъявляли. В процессе проведения тредмил-теста патологических изменений на электрокардиограмме выявлено не было. При повторном тестировании наблюдалось замедление прироста частоты сердечных сокращений (4 участника), замедление прироста артериального давления (3 участника), повышение максимального потребления кислорода (1 участник) и улучшение восстановительного периода (4 участника).

При сравнении показателей тредмил-теста у участников до и после ингаляций молекулярного водорода было выявлено статистически значимое снижение

Таблица 3

Показатели биохимического анализа крови участников исследования до проведения водородных ингаляций и после

Table 3

Biochemical blood test results of study participants before and after hydrogen inhalation

Показатели	До сеансов	После сеансов	p
	Me (Q1; Q3)	Me (Q1; Q3)	
ЩФ, Ед/л	97 (90; 144)	89 (75; 118)	0,005
ПТИ, %	93,0 (86,5; 97,5)	84,5 (79,0; 88,8)	0,041
АЧТВ, сек	25,5 (25; 27)	28,5 (27,2; 30)	0,007
ТВ, сек	13 (13; 13)	14 (14; 15)	0,05
Лактат до нагрузки, ммоль/л	2,05 (1,8; 2,5)	1,55 (1,4; 1,6)	0,032
Лактат после нагрузки, ммоль/л	6,9 (6,3; 7,2)	13 (9,3; 17,4)	0,005

Примечание: результаты представлены в виде медианы с указанием межквартильного размаха 25-й и 75-й процентиля (Me (Q1; Q3)); ЩФ — щелочная фосфатаза; ПТИ — протромбиновый индекс; АЧТВ — активированное частичное тромбопластиновое время; ТВ — тромбиновое время.

Note: the data are presented as medians with an interquartile range (Me [Q1; Q3]); ALP — alkaline phosphatase; PTI — prothrombin index; APTT — activated partial thromboplastin time; TT — thrombin time.

Таблица 4

Показатели тредмил-теста участников исследования до проведения водородных ингаляций и после

Table 4

Treadmill test results of study participants before and after hydrogen inhalation

Показатели	До сеансов	После сеансов	p
	Me (Q1; Q3)	Me (Q1; Q3)	
ЧСС исходно, уд/мин	80 (74; 90)	82 (76; 90)	0,05
АДс исходно, мм рт. ст.	120 (116; 120)	120 (114; 121)	0,05
АДд исходно, мм рт. ст.	80 (72; 80)	78 (74; 80)	0,05
Время переносимости до ПАНО, мин	13 (13; 13)	13 (12; 15)	0,05
АП, время, мин	7 (6; 8)	7 (7; 7)	0,05
АП, ЧСС, уд/мин	130 (121; 134)	126 (125; 150)	0,05
АП, АД с, мм рт. ст.	135 (130; 147)	140 (135; 146)	0,05
АП, АД д, мм рт. ст.	75 (60; 80)	60 (58; 70)	0,024
АП VO ₂ , л/мин	2,03 (2,01; 2,2)	2,1 (1,99; 2,26)	0,05
АП, ДК	0,85 (0,85; 0,85)	0,85 (0,85; 0,85)	0,05
ПАНО, время мин	13 (13; 14)	13 (12; 14)	0,05
ПАНО, ЧСС, уд/мин	175 (167; 183)	179 (171; 186)	0,05
ПАНО, АДс, мм рт. ст.	160 (150; 167)	160 (160; 168)	0,05
ПАНО, АДд, мм рт. ст.	60 (60; 75)	50 (50; 50)	0,039
ПАНО, VO ₂ , л/мин	3 (3; 4)	3 (3; 4)	0,05
ПАНО, ДК	1,00 (0,98; 1,03)	1,05 (1,01; 1,07)	0,043
МПК, мл/мин/кг	48 (44; 50)	47 (43; 51)	0,05
Восстановительный период			
ЧСС 5 мин, уд/мин	92 (87; 96)	93 (91; 106)	0,05
АДс 5 мин, мм рт. ст.	120 (120; 135)	120 (118; 120)	0,05
АДд 5 мин, мм рт. ст.	80 (80; 80)	80 (70; 80)	0,05

Примечание: результаты представлены в виде медианы с указанием межквартильного размаха 25-й и 75-й процентиля (Me (Q1; Q3)); ЧСС — частота сердечных сокращений; АДс — систолическое артериальное давление; АДд — диастолическое артериальное давление; АП — аэробный порог; ПАНО — анаэробный порог; МПК — максимальное потребление кислорода; ДК — дыхательный коэффициент, рассчитанный как отношение образовавшегося углекислого газа к потребленному кислороду.

Note: the data are presented as medians with an interquartile range (Me [Q1; Q3]); HR — heart rate; SBP — systolic blood pressure; DBP — diastolic blood pressure; AerT — aerobic threshold; AnT — anaerobic threshold; VO₂ max — peak oxygen consumption per kilogram of body weight per minute, ml/min/kg; RQ — respiratory quotient, calculated as the ratio of the formed carbon dioxide to the consumed oxygen.

Таблица 5

Показатели теста на гребном тренажере у участников исследования до проведения водородных ингаляций и после

Table 5

Rowing machine test results of study participants before and after hydrogen inhalation

Показатели	До сеансов	После сеансов	p
	Me (Q1; Q3)	Me (Q1; Q3)	
Дистанция, пройденная за 2 мин, м	379 (318; 413)	439 (426; 465)	0,015
ЧСС исходно	72 (72; 84)	84 (72; 84)	> 0,05
ЧСС тах на 1 мин, уд/мин	177 (163; 178)	177 (170; 177)	> 0,05
ЧСС на 5 мин, уд/мин	97 (82; 107)	107 (95; 114)	> 0,05
АДс исходно, мм рт. ст.	133 (113; 135)	123 (116; 129)	> 0,05
АДс тах-1 мин, мм рт. ст.	160 (153; 160)	163 (150; 169)	> 0,05
АДс на 5 мин, мм рт. ст.	140 (136; 140)	130 (130; 139)	0,016
АДд исходно, мм рт. ст.	80 (80; 80)	80 (70; 80)	> 0,05
АДд тах на 1 мин, мм рт. ст.	65 (53; 70)	70 (60; 79)	> 0,05
АДд на 5 мин, мм рт. ст.	75 (70; 80)	80 (71; 80)	> 0,05

Примечание: результаты представлены в виде медианы с указанием межквартильного размаха 25-й и 75-й процентиля (Me (Q1; Q3)); ЧСС — частота сердечных сокращений; АДс — систолическое артериальное давление; АДд — диастолическое артериальное давление. Note: the data are presented as medians with an interquartile range (Me [Q1; Q3]); HR — heart rate; SBP — systolic blood pressure; DBP — diastolic blood pressure.

диастолического артериального давления как на фоне аэробной нагрузки ($p = 0,039$), так и на фоне постанэробной нагрузки ($p = 0,043$), а также показаний дыхательного коэффициента ($p = 0,043$).

При сравнении показателей теста на гребном тренажере у участников до и после ингаляций молекулярного водорода были выявлены статистически значимое увеличение дистанции, которое участники преодолевают за две минуты ($p = 0,015$). Отмечалось снижение систолического артериального давления, регистрируемого у участников на пятой минуте исследования ($p = 0,016$).

Также были выявлены статистически значимые корреляционные взаимосвязи между целым рядом показателей общеклинического анализа крови, биохимического анализа крови, а также физиологических параметров, оцениваемых в тредмил-тесте и тесте на гребном тренажере у участников до и после ингаляций (табл. 6, 7).

4. Обсуждение

У всех участников после ингаляций с молекулярным водородом отмечалось снижение содержания метана в выдыхаемом воздухе, статистически значимое в группе метанопродукторов ($p = 0,014$). H_2 и CH_4 являются продуктами метаболизма микробиоты кишечника [12]. H_2 является продуктом ферментации углеводов, преимущественно содержащихся в пищевых волокнах, участвует в антиоксидантной защите организма. Метан образуется из водорода и других углеродсодержащих продуктов метаболизма в кишечнике, уменьшая антиоксидантное действие водорода. Полученные в нашем

исследовании результаты о снижении уровня метана у спортсменов-метанопродукторов свидетельствуют о положительном влиянии ингаляций водорода на организм спортсменов.

В проведенном исследовании не было выявлено статистически значимых изменений показателей общего анализа крови после ингаляций водорода, что согласуется с опубликованными ранее в литературе экспериментальными и клиническими исследованиями с различными путями введения водорода на фоне физических нагрузок [13]. При анализе влияния ингаляций водорода на биохимические показатели было выявлено достоверное снижение уровня щелочной фосфатазы (ЩФ), которая отвечает за выработку фосфата, необходимого для формирования костей [14]. У людей ЩФ кодируется четырьмя гомологичными генами, из которых три (плацентарная ЩФ, герминогенная ЩФ и кишечная ЩФ) являются тканеспецифичными с крайне ограниченной экспрессией. Четвертая изоформа, тканенеспецифичная ЩФ присутствует во многих тканях, но особенно много в костной ткани, почках и центральной нервной системе [15]. В последние годы появились данные об участии четвертой формы ЩФ в кальцификации сосудов [16]. В опубликованных на данный момент исследованиях с физической нагрузкой мы не нашли информации о влиянии водорода на уровень щелочной фосфатазы. Снижение уровня щелочной фосфатазы можно оценить как позитивное влияние водорода на состояние гепатоцитов, костно-мышечной системы участников исследования.

Таблица 6

Корреляционные взаимосвязи между показателями общеклинического анализа крови, биохимического анализа крови и физиологическими параметрами, оцениваемыми в тредмил-тесте, тесте на гребном тренажере у участников исследования до проведения водородных ингаляций

Table 6

Correlation relationships between the parameters of a complete blood count, a biochemical blood test and physiological parameters assessed in a treadmill test, a rowing machine test in study participants before hydrogen inhalation

Показатель	Показатель	r^2 , с указанием «-» или «+»	p
H ₂	Билирубин общий	-0,804	0,005
H ₂	ТВ	0,742	0,014
H ₂	АП АДс (тредмил-тест)	0,774	0,009
H ₂	ПАНО АДс	-0,667	0,035
H ₂	ПАНО, ДК (тредмил-тест)	-0,732	0,016

Примечание: ТВ — тромбиновое время; АП — аэробный порог; АДс — систолическое артериальное давление; ПАНО — анаэробный порог; ДК — дыхательный коэффициент, рассчитанный как отношение образовавшегося углекислого газа к потребленному кислороду за этот же промежуток времени.

Note: TT — thrombin time; AerT — aerobic threshold; SBP — systolic blood pressure; AnT — anaerobic threshold; RQ — respiratory quotient, calculated as the ratio of formed carbon dioxide to consumed oxygen over the same period of time.

Таблица 7

Корреляционные взаимосвязи между показателями общеклинического анализа крови, биохимического анализа крови и физиологическими параметрами, оцениваемыми в тредмил-тесте, тесте на гребном тренажере у участников исследования после проведения водородных сеансов

Table 7

Correlation relationships between the parameters of a complete blood count, a biochemical blood test and physiological parameters assessed in a treadmill test, a rowing machine test in study participants after hydrogen inhalation

Показатель	Показатель	r^2 , с указанием «-» или «+»	p
CH ₄	Фибриноген	0,802	0,005
CH ₄	ТВ	-0,714	0,02
CH ₄	РСТ (тромбоцит)	0,71	0,021
H ₂	Время переносимости нагрузки в тредмил-тесте до ПАНО	0,981	0,0001
H ₂	МПК	0,782	0,038
CH ₄	МПК	-0,757	0,049
H ₂	ЧСС max на 1 мин (тест на гребном тренажере)	-0,829	0,006
CH ₄	АД с на 5 мин (тест на гребном тренажере)	0,756	0,131

Примечание: ТВ — тромбиновое время; АДс — систолическое артериальное давление; ПАНО — анаэробный порог; ЧСС — частота сердечных сокращений; МПК — максимальное потребление кислорода; РСТ — тромбоцит.

Note: TV — thrombin time; BPS — systolic blood pressure; AnT — anaerobic threshold; HR — heart rate; VO₂max — maximum oxygen consumption; PCT — thrombocrit.

Влияние водорода на уровень лактата выразилось в статистически значимом снижении уровня лактата до физической нагрузки с повышением уровня лактата после физической нагрузки. В опубликованных на данный момент экспериментальных и клинических исследованиях отмечается противоречивость влияния водорода в различных лекарственных формах на уровень лактата на фоне физической нагрузки [13, 17]. Отмечается

как отсутствие значимых изменений [18–20], так и снижение уровня лактата [21, 22].

В проведенном исследовании впервые были получены данные о влиянии ингаляций молекулярного водорода на состояние свертывающей системы крови в сторону гипокоагуляции в виде статистически значимого снижения уровня ПТИ, увеличения времени АЧТВ и ТВ. Корреляционный анализ показателей

свертывающей системы крови и уровня водорода и метана в выдыхаемом воздухе подтвердил наличие статистически значимой положительной взаимосвязи между CH_4 и уровнем фибриногена ($r = 0,802, p = 0,005$), отрицательной взаимосвязи между CH_4 и ТВ после ингаляций ($r = -0,714, p = 0,02$). Полученные результаты согласуются с опубликованными результатами исследований *ex vivo*, подтверждающие антиагрегантные свойства водорода [23], способность улучшать реологические свойства крови [24]. Повышенный уровень метана показал себя положительным предиктором повышенного уровня фибриногена ($\beta = 0,547, p = 0,018$) и уменьшения ТВ ($\beta = 0,888, p = 0,010$).

В проведенном исследовании после ингаляций с водородом были выявлены корреляционные взаимосвязи между уровнем выдыхаемых газов и максимальным потреблением кислорода (МПК): положительная с водородом и отрицательная с метаном. Сходные результаты были опубликованы Nori et al., которые на фоне длительного (2 недели) приема воды, обогащенной водородом, у спортсменов отметили повышение пикового потребления кислорода VO_2 на фоне повышения аэробной нагрузки [19].

Влияние ингаляций молекулярного водорода на состояние сердечно-сосудистой системы проявилось в статистически значимом снижении уровня диастолического давления в тредмил-тесте как на этапе аэробного порога (АП), так и в постанэробном периоде (ПАНО). В тесте на гребном тренажере отмечалось статистически значимое снижение систолического артериального давления на 5-й минуте после физической нагрузки по сравнению с исходным уровнем до ингаляций. В проведенном исследовании не было выявлено достоверного влияния ингаляций водорода на ЧСС в отличие от результатов Dong G. et al., которые отметили снижение ЧСС у спортсменов-гребцов после недельного приема воды, обогащенной водородом [25].

В проведенном исследовании в тесте на гребном тренажере ингаляции с водородом сопровождались

улучшением работоспособности в виде увеличения дистанции, пройденной за две минуты исследования ($p < 0,05$). Полученные нами результаты не согласуются с данными исследования Dong G. et al., в котором у спортсменов-гребцов после недельного приема воды, обогащенной водородом, не отмечалось значительного увеличения преодоленной дистанции [25]. Полученное в нашем исследовании увеличение дистанции может быть связано с более пролонгированным (один месяц) периодом водородотерапии. После ингаляций в тредмил-тесте отмечалась прямая корреляционная взаимосвязь между уровнем водорода и временем переносимости нагрузки до уровня достижения анаэробного порога (ПАНО) ($p < 0,01$). В настоящее время опубликованы результаты клинических исследований, подтверждающие позитивное влияние водорода на основные характеристики работоспособности спортсменов [9, 26, 27].

Ограничением проведенного пилотного исследования является малая выборка испытуемых и отсутствие группы контроля, в связи с чем планируется проведение исследований с большим количеством участников для подтверждения полученных результатов.

5. Заключение

Полученные данные свидетельствуют о положительном влиянии ингаляций водорода на показатели свертывающей системы крови, уровень щелочной фосфатазы, состояние сердечно-сосудистой системы, что, по-видимому, определяет повышение работоспособности и выносливости при физической нагрузке у спортсменов. Важным является обнаруженный факт снижения уровня метана в выдыхаемом воздухе после ингаляций водорода, механизм которого остается до конца неясным и требует дальнейших исследований. Выявленные корреляционные взаимосвязи между уровнем водорода и метана в выдыхаемом воздухе участников и биохимическими показателями крови в связи с малой выборкой требуют проведения исследований с большим количеством участников.

Вклад авторов:

Медведев Олег Стефанович — написание текста статьи, редактирование, утверждение финальной версии статьи.

Южаков Алексей Анатольевич — сбор материала.

Коннова Ольга Львовна — сбор материала.

Поварова Оксана Викторовна — написание текста статьи, сбор и статистическая обработка материала, редактирование финальной версии статьи.

Author contributions:

Oleg S. Medvedev — article text writing, editing, approval of the article final version.

Aleksey A. Uzhakov — collection of material.

Olga L. Konnova — collection of material.

Oxana V. Povarova — article text writing, collection and processing of material, editing of the article final version.

Литература / References

1. Davies K.J., Quintanilha A.T., Brooks G.A., Packer L. Free radicals and tissue damage produced by exercise. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1982;107(4):1198–1205. [https://doi.org/10.1016/s0006-291x\(82\)80124-1](https://doi.org/10.1016/s0006-291x(82)80124-1)
2. Powers S.K., Deminice R., Ozdemir M., Yoshihara T., Bomkamp M.P., Hyatt H. Exercise-induced oxidative stress:

Friend or foe? *J. Sport Health Sci.* 2020;9(5):415–425. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.04.001>

3. Radak Z., Ishihara K., Tekus E., Varga C., Posa A., Balogh L., Boldogh I., Koltai E. Exercise, oxidants, and antioxidants change the shape of the bell-shaped hormesis curve. *Redox Biol.* 2017;12:285–290. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2017.02.015>
4. Ohsawa I., Ishikawa M., Takahashi K., Watanabe M., Nishimaki K., Yamagata K., Katsura K., Katayama Y., Asoh S.,

Ohta S. Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. *Nat. Med.* 2007;13(6):688–694. <https://doi.org/10.1038/nm1577>

5. **Медведев О.С.** Современные взгляды на функциональную роль водорода и его кинетику в человеческом организме. Пульмонология. 2024;34(1):7–18. [Medvedev O.S. Current views on the functional role of hydrogen and its kinetics in the human body. *Pulmonologiya*. 2024;34(1):7–18. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2024-34-1-7-18>

6. **Russell G.** Theoretical evaluation of the biological activity of hydrogen. *Med. Gas Res.* 2025;15(2):266–275. <https://doi.org/10.4103/mgr.MEDGASRES-D-24-00083>

7. **Понуровский Я.Я., Ставровский Д.Б., Широков И.В., Романихин Ф.И., Бондаренко Г.Н., Литвинов А.В., Этрекова М.О., Карабиненко А.А., Килимник В.А., Медведев О.С.** Новые возможности для анализа биологической роли водорода, метана и других биомаркеров активности микробиоты кишечника при использовании перестраиваемой диодной лазерной спектроскопии поглощения и селективных сенсоров водорода и кислорода. Оптика и спектроскопия. 2024;132(3):303–309. [Ponurovskii Ya.Ya., Stavrovsky D.B., Shirokov I.V., Romanikhin F.I., Bondarenko G.N., Litvinov A.V., Etrekova M.O., Karabinenko A.A., Kilimnik V.A., Medvedev O.S. New possibilities for analyzing the biological role of hydrogen, methane and other biomarkers of gut microbiota activity using tunable diode laser absorption spectrometry and selective hydrogen and oxygen sensors. *Optics and Spectroscopy*. 2024;132(3):303–309. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.61011/OS.2024.03.58150.35-24>

8. **Zhou Q., Li H., Zhang Y., Zhao Y., Wang C., Liu C.** Hydrogen-Rich Water to Enhance Exercise Performance: A Review of Effects and Mechanisms. *Metabolites*. 2024;14(10):537. <https://doi.org/10.3390/metabo14100537>

9. **Ogannisyan M., Slivin A., LeBaron T.W., Tarnava A., Karmazin V., Bazanovich S., Dolgachev V., Vychik A., Strizhkov A., Parastaev S.** Hydrogen-Rich Water Decreases Muscle Damage and Improves Power Endurance in Elite Athletes: A Randomized, Double-Blinded, Placebo-Controlled Trial. *J. Lifestyle Med.* 2025;15(1):8–17. <https://doi.org/10.15280/jlm.2025.15.1.8>

10. **LeBaron T.W., Laher I., Kura B., Slezak J.** Hydrogen gas: from clinical medicine to an emerging ergogenic molecule for sports athletes 1. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 2019;97(9):797–807. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2019-0067>

11. **Dong G., Wu J., Hong Y., Li Q., Liu M., Jiang G., Bao D., Manor B., Zhou J.** Inhalation of Hydrogen-rich Gas before Acute Exercise Alleviates Exercise Fatigue: A Randomized Crossover Study. *Int. J. Sports Med.* 2024;45(13):1014–1022. <https://doi.org/10.1055/a-2318-1880>

12. **Medvedev O., Povarova O., Fadeev N., Fatima G., Zolotikov U., Toshchakov S.** Correlation of High Gut Microbiota Archaea Methanogenesis with Health Characteristics of Humans and Animals. In: **Beloborodova N.V.** (ed.). *Gut Microbiota — A Key Player in Overall Human Pathologies* [Working Title]. IntechOpen; 2025. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1010612>

13. **Kawamura T., Higashida K., Muraoka I.** Application of Molecular Hydrogen as a Novel Antioxidant in Sports Science. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2020;2020:2328768. <https://doi.org/10.1155/2020/2328768>

14. **Robison R.** The possible significance of hexosephosphoric esters in ossification. *Biochem. J.* 1923;17(2):286–293. <https://doi.org/10.1042/bj0170286>

15. **Millán J.L.** Alkaline Phosphatases: Structure, substrate specificity and functional relatedness to other members of a large superfamily of enzymes. *Purinergic Signal.* 2006;2(2):335–341. <https://doi.org/10.1007/s11302-005-5435-6>

16. **Azpiazu D., Gonzalo S., Villa-Bellosta R.** Tissue Non-Specific Alkaline Phosphatase and Vascular Calcification: A Potential Therapeutic Target. *Curr. Cardiol. Rev.* 2019;15(2):91–95. <https://doi.org/10.2174/1573403X14666181031141226>

17. **Li Y., Bing R., Liu M., Shang Z., Huang Y., Zhou K., Bao D., Zhou J.** Can molecular hydrogen supplementation reduce exercise-induced oxidative stress in healthy adults? A systematic review and meta-analysis. *Front. Nutr.* 2024;11:1328705. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1328705>

18. **Da Ponte A., Giovanelli N., Nigris D., Lazzer S.** Effects of hydrogen rich water on prolonged intermittent exercise. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 2018;58(5):612–621. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.06883-9>

19. **Hori A., Sobue S., Kurokawa R., Hirano S.I., Ichihara M., Hotta N.** Two-week continuous supplementation of hydrogen-rich water increases peak oxygen uptake during an incremental cycling exercise test in healthy humans: a randomized, single-blinded, placebo-controlled study. *Med. Gas Res.* 2020;10(4):163–169. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.304223>

20. **Botek M., Khanna D., Krejci J., Valenta M., McKune A., Sladeckova B., Klimesova I.** Molecular Hydrogen Mitigates Performance Decrement during Repeated Sprints in Professional Soccer Players. *Nutrients*. 2022;14(3):508. <https://doi.org/10.3390/nu14030508>

21. **Aoki K., Nakao A., Adachi T., Matsui Y., Miyakawa S.** Pilot study: effects of drinking hydrogen-rich water on muscle fatigue caused by acute exercise in elite athletes. *Med. Gas Res.* 2012;2:12. <https://doi.org/10.1186/2045-9912-2-12>

22. **Botek M., Krejci J., McKune A. J., Sládečková B., Naumovski N.** Hydrogen rich water improved ventilatory, perceptual and lactate responses to exercise. *Int. J. Sports Med.* 2019;40(14):879–885. <https://doi.org/10.1055/a-0991-0268>

23. **Takeuchi S., Wada K., Nagatani K., Osada H., Otani N., Nawashiro H.** Hydrogen may inhibit collagen-induced platelet aggregation: an ex vivo and in vivo study. *Intern. Med.* 2012;51(11):1309–1313. <https://doi.org/10.2169/internalmedicine.51.7161>

24. **Kato S., Hokama R., Okayasu H., Saitoh Y., Iwai K., Miwa N.** Colloidal platinum in hydrogen-rich water exhibits radical-scavenging activity and improves blood fluidity. *J. Nanosci Nanotechnol.* 2012;12(5):4019–4027. <https://doi.org/10.1166/jnn.2012.6163>

25. **Dong G., Fu J., Bao D., Zhou J.** Short-Term Consumption of Hydrogen-Rich Water Enhances Power Performance and Heart Rate Recovery in Dragon Boat Athletes: Evidence from a Pilot Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022;19(9):5413. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095413>

26. **Jebabli N., Ouerghi N., Abassi W., Yagin F.H., Khelifi M., Boujabli M., Bouassida A., Ben Abderrahman A., Ardigo L.P.** Acute effect of hydrogen-rich water on physical, perceptual and cardiac responses during aerobic and anaerobic exercises: A randomized, placebo-controlled, double-blinded crossover trial. *Front. Physiol.* 2023;14:1240871. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1240871>

27. **Zhou K., Yuan C., Shang Z., Jiao W., Wang Y.** Effects of 8 days intake of hydrogen-rich water on muscular endurance performance and fatigue recovery during resistance training. *Front. Physiol.* 2024;15:1458882. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1458882>

Информация об авторах:

Медведев Олег Стефанович, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой фармакологии МНОИ, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Россия, 119991, г. Москва, Ломоносовский проспект, д. 27, корп. 1; заведующий лабораторией экспериментальной фармакологии Научно-исследовательского института экспериментальной кардиологии имени академика В.Н. Смирнова ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Россия, 121552, г. Москва, ул. Академика Чазова, 15а. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8942-4851>; SPIN-код: 7696-368. (oleg.medvedev@gmail.com)

Южаков Алексей Анатольевич, вице-президент Региональной физкультурно-спортивной общественной организации «Федерация смешанного боевого единоборства (ММА) Пермского края», Россия, 614000, г. Пермь, ул. Ленина, 92. (metallmach@gmail.com)

Коннова Ольга Львовна, главный врач, ГБУЗ Пермского края «Врачебно-физкультурный диспансер», Россия, 614068, Пермь, ул. Екатерининская, д. 224. (fizdisp@bk.ru)

Поварова Оксана Викторовна*, к.м.н., старший научный сотрудник кафедры фармакологии МНОИ, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Россия, 119991, г. Москва, Ломоносовский проспект, д. 27, корп. 1, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1820-299X>; SPIN-код: 6244-2772 (oxpovarova@gmail.com)

Information about the authors:

Oleg S. Medvedev, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor, Head of the Department of Pharmacology, Medical Scientific and Educational Institute, M.V. Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskiye Gory str., Moscow, 119991, Russia; Head of the Laboratory of Experimental Pharmacology, Scientific Research Institute of Experimental Cardiology named after Academician V.N. Smirnov, National Medical Research Centre of Cardiology named after Academician E.I. Chazov of the Ministry of Health of the Russian Federation, 15A Akademika Chazova str., Moscow, 121552, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8942-4851> (oleg.medvedev@gmail.com)

Aleksey A. Uzhakov, Vice President, Perm City Federation of Martial Arts, 92 Lenina str., Perm, 614000, Russia. (metallmach@gmail.com)

Olga L. Konnova, Sports Medicine Dispensary, 224, Ekaterininskaya str., Perm, 614068, Russia. (fizdisp@bk.ru)

Oxana V. Povarova*, M.D., Ph.D. (Medicine), Senior Researcher, Department of Pharmacology, Medical Scientific and Educational Institute, M.V. Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskiye Gory str., Moscow, 119991, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1820-299X> (oxpovarova@gmail.com)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Исследование последствий перенесенного COVID-19 на эндокринную систему спортсменов подросткового возраста

Е.А. Теняева^{1,*}, Е.А. Турова^{1,2}, В.А. Бадтиева^{1,2,3}

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

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

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

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучение влияния новой коронавирусной инфекции (COVID-19) на эндокринную систему спортсменов подросткового возраста.

Материалы и методы. Проанализированы данные 1415 спортсменов сборных Москвы подросткового возраста (от 13 до 17 лет), прошедших углубленное медицинское обследование (УМО) в период 2021–2023 гг. и по результатам обследования направленных на консультацию к эндокринологу.

Результаты. Среди всех спортсменов подросткового возраста, прошедших УМО, у 12 % выявлялись патологические изменения эндокринной системы. Различные заболевания щитовидной железы выявлены у 1113 юных спортсменов и составили 78 % всей эндокринной заболеваемости. COVID-19 перенесли 315 подростков (22,3 % обследованных). Не болели COVID-19 1100 подростков (77,7 % обследованных). Среди переболевших подростков в 98 % случаев наблюдалось легкое и бессимптомное течение заболевания. Структура заболеваемости у спортсменов-подростков, перенесших COVID-19, в целом существенно не отличалась от таковой у неболевших в отличие от взрослых спортсменов. Выявлена достоверно более высокая частота аутоиммунного тиреоидита (АИТ) после COVID-19 (16 % у переболевших и 10 % у неболевших). Также выявлена достоверно более высокая частота сахарного диабета 1-го типа у спортсменов, перенесших COVID-19 (5 спортсменов, 4 % в структуре заболеваемости) в сравнении с подростками, не перенесшими инфекцию (3 спортсмена, 1 % в структуре заболеваемости).

Заключение. Учитывая более частое выявление аутоиммунных эндокринных заболеваний у спортсменов подросткового возраста, перенесших COVID-19, необходим регулярный скрининг переболевших вирусной инфекцией спортсменов с исследованием биохимического профиля и гормонального статуса для ранней диагностики заболевания и своевременного назначения лечения.

Ключевые слова: спортсмены, подростки, COVID-19, новая коронавирусная инфекция, заболевания эндокринной системы, аутоиммунный тиреоидит, сахарный диабет

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование проведено в рамках выполнения государственного задания: рег. № 123041300010-7 «Исследование влияния перенесенных инфекций на состояние здоровья спортсменов и разработка методов коррекции выявленных нарушений (на примере COVID-19). Дополнительных источников финансирования не было.

Для цитирования: Теняева Е.А., Турова Е.А., Бадтиева В.А. Исследование последствий перенесенного COVID-19 на эндокринную систему спортсменов подросткового возраста. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2025;15(2):31–40. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.6>

Поступила в редакцию: 11.05.2025

Принята к публикации: 15.08.2025

Online first: 06.11.2025

Опубликована: 14.11.2025

* Автор, ответственный за переписку

A study of the effects of COVID-19 on the endocrine system of adolescent athletes

Elena A. Tenyaeva^{1,*}, Elena A. Turova^{1,2}, Victoria A. Badtieva^{1,2,3}

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

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

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

ABSTRACT

Objective of the study: to study the impact of a new coronavirus infection on the endocrine system of adolescent athletes.

Materials and methods. The data of 1,415 adolescent athletes of the Moscow national teams (aged 13 to 17) who underwent an in-depth medical examination from January 2021 to December 2023 at Branch No. 1 of the S.I. Spasokukotsky Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department, based on the results of the examination, were referred for consultation with an endocrinologist were analyzed.

Results. Among all adolescent athletes who underwent the medical examination, 12 % were diagnosed with endocrine diseases. Various thyroid diseases were detected in 1,113 young athletes and accounted for 78 % of all endocrine morbidity. COVID-19 was contracted by 315 adolescents, which accounted for 22.3 % of the group examined by the endocrinologist. 1,100 adolescents, or 77.7 % of those examined, did not have COVID-19. Among adolescents who had the disease, 98 % of cases were mild and asymptomatic. The morbidity structure of adolescent athletes who had COVID-19 did not differ significantly from that of those who had not had the disease. A significantly higher incidence of autoimmune thyroiditis (AIT) after COVID-19 was found (16 % in those who had the disease and 10 % in those who had not had the disease). A significantly higher incidence of type 1 diabetes was also found in athletes who had COVID-19 (5 athletes, 4 % in the morbidity structure, of which 1 athlete was diagnosed with the disease for the first time) compared to adolescents who had not had the infection (3 athletes, 1 % in the morbidity structure).

Conclusion. Given the more frequent detection of autoimmune endocrine diseases in adolescent athletes who have had COVID-19, compared to non-athletes, regular screening of athletes who have had the viral infection with a study of the biochemical profile and hormonal status is necessary for early diagnosis of the disease and timely treatment.

Keywords: athletes, teenagers, COVID-19, coronavirus infection, endocrine diseases, autoimmune thyroiditis, diabetes mellitus

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

Funding: the study was conducted within the framework of the state assignment: reg. No. 123041300010-7 "Investigation of the impact of transmitted infections on the health of athletes and the development of methods for correcting identified disorders (using the example of COVID-19). There were no additional sources of funding.

For citation: Tenyaeva E.A., Turova E.A., Badtieva V.A. A study of the effects of COVID-19 on the endocrine system of adolescent athletes. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2025;15(2):31–40. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.6>

Received: 11 May 2025

Accepted: 15 August 2025

Online first: 06 November 2025

Published: 14 November 2025

***Corresponding author**

1. Введение

Новая коронавирусная инфекция 2019 года (COVID-19) была объявлена Всемирной организацией здравоохранения глобальной пандемией 11 марта 2020 года. В течение 2020–2021 годов практически все страны объявили ограничения, направленные на предотвращение распространения инфекции. Спорт является одной из областей, которая значительно пострадала в связи с введением противоэпидемических мер, карантинными ограничениями, отменой спортивных мероприятий, занятий в школах, спортивных соревнований. Оставался открытым вопрос о последствиях заболевания на здоровье спортсменов и их спортивную результативность, о критериях реинтеграции спортсменов после

перенесенного COVID-19, в связи с чем были разработаны протоколы возвращения спортсменов к активной спортивной деятельности [1, 2].

Пандемия COVID-19 повлияла на состояние здоровья как взрослого населения всех стран, так и детей и подростков. Однако, по данным немногочисленных исследований, у подростков заболевание чаще протекало в бессимптомной и легкой форме и не имело, как правило, серьезных последствий в отличие от населения старших возрастных групп. Так, у юных элитных спортсменов, перенесших COVID-19, отмечается низкая (менее 2 %) вовлеченность поражения миокарда [3]. Даже по сравнению с молодыми людьми у пациентов подросткового возраста не наблюдалось тяжелых случаев

заболевания и отмечена более высокая вероятность бессимптомного течения [4].

Что касается взрослого населения, то в ряде исследований было показано влияние перенесенного COVID-19 на повышение вероятности аутоиммунных заболеваний, в том числе эндокринной системы [5], таких как тиреотоксикоз [6], сахарный диабет [7, 8], в том числе у взрослых спортсменов сборных Москвы [9].

В связи с небольшим количеством публикаций о частоте эндокринных заболеваний у подростков, занимающихся спортом, в целом и влиянии на нее новой коронавирусной инфекции представляется целесообразным исследование структуры и распространенности эндокринной патологии у юных спортсменов, в том числе после перенесенной инфекции COVID-19.

Цель исследования — изучение влияния новой коронавирусной инфекции на эндокринную систему спортсменов подросткового возраста

2. Материалы и методы

Проанализированы данные 1415 спортсменов сборных Москвы подросткового возраста (от 13 до 17 лет), прошедших углубленное медицинское обследование (УМО) в период с января 2021 г. по декабрь 2023 г. на базе филиала № 1 ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С. И. Спасокукоцкого ДЗМ и по результатам обследования направленных на консультацию к эндокринологу. Все обследованные подписали информированное согласие о возможности использования данных для научных целей, исследование утверждено локальным этическим комитетом (выписка из протокола № 5 заседания ЛЭК при ГАУЗ МНПЦ МРВСМ ДЗМ от 22.05.2023 г.). При анализе учитывались данные спортивного и инфекционного анамнеза, антропометрии (рост, вес, индекс массы тела (ИМТ)), результаты клинического, функционального (ультразвуковое исследование (УЗИ)) и лабораторного обследований.

Согласно рекомендациям Европейской тиреодологической ассоциации для детей и подростков, субклинический гипотиреоз диагностировался при уровне тиреотропного гормона (ТТГ) $\geq 5,5$ мкМЕ/мл и нормальном уровне свободного тироксина (св. Т4) [10]. Диагноз аутоиммунного тиреоидита (АИТ) устанавливался при повышении титра антител к тиреопероксидазе (АТ к ТПО) выше референтных значений. Структурные изменения щитовидной железы в виде коллоидной или кистозной дегенерации, проявляющиеся диффузно расположенными коллоидными макрофолликулами, часто сливающимися с образованием мелких кист, а также узловые образования диагностировались при проведении УЗИ щитовидной железы. По показаниям проводилась пункционная биопсия узлов. Диагноз сахарного диабета 1-го типа (СД 2-го типа выявлено не было) устанавливался при наличии двух диагностических критериев: двукратном выявлении уровня глюкозы крови натощак $\geq 7,0$ ммоль/л или однократном определении уровня

глюкозы крови натощак $\geq 7,0$ ммоль/л и гликированно-го гемоглобина более 6,5 %, или случайного определения гликемии выше 11,1 ммоль/л. Гиперпролактинемия диагностировалась при выявлении уровня пролактина выше референтных значений. Для диагностики ожирения или сниженного веса у подростков использовались возрастные и половые центильные графики индекса массы тела (ИМТ), рассчитываемого по формуле: $ИМТ = \text{вес (кг)} / [\text{рост (м)}]^2$. При $ИМТ \geq +2$ SDS (стандартных отклонения от возрастной нормы) диагностировалось ожирение. При $ИМТ \leq -2$ SDS диагностировалось снижение веса. Диффузный токсический зоб (ДТЗ) диагностировался при снижении уровня ТТГ менее 0,001 мМЕ/л и повышении св. Т4 более 19,05 пМ/л и/или повышении свободного трийодтиронина (св. Т3) более 6,8 пмоль/л, а также наличии клинической симптоматики (тахикардия, тремор рук, снижение веса, слабость, увеличение щитовидной железы).

Статистическая обработка результатов проводилась с помощью пакета статистических программ Statistica 10 for Windows. Для сравнения совокупностей по количественным признакам (параметрический анализ) использовался критерий Стьюдента, достоверными различия считались при p -value менее 0,05. Для проверки верности нулевой гипотезы использовался критерий χ^2 Пирсона.

3. Результаты

За три года УМО прошел 10951 человек: из них девочек было 5770, а мальчиков — 5181, ($p > 0,05$). Возраст обследованных колебался от 13 до 17 лет, средний возраст составил $15,3 \pm 0,04$ года. Из общего количества спортсменов подросткового возраста различные эндокринные заболевания или отклонения показателей выявлены у 1415 (12 %) человек. Из них большинство составили девочки — 847 (60 %), мальчиков было 568 человек (40 %).

Среди всех спортсменов подросткового возраста, прошедших УМО, у 10 % выявлялись заболевания щитовидной железы: в 6,3 % — структурные изменения щитовидной железы, 2 % — субклинический гипотиреоз, у 0,58 % — аутоиммунный тиреоидит (АИТ), у 1,38 % — узловой зоб, у 0,02 % — гипертиреоз. В 0,64 % случаев выявлено нарушение уровня глюкозы натощак, у 0,6 % подростков — дефицит веса (недостаточность питания), у 0,4 % — гиперпролактинемия, у 8 спортсменов (0,07 %) — сахарный диабет 1-го типа, достаточно редко выявлялось ожирение (0,11 %) и задержка полового развития (0,05 %) (табл.).

В структуре эндокринной заболеваемости по данным ультразвукового исследования более чем в 55 % случаев (687 подростков) выявлялись структурные изменения щитовидной железы. Первичный гипотиреоз диагностировался в 17 % случаев (209 подростков), тогда как ДТЗ встречался у крайне редко 0,14 % случаев (2 подростка). У 64 несовершеннолетних спортсменов (5 %) выявлен аутоиммунный тиреоидит (АИТ). Достаточно часто

Таблица

Заболевания эндокринной системы спортсменов-подростков

Table

Endocrine diseases in adolescent athletes

Заболевание	МКБ 10	Количество спортсменов	Доля от всех, прошедших УМО (n = 10951)	Доля в структуре эндокринных заболеваний (n = 1415)
Сахарный диабет 1-го типа	E10	8	0,07 %	0,6 %
Нарушение уровня глюкозы натощак	R73.01	70	0,64 %	5 %
Ожирение	E66	12	0,11 %	0,84 %
Недостаточность питания	E63	69	0,6 %	4,5 %
Структурные изменения щитовидной железы	E01.8	687	6,3 %	55 %
Первичный гипотиреоз	E03.8	209	2 %	17 %
ДТЗ	E05.0	2	0,02 %	0,14 %
АИТ	E06.3	64	0,58 %	5 %
Узловой зоб	E04.1 E04.2	151	1,38 %	12 %
Гиперпролактинемия	E22.1	44	0,4 %	3 %
Задержка полового созревания	E30.0	6	0,05 %	0,4 %

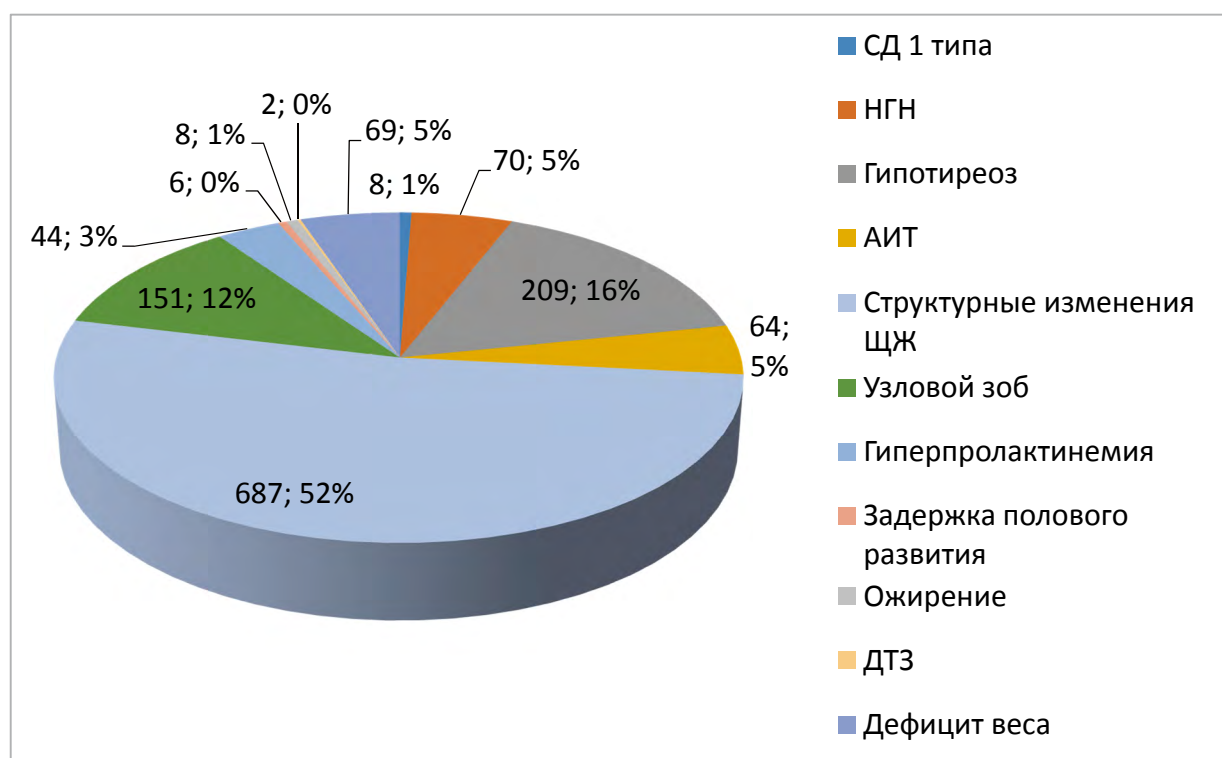


Рис. 1. Структура заболеваний эндокринной системы у спортсменов подростков
 Fig. 1. Pattern of endocrine diseases in adolescent athletes

также выявлялся узловой и многоузловой зоб — в 12 % выборки (151 подросток) (рис. 1), из них 31 спортсмену по показаниям была проведена тонкоигольная пункционная биопсия, по данным гистологии ни в одном случае злокачественных образований выявлено не было.

Таким образом, различные заболевания щитовидной железы выявлены у 1113 юных спортсменов, что составило 78 % от всей эндокринной заболеваемости. Среди всех обследованных спортсменов подросткового возраста частота заболеваний щитовидной железы составила 10 %.

Сахарный диабет 1-го типа (инсулинзависимый) выявлен у 8 спортсменов, что составило 0,6% в структуре эндокринной заболеваемости (рис. 1). Сахарный диабет 2-го типа (инсулиннезависимый) в данной когорте несовершеннолетних спортсменов не выявлен. Нарушение уровня глюкозы натощак определялось в 5% случаев (70 подростков), ожирение выявлено в 0,11% случаев (12 спортсменов, занимающихся преимущественно единоборствами и тяжелой атлетикой) (табл. 1, рис. 1). Дефицит веса диагностирован в 4,5% случаев (69 спортсменов), из которых большинство было девочками, главным образом (49 девочек) из художественной гимнастики, синхронного плавания, акробатики и фигурного катания. У мальчиков дефицит веса наблюдался в 11 случаях. Гиперпролактинемия выявлена у 44 подростков (3% выборки (рис. 1), из них у 31 девушки и 13 юношей в возрасте старше 13 лет. Повторное определение пролактина или дообследование прошли 26 спортсменов, из них при повторном обследовании нормальный уровень пролактина выявлен у 13 спортсменов (50%), т.е. при исключении физической нагрузки, стрессовых факторов в половине случаев имеет место физиологическое повышение пролактина. Феномен макропролактинемии диагностирован у 7 несовершеннолетних спортсменов, микроаденома гипофиза — у девушки 14 лет, которой профильными специалистами был назначен прием каберголина. У двух мальчиков повышение уровня пролактина было связано с приемом психотропных препаратов (из группы нейролептиков).

Среди несовершеннолетних спортсменов задержка полового развития выявлена у 6 юношей в возрасте 14–16 лет (0,4%).

Далее были проанализированы данные спортсменов подросткового возраста в зависимости от перенесения

ими COVID-19. Его перенесли 315 подростков, что составило 22,3% из обследованной эндокринологом группы. Не болели COVID-19 1100 подростков, что составило 77,7% обследованных эндокринологом группы. Среди переболевших подростков наиболее часто наблюдалось легкое течение — у 191 спортсмена (61%), характеризующееся недлительной субфебрильной лихорадкой, часто лишь снижением вкуса и обоняния. Бессимптомное течение (диагностированное только по данным теста или наличию антител) было у 118 спортсменов (37%). Заболевание средней тяжести с длительной лихорадкой, небольшим поражением легких перенесли 6 спортсменов (2%), из них четверо были в возрасте 15–17 лет. Случаев тяжелого течения инфекции, потребовавшего госпитализации, среди подростков не выявлено.

Структура заболеваемости у спортсменов подросткового возраста, перенесших COVID-19, в целом существенно не отличалась от таковой у неболевших. Так, частота субклинического гипотиреоза составила 38% (155 спортсменов) в структуре заболеваемости у подростков, не болевших COVID-19, и 37% (52 человека) — у переболевших. Узловой зоб диагностирован в 27% (112 человек) случаев у неболевших и в 28% (39 спортсменов) — у переболевших. Нарушение уровня глюкозы натощак выявлено у 15% (62 человека) неболевших и у 6% (8 человек) переболевших подростков, гиперпролактинемия — в 8% (34 подростка) и 7% (10 случаев) соответственно (рис. 2).

Однако выявлена достоверно более высокая частота АИТ после перенесенного COVID-19: 16% (22 случая) у переболевших и 10% (42 случая) у неболевших ($p < 0,05$) (рис. 2). Впервые выявленный АИТ наблюдался у 5% (16 случаев) переболевших и у 2,2% (26 случаев), не имевших в анамнезе перенесенной инфекции спортсменов ($p < 0,05$).

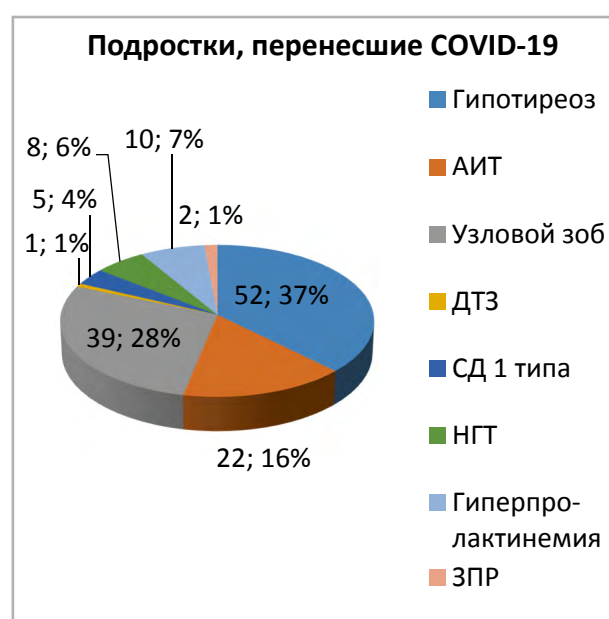
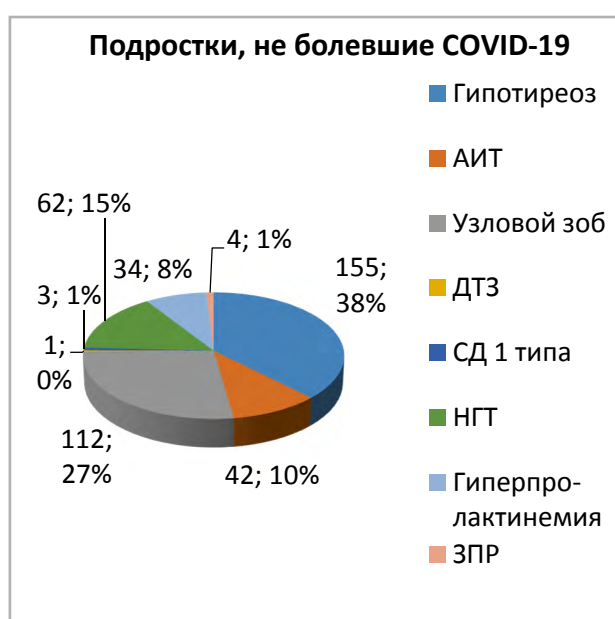


Рис. 2. Структура заболеваний эндокринной системы у спортсменов подростков, перенесших COVID-19, и неболевших
Fig. 2. Pattern of endocrine diseases in adolescent athletes who have had COVID-19 and those who have not

Также выявлена достоверно более высокая частота сахарного диабета 1-го типа (инсулинзависимый диабет) у спортсменов, перенесших COVID-19—4% в структуре заболеваемости (5 спортсменов) в сравнении с подростками, не перенесшими инфекцию: 1% в структуре заболеваемости (3 спортсмена) ($p = 0,007$) (рис. 2).

После COVID-19 в обследованной группе выявлен один новый случай сахарного диабета 1-го типа, а также один новый случай диффузного токсического зоба, тогда как ранее при обследовании взрослых спортсменов нами было выявлено достоверное повышение первичной заболеваемости сахарным диабетом и диффузным токсическим зобом в постковидный период [9]. У неболевших спортсменов новых случаев СД 1-го типа и ДТЗ не выявлено.

4. Обсуждение

По результатам проведенного исследования распространенность заболеваний эндокринной системы среди спортсменов подросткового возраста сборных Москвы составила 12%. Они сопоставимы (9,1%) с ранее полученными среди подростков города Москвы данными — при этом и в этой группе наибольшую долю в структуре болезней эндокринной системы занимали болезни щитовидной железы — 28,2% [11].

По данным обследования высококвалифицированных спортсменов, проведенной Федеральным медико-биологическим агентством, в этой группе также была выявлена высокая распространенность патологии щитовидной железы, которая составила 22,5%. Наиболее часто у юных спортсменов обнаруживались кистозные изменения паренхимы щитовидной железы (в 13,7% случаев), далее по частоте встречаемости находились хронический аутоиммунный тиреоидит и субклинический гипотиреоз (4,2 и 3,9% соответственно), а частота выявления узловых образований составила 1,21% [12].

В настоящем исследовании распространенность патологии щитовидной железы составила 10% от всех спортсменов подросткового возраста, прошедших УМО, среди которых 6% пришлось на долю ее структурных изменений, в 2% случаев у юных спортсменов выявлялся субклинический гипотиреоз, в 1,4% случаев диагностировался узловой зоб.

По данным анализа амбулаторных карт 1081 юных спортсменов на этапе высшего спортивного мастерства заболевания щитовидной железы выявлялись в 57,3% случаев без учета коллоидно-кистозных изменений структуры щитовидной железы [13], что сопоставимо с результатами проведенного исследования, в котором патология щитовидной железы составила 55% в структуре эндокринной патологии. Таким образом, несмотря на некоторое расхождение в конкретных цифрах, настоящее исследование подтвердило высокую распространенность патологии щитовидной железы у юных спортсменов.

Аналогичная тенденция наблюдается и у взрослых спортсменов [14], у которых заболевания щитовидной

железы занимают первое место (46% в структуре эндокринной патологии). Следует отметить, что ДТЗ у подростков наблюдался значительно реже (0,14% заболеваемости), чем у взрослых спортсменов, у которых гипертиреоз, в том числе субклинический, диагностировался в 1,2% случаев. Разница в показателях может быть обусловлена тем, что согласно эпидемиологическим данным, пик заболеваемости ДТЗ приходится на возрастной диапазон от 30 до 60 лет [15]. Также более редко у спортсменов подросткового возраста встречалась гиперпролактинемия (3%), тогда как у взрослых спортсменов ее распространенность 7%, при этом у взрослых спортсменов чаще диагностировалась микроаденома гипофиза.

Почти в два раза реже в структуре эндокринных болезней у подростков отмечен дефицит веса — 4,5% в сравнении с 7% у взрослых спортсменов при сохранении тенденции к наибольшей встречаемости данной патологии в эстетических видах спорта, таких как синхронное плавание, художественная гимнастика, чирлидинг, фигурное катание. Ожирение у исследуемого контингента встречалось крайне редко (0,8% в структуре и 0,1% по частоте), в отличие от общей популяции подростков г. Москвы (24% в структуре эндокринной заболеваемости), что, несомненно, связано с позитивным влиянием активных занятий спортом и соблюдением большинством спортсменов подросткового возраста определенных рекомендаций по питанию.

Переходя к обсуждению влияния перенесенной инфекции COVID-19 на спортсменов подросткового возраста, следует подчеркнуть, что по данным немногочисленных исследований в популяции детей и подростков в большинстве случаев отмечалось легкое и бессимптомное течение заболевания [4]. Тяжелое или критически тяжелое течение болезни было зарегистрировано, по данным исследования De Santis и соавт. [4], в 4,1% в возрастной группе от 11 до 15 лет и у 3,0% подростков старше 16 лет. По сравнению с молодыми людьми, у пациентов подросткового возраста не наблюдалось тяжелых случаев, отмечена более высокая вероятность бессимптомного течения инфекции. Также в этой возрастной группе значительно реже отмечено повышение маркеров воспаления, характерных изменений на компьютерных томограммах и осложнений коронавирусной инфекции.

По данным систематических обзоров большинство случаев заболевания COVID-19 у детей и подростков протекает в более легкой форме с нетипичными клиническими проявлениями и редкой лимфопенией [16, 17].

Проведенное исследование также подтвердило значительное преобладание легкого и бессимптомного течения коронавирусной инфекции у подростков, у которых лишь в 2% случаев наблюдалось среднетяжелое течение заболевания.

В одном из обзоров [18] отмечалось появление в некоторых регионах (США, Италия) у детей и подростков

на фоне коронавирусной инфекции мультисистемного воспалительного синдрома, характеризующегося постоянной лихорадкой и болезнью Kawasaki — острого системного васкулита, в патогенезе которого предполагаются аутоиммунные нарушения.

В отношении поражения аутоиммунитета результаты исследования Е.А. Колпаковой и соавт. [19] продемонстрировали потенциальные риски развития аутоиммунных заболеваний щитовидной железы после перенесенной коронавирусной инфекции. Авторами выявлена тесная взаимосвязь изменений тиреоидного профиля и гиперактивации иммунной системы с гиперпродукцией провоспалительных интерлейкинов при COVID-19. Нами также было отмечено повышение риска развития аутоиммунного тиреоидита у спортсменов подросткового возраста, перенесших COVID-19, в отличие от неболевших, что свидетельствует о влиянии вируса SARS-CoV-2 на состояние аутоиммунитета, в том числе в отношении эндокринной системы юных спортсменов.

Достоверно большее количество спортсменов с сахарным диабетом 1-го типа, перенесших вирусную инфекцию, в сравнении с неболевыми может быть связано как с аутоиммунными нарушениями, так и с большим риском инфицирования на фоне нарушения углеводного обмена. Так, в обзоре С. Kamrathetal [20] продемонстрирован значительный рост заболеваемости диабетом 1-го типа у детей и подростков, который наблюдался во время пандемии COVID-19, с задержкой пика заболеваемости диабетом 1-го типа примерно на 3 месяца после пика заболеваемости COVID-19, а также после мер по сдерживанию пандемии. По мнению авторов, более вероятно, что причиной являются косвенные, а не прямые последствия пандемии.

Результаты исследования влияния коронавирусной инфекции на состояние здоровья спортсменов подросткового возраста крайне ограничены. Так, в исследовании В.М. Гуралева и соавт. [21], оценивающего влияние пандемии COVID-19 на физическое и психологическое состояние молодых спортсменов, выступающих в индивидуальных и командных видах спорта в Российской Федерации, показано, что сохранение и увеличение общего объема физической активности способствуют сохранению их психологического здоровья и спортивной идентичности в период пандемии COVID-19. В исследовании Л.М. Макарова и соавт. [3] отмечена низкая (менее 2%) вовлеченность поражения миокарда у юных элитных спортсменов, перенесших COVID-19.

Целью исследования S. Elliottetal было влияние пандемии COVID-19 на молодежный спорт и на отношение и поведение, связанные с будущим участием молодежи в спорте. Полученные результаты продемонстрировали существенное ухудшение психического здоровья спортсменов, вызванного в основном социальной изоляцией. Также отмечалось отсутствие мотивации юных спортсменов к индивидуальным тренировкам и общей физической активности. По мнению авторов, результаты

указывают на необходимость поддержки семей спортсменов, спортивных клубов и организаций для обеспечения выживания и процветания молодежного спорта в будущем [22].

Таким образом, в публикациях подчеркиваются преимущественно психологические последствия пандемии COVID-19 на здоровье спортсменов подросткового возраста и некоторые сложности перенесения карантина и возвращения в спорт. Влияние инфекции на сердечно-сосудистую и эндокринную систему спортсменов не столь существенно, как на здоровье населения в целом и в том числе взрослых спортсменов.

В предшествующем исследовании с участием взрослых спортсменов выявлено достоверное различие среди переболевших и неболевших спортсменов в частоте выявления субклинического гипотиреоза, аутоиммунного тиреоидита, сахарного диабета 1-го типа (инсулинзависимого), узлового и многоузлового зоба [9]. Также следует отметить, что в группе спортсменов, перенесших инфекцию, различные патологические состояния эндокринной системы наблюдались у 30% спортсменов, тогда как в группе неболевших их частота была в два раза меньше и составила 15%. Сравнивая эти данные с результатами исследования спортсменов подросткового возраста, следует отметить менее выраженное поражение эндокринной системы у юных спортсменов в сравнении со взрослыми, у которых после COVID-19 чаще выявлялась манифестация аутоиммунного тиреоидита, гипотиреоза, сахарного диабета.

5. Заключение

По данным настоящего исследования, распространенность заболеваний эндокринной системы у спортсменов сборных Москвы подросткового возраста составила 12%, среди которых 78% занимают заболевания щитовидной железы. Спортсмены подросткового возраста преимущественно не болели коронавирусной инфекцией, а в случае заболевания чаще всего переносили ее в легкой и бессимптомной формах.

Структура заболеваемости у спортсменов-подростков, перенесших COVID-19 в основном существенно не отличалась от таковой у неболевших. Однако определялась достоверно более высокая частота выявления АИТ после перенесенной инфекции. Также выявлена достоверно более высокая частота сахарного диабета 1-го типа у спортсменов, перенесших COVID-19, в сравнении с неболевыми.

Учитывая более частое выявление аутоиммунных эндокринных заболеваний у спортсменов-подростков, перенесших COVID-19, независимо от тяжести заболевания, в сравнении с не болевшими спортсменами, необходим регулярный скрининг переболевших вирусной инфекцией спортсменов с исследованием биохимического профиля и гормонального статуса для ранней диагностики заболевания и своевременного назначения лечения.

Вклад авторов:

Теняева Елена Анатольевна — сбор материала, ведение базы данных, написание статьи.

Турова Елена Арнольдовна — редактирование статьи, внесение корректив.

Бадтиева Виктория Асланбековна — концепция статьи, редактирование.

Литература

1. Бадтиева В.А., Шарыкин А.С., Зеленкова И.Е. Спортивная медицина и спортивное сообщество в условиях эпидемии коронавируса. *Consilium Medicum*. 2020;22(5):28–34. <https://doi.org/10.26442/20751753.2020.5.200181>
2. Зеленкова И.Е., Ильин Д.С., Бадтиева В.А. Возвращение к тренировкам после коронавируса (SARS-COV-2/COVID-19). *Спортивная медицина: наука и практика*. 2020;10(3):60–66. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2020.3.60>
3. Макаров Л.М., Комолятова В.Н., Киселева И.И., Бесспорточный Д.А., Аксенова Н.В. Влияние COVID-19 (SARS-COV-2) на состояние сердечно-сосудистой системы юных элитных спортсменов. *Российский кардиологический журнал*. 2023;28(S6):46.
4. De Sanctis V., Ruggiero L., Soliman A.T., Daar S., Di Maio S., Kattamis C. Coronavirus disease 2019 (Covid-19) in adolescents: An update on current clinical and diagnostic characteristics. *Acta Biomedica*. 2020;91(2):184–194. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i2.9543>
5. Al-Beltagi M., Saeed N.K., Bediwy A.S. COVID-19 disease and autoimmune disorders: A mutual pathway. *World J. Methodol*. 2022;12(4):200–223. <https://doi.org/10.5662/wjm.v12.i4.200>
6. Lania A., Sandri M.T., Cellini M., Mirani M., Lavezzi E., Mazziotti G. Thyrotoxicosis in patients with COVID-19: the THYRCOV study. *Eur. J. Endocrinol*. 2020;183(4):381–387. <https://doi.org/10.1530/EJE-20-0335>
7. Rubino F., Amiel S.A., Zimmet P., Alberti G., Bornstein S., Eckel R.H., et al. New-onset diabetes in Covid-19. *N. Engl. J. Med*. 2020;383(8):787–789. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2018688>
8. Хайдарова Ф.А., Алимова Н.У., Алиева А.В., Садыкова А.С., Арипова М.Д. Влияние COVID-19-инфекции на развитие сахарного диабета 1 типа у детей и подростков. *Сахарный диабет*. 2022;25(1):21–26. <https://doi.org/10.14341/DM12785>
9. Турова Е.А., Теняева Е.А., Бадтиева В.А., Оконкво Е.О., Иванова Ю.М. Влияние новой коронавирусной инфекции на эндокринную систему и физическую работоспособность спортсменов. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(2):58–67. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.4>
10. Lazarus J., Brown R.S., Daumerie C., Hubalewska-Dydejczyk A., Negro R., Vaidya B. 2014 European Thyroid Association Guidelines for the Management of Subclinical Hypothyroidism in Pregnancy and in Children. *Thyroid J*. 2014;3(2):76–94. <https://doi.org/10.1159/000362597>
11. НИИ организации здравоохранения и медицинского менеджмента. Болезни эндокринной системы населения города Москвы [интернет]; 26.05.2022. Режим доступа: <https://niiioz.ru/news/bolezni-endokrinnoy-sistemy-naseleniya-goroda-moskvy> (дата обращения 17.03.2025).
12. Столярова С.А., Аксенова Н.В., Окороков П.Л., Бабаева Е.В., Зябкин И.В., Исаева Е.П. Структура патологии щитовидной железы в детско-юношеском спорте высших достижений по результатам углубленного медицинского

Authors contributions:

Elena A. Tenyayeva — collecting material, maintaining a database, writing the manuscript.

Elena A. Turova — editing, making corrections.

Victoria A. Badtieva — article concept, editing.

References

1. Badtieva V.F., Sparykin A.S., Zelenkova I.E. Sports medicine and sports population under conditions of the coronavirus epidemic. *Consilium Medicum*. 2020;22(5):28–34. (In Russ.). <https://doi.org/10.26442/20751753.2020.5.200181>
2. Zelenkova I.E., Il'in D.S., Badtieva V.A. Return to training after coronavirus (SARS-COV-2/COVID-19). *Sports medicine: research and practice*. 2020;10(3):60–66. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2020.3.60>
3. Makarov L.M., Komolyatova V.N., Kiseleva I.I., Bessporotchnyj D.A., Aksenova N.V. Impact of COVID-19 (SARS-COV-2) on the cardiovascular health of young elite athletes. *Russian Journal of Cardiology*. 2023;28(S6):46. (In Russ.).
4. De Sanctis V., Ruggiero L., Soliman A.T., Daar S., Di Maio S., Kattamis C. Coronavirus disease 2019 (Covid-19) in adolescents: An update on current clinical and diagnostic characteristics. *Acta Biomedica*. 2020;91(2):184–194. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i2.9543>
5. Al-Beltagi M., Saeed N.K., Bediwy A.S. COVID-19 disease and autoimmune disorders: A mutual pathway. *World J. Methodol*. 2022;12(4):200–223. <https://doi.org/10.5662/wjm.v12.i4.200>
6. Lania A., Sandri M.T., Cellini M., Mirani M., Lavezzi E., Mazziotti G. Thyrotoxicosis in patients with COVID-19: the THYRCOV study. *Eur. J. Endocrinol*. 2020;183(4):381–387. <https://doi.org/10.1530/EJE-20-0335>
7. Rubino F., Amiel S.A., Zimmet P., Alberti G., Bornstein S., Eckel R.H., et al. New-onset diabetes in Covid-19. *N. Engl. J. Med*. 2020;383(8):787–789. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2018688>
8. Hajdarova F.A., Alimova N.U., Alieva A.V., Sadykova A.S., Aripova M.D. Impact of COVID-19 infection on the development of type 1 diabetes mellitus in children and adolescents. *Diabetes mellitus*. 2022;25(1):21–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.14341/DM12785>
9. Turova E.A., Tenyayeva E.A., Badtieva V.A., Okonkwo E.O., Ivanova I.M. The impact of the new coronavirus infection on the endocrine system and physical performance of athletes. *Sports medicine: research and practice*. 2024;14(2):58–67. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.4>
10. Lazarus J., Brown R.S., Daumerie C., Hubalewska-Dydejczyk A., Negro R., Vaidya B. 2014 European Thyroid Association Guidelines for the Management of Subclinical Hypothyroidism in Pregnancy and in Children. *Thyroid J*. 2014;3(2):76–94. <https://doi.org/10.1159/000362597>
11. Research Institute of Healthcare Organization and Medical Management. Diseases of the endocrine system of the Moscow city population [internet]; 26.05.2022. Available at: <https://niiioz.ru/news/bolezni-endokrinnoy-sistemy-naseleniya-goroda-moskvy> (accessed 17 March 2025). (In Russ.).
12. Stolyarova S.A., Aksenova N.V., Okorokov P.L., Babayeva E.V., Zybkin I.V., Isaeva E.P. Structure of thyroid pathology in young elite athletes according to the results of comprehensive medical examination. *Vopr. prakt. pediatri*. (Clinical Practice in Pediat-

обследования. Вопросы практической педиатрии. 2022;17(4):7–12. <https://doi.org/10.20953/1817-7646-2022-4-7-12>

13. Окорков П.Л., Аксенова Н.В., Бабаева Е.В., Зябкин И.В., Афанасьев А.Н. Особенности распространенности и структуры эндокринной патологии в детско-юношеском спорте высших достижений. Спортивная медицина: наука и практика. 2021;11(1):72–78. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.1.5>

14. Турова Е.А., Теняева Е.А., Бадтиева В.А., Головач А.В., Артикулова И.Н. Структура эндокринных заболеваний у спортсменов. Вестник спортивной науки. 2020;(4):53–58.

15. Фадеев В.В. По материалам клинических рекомендаций Европейской тиреоидной ассоциации по диагностике и лечению тиреотоксикоза при болезни Грейвса 2018 года. Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2020;16(1):4–20. <https://doi.org/10.14341/ket12474>

16. Cui X., Zhao Z., Zhang T., Guo W., Guo W., Zheng J., et al. A systematic review and meta-analysis of children with coronavirus disease 2019 (COVID-19). J. Med. Virol. 2021;93(2):1057–1069. <https://doi.org/10.1002/jmv.26398>

17. De Souza T.H., Nadal J.A., Nogueira R.J.N., Pereira R.M., Brandão M.B. Clinical manifestations of children with COVID-19: A systematic review. Pediatr. Pulmonol. 2020;55(8):1892–1899. <https://doi.org/10.1002/ppul.24885>

18. Martins M.M., Prata-Barbosa A., Magalhães-Barbosa M.C., Cunha A.J.L.A.D. Clinical and laboratory characteristics of sars-cov-2 infection in children and adolescents. Rev Paul Pediatr. 2020;39:e2020231. <https://doi.org/10.1590/1984-0462/2021/39/2020231>

19. Колпакова Е.А., Елфимова А.Р., Никанкина Л.В., Дьяков И.Н., Бушкова К.К., Трошина Е.А. Новая инфекция SARS-CoV-2 — возможный триггер аутоиммунных заболеваний щитовидной железы. Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2022;18(3):4–12. <https://doi.org/10.14341/ket12740>

20. Rosenbauer C.K.J., Eckert A.J., Siedler K., Bartelt H., Klose D., Sindichakis M., Herrlinger S., Lahn V., Holl R.W. Incidence of Type 1 Diabetes in Children and Adolescents During the COVID-19 Pandemic in Germany: Results From the DPV Registry. Diabetes Care. 2022;45(8):1762–1771. <https://doi.org/10.2337/dc21-0969>

21. Гуралев В.М., Дворкин В.М., Осипов А.Ю. Влияние пандемии COVID-19 на молодых спортсменов, соревнующихся в индивидуальных и командных видах спорта. Физическая культура. Спорт. Туризм. Двигательная рекреация. 2021;6(4):7–12. <https://doi.org/10.47475/2500-0365-2021-16401>

22. Drummond M.J., Prichard I., Eime R., Drummond C., Mason R. Understanding the impact of COVID-19 on youth sport in Australia and consequences for future participation and retention. BMC Public Health. 2021;21(1):448. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-10505-5>

Информация об авторах:

Теняева Елена Анатольевна*, к.м.н., ведущий научный сотрудник отдела спортивной медицины и клинической фармакологии ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения г. Москвы», Россия, 105120, г. Москва, ул. Земляной вал, 53, (e-mail:teniaeva@mail.ru)

Турова Елена Арнольдовна, д.м.н., профессор, главный научный сотрудник отдела спортивной медицины и клинической фармакологии ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения г. Москвы» Россия, 105120, г. Москва, ул. Земляной вал, 53; профессор кафедры восстановительной медицины, реабилитации и курортологии Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова, Россия, 119048, г. Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2 (aturova55@gmail.com)

rics). 2022;17(4):7–12. (In Russ.). <https://doi.org/10.20953/1817-7646-2022-4-7-12>

13. Okorokov P.L., Aksenova N.V., Babaeva E.V., Zyabkin I.V., Afanasyev A.N. Frequency and structure of endocrine diseases in young elite athletes. Sports medicine: research and practice. 2021;11(1):72–78. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.1.5>

14. Turova E.A., Tenyeva E.A., Badtieva V.A., Golovach A.V., Artikulova I.N. Structure of endocrine diseases in athletes. Sports science bulletin. 2020;(4):53–58. (In Russ.).

15. Fadeev V.V. Review of European Thyroid Association Guideline (2018) for the Management of Graves' Hyperthyroidism. Clinical and experimental thyroidology. 2020;16(1):4–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.14341/ket12474>

16. Cui X., Zhao Z., Zhang T., Guo W., Guo W., Zheng J., et al. A systematic review and meta-analysis of children with coronavirus disease 2019 (COVID-19). J. Med. Virol. 2021;93(2):1057–1069. <https://doi.org/10.1002/jmv.26398>

17. De Souza T.H., Nadal J.A., Nogueira R.J.N., Pereira R.M., Brandão M.B. Clinical manifestations of children with COVID-19: A systematic review. Pediatr. Pulmonol. 2020;55(8):1892–1899. <https://doi.org/10.1002/ppul.24885>

18. Martins M.M., Prata-Barbosa A., Magalhães-Barbosa M.C., Cunha A.J.L.A.D. Clinical and laboratory characteristics of sars-cov-2 infection in children and adolescents. Rev Paul Pediatr. 2020;39:e2020231. <https://doi.org/10.1590/1984-0462/2021/39/2020231>

19. Kolpakova E.A., Elfimova A.R., Nikankina L.V., D'yakov I.N., Bushkova K.K., Troshina E.A. COVID-19 and the possible development of autoimmune thyroid diseases. Clinical and experimental thyroidology. 2022;18(3):4–12. (In Russ.). <https://doi.org/10.14341/ket12740>

Rosenbauer C.K.J., Eckert A.J., Siedler K., Bartelt H., Klose D., Sindichakis M., Herrlinger S., Lahn V., Holl R.W. Incidence of Type 1 Diabetes in Children and Adolescents During the COVID-19 Pandemic in Germany: Results From the DPV Registry. Diabetes Care. 2022;45(8):1762–1771. <https://doi.org/10.2337/dc21-0969>

20. Guralev V.M., Dvorkin V.M., Osipov A.Y. Impact of the COVID-19 pandemic on individual and team sports junior athletes. Physical Culture. Sport. Tourism. Motor Recreation. 2021;6(4):7–12. (In Russ.). <https://doi.org/10.47475/2500-0365-2021-16401>

21. Drummond M.J., Prichard I., Eime R., Drummond C., Mason R. Understanding the impact of COVID-19 on youth sport in Australia and consequences for future participation and retention. BMC Public Health. 2021;21(1):448. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-10505-5>

Бадтиева Виктория Асланбековна, д.м.н., профессор, академик РАН, заведующий филиалом № 1 ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения г. Москвы» Россия, 105120, г. Москва, ул. Земляной вал, 53; руководитель отдела спортивной медицины и клинической фармакологии; профессор кафедры восстановительной медицины, реабилитации и курортологии ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Россия, 119048, г. Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2; ведущий научный сотрудник отдела научно-исследовательских услуг ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Россия, 121059, г. Москва, ул. Б. Дорогомиловская, д. 5.

Information about the authors:

Elena A. Tenyaeva*, M.D., Ph.D. (Medicine), leading researcher of the Department of Sports Medicine and Clinical Pharmacology of Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports medicine named after S.I. Spasokukotsky of Moscow Healthcare Department 53 Zemlyanoy val, Moscow, 105120, Russia (teniaeva@mail.ru)

Elena A. Turova, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor, Deputy Director of Science, Moscow Scientific and Practical Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine of the Moscow Department of Healthcare; Professor of the Department of Restorative Medicine, Rehabilitation and Balneology of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 8, 2 Trubetskaya str., Moscow, 119991, Russia (aturova55@gmail.com)

Victoria A. Badtieva, Academician of the Russian Academy of Sciences, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor, Head of Branch №1 of “Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports medicine named after S.I. Spasokukotsky of Moscow Healthcare Department”; Head of the Sports Medicine and Clinical Pharmacology section, Professor of the Department of Restorative Medicine, Rehabilitation and Balneology of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); leading researcher of the department of scientific research services of the Federal Scientific and Clinical Center for Sports Medicine and Rehabilitation of the Federal Medical and Biological Agency, 5 B. Dorogomilovskaya, str., Moscow, 121059, Russia (maratik2@yandex.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.1>

УДК: 663.93:796.81

Тип статьи: Обзор литературы



Влияние биологически активной добавки кофеина на работоспособность спортсменов-единоборцев: систематический обзор и метаанализ

П.Д. Рыбакова^{1,2*}, А.В. Мештель², А.Б. Мирошников², А.Г. Антонов^{1,2}, В.Д. Выборнов³

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

² ФГБОУ ВО «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, Россия

³ ГБУ ДО «Физкультурно-спортивное объединение «Юность Москвы» Департамента спорта города Москвы, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель исследования: провести систематический поиск и обобщение результатов рандомизированных контролируемых исследований, оценивающих влияние кофеина на работоспособность спортсменов-единоборцев.

Материалы и методы: Исследование было проведено в соответствии с PRISMA и PRISMA-P. Поиск литературы без ограничений по дате и языку осуществлялся в базах данных PubMed, Cochrane Library, Epistemonikos и eLIBRARY.RU. В качестве статистических методов использовались метаанализ и метарегрессионный анализ.

Результаты: По результатам поиска нами было найдено 218 исследований, 24 из них соответствовали критериям включения и были включены в систематический обзор. В метаанализ было включено 16 исследований. Результаты метаанализа продемонстрировали отсутствие эффекта кофеина на результаты специального дзюдо-теста, уровень воспринимаемой нагрузки, скоростно-силовые показатели, мощность и высоту прыжка, силовую выносливость в специфическом дзюдо-тесте, индекс специального дзюдо-теста, а также общее количество бросков и бросков во втором подходе. Метаанализ продемонстрировал положительное влияние кофеина на результаты различных специфических тестов для тхэквондистов, а также на количество бросков в первом и третьем подходе специального дзюдо-теста. При оценке физиологических реакций наблюдалось отсутствие различий в пиковых значениях частоты сердечных сокращений. Было продемонстрировано статистически значимое увеличение пиковых значений лактата крови после симулированных боев.

Заключение: Употребление кофеина не оказывает существенного воздействия на повышение общих физических показателей, а также на показатели, связанные с нагрузкой и сердечной деятельностью у спортсменов-единоборцев. Тем не менее возможно положительное влияние кофеина на отдельные специфические показатели в этой группе спортсменов.

Ключевые слова: кофеин, эргогенные добавки, биологически активные добавки, единоборства, работоспособность

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Рыбакова П.Д., Мештель А.В., Мирошников А.Б., Антонов А.Г., Выборнов В.Д. Влияние биологически активной добавки кофеина на работоспособность спортсменов-единоборцев: систематический обзор и метаанализ. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2025;15(2):41–57. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.1>

Поступила в редакцию: 30.04.2025

Принята к публикации: 28.07.2025

Online first: 29.09.2025

Опубликована: 14.11.2025

* Автор, ответственный за переписку

The effect of caffeine supplementation on the performance in combat athletes: A systematic review and meta-analysis

Polina D. Rybakova^{1,2*}, Alexander V. Meshtel², Alexander B. Miroshnikov², Alexey G. Antonov^{1,2}, Vasily D. Vybornov³

¹ Centre for Sports Innovative Technologies and National Teams Training of the Moscow City Sports Department (Moscomsport), Moscow, Russia

² The Russian University of Sports "GTSOLIFK", Moscow, Russia

³ Educational Institution of Physical Culture and Sports Association "Junost' Moskv" of the Department of Sports of the City of Moscow, Moscow, Russia

ABSTRACT

The aim: of the study was to conduct a systematic search and generalize the results of randomized controlled trials assessing the effect of caffeine on the performance of combat athletes.

Materials and methods: the study was conducted according to PRISMA, and PRISMA-P. Literature searches without date and language restrictions were performed in the following databases: PubMed, Cochrane Library, Epistemonikos, and eLIBRARY.RU. Meta-analysis and meta-regression analysis were used as statistical methods.

Results: we identified 218 studies from the search, of which 24 studies met the inclusion criteria and were included in the systematic review. A total of 16 studies were included in the meta-analysis. The results of the meta-analysis showed no effect of caffeine on the results of the special judo test, rate of perceived exertion, speed-strength indicators (Wingate anaerobic test), jump power and height, strength endurance in the special judo test, special judo test index, as well as the total number of throws and throws in the second attempt. The meta-analysis demonstrated a positive effect of caffeine on the results of various taekwondo specific tests and on the number of throws in the first and third attempts of the special judo test. When assessing physiological responses, no differences in peak heart rate were observed. A statistically significant increase in peak blood lactate values was demonstrated after simulated fights.

Conclusion: caffeine consumption does not have a significant effect on improving overall physical performance, as well as on performance-related indicators and cardiac activity in combat athletes. However, it is possible that caffeine may have a positive effect on some specific indicators in this group of athletes.

Keywords: caffeine, ergogenic supplements, biologically active supplements, martial arts, performance

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

For citation: Rybakova P.D., Meshtel A.V., Miroshnikov A.B., Antonov A.G., Vybornov V.D. The effect of caffeine supplementation on the performance in combat athletes: A systematic review and meta-analysis *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2025;15(2):41–57. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.1>

Received: 30 April 2025

Accepted: 28 June 2025

Online first: 29 September 2025

Published: 14 November 2025

*Corresponding author

1. Введение

Кофеин (1,3,7-триметилксантин) является наиболее употребляемым психоактивным веществом в мире [1]. Прием кофеина может улучшать физическую работоспособность спортсменов разного уровня за счет позитивного влияния на выносливость, мышечную силу и анаэробную мощность [2]. Единоборства обычно включают в себя повторное выполнение тех или иных приемов с максимальной интенсивностью, перемежаемые действиями низкой интенсивности. Высокоинтенсивный характер повторных усилий обычно приводит к большому аэробному ответу во время выполнения упражнений, что подтверждается достижением почти максимальной частоты сердечных сокращений и потребления кислорода во время имитации соревнований [3]. Кроме того, специфика соревновательной деятельности

в единоборствах вызывает значительное анаэробное напряжение, сопровождающееся более высоким уровнем лактата в крови после соревнований [3].

В 2022 году Delleli и соавт. провели систематический обзор и метаанализ и пришли к выводу, что кофеин может оказывать эргогенное воздействие на целый ряд аспектов, связанных с единоборствами. Однако эти эффекты могут быть нивелированы при определенных обстоятельствах, что указывает на необходимость учета различных переменных работоспособности для создания протокола использования кофеина [4]. Учитывая рост актуальности изучения эргогенных средств, увеличивающих работоспособность в единоборствах, а также актуальность изучения эффективности различных режимов использования кофеина в мировой научной литературе, проведение систематического обзора и метаанализа

рандомизированных контролируемых исследований (РКИ) по этой теме можно считать актуальным для специалистов, работающих со спортсменами.

Цель исследования: проведение систематического обзора и метаанализа с включением в них результатов РКИ, оценивающих влияние кофеина на работоспособность спортсменов-единоборцев.

2. Материалы и методы

Исследование было проведено в соответствии с PRISMA [5] и PRISMA-P [6]. Протокол исследования был составлен до начала поиска и не менялся до его окончания и был зарегистрирован в международной базе protocols.io (dx.doi.org/10.17504/protocols.io.5jyl8dmd8g2w/v1). Поиск литературы осуществлялся в соответствии с контрольными списками PRISMA-S [7] и PRESS [8] в базах данных и ключевым словом, указанным в таблице 1.

Был проведен поиск «серой» литературы в базе данных SportRxiv согласно контрольному списку Benzie и соавт. [9]. Ограничений по дате и языку не устанавливалось. Критерии включения основывались на системе PICOS [10]:

P — здоровые квалифицированные спортсмены-единоборцы мужского пола в возрасте 18 лет и старше;

I — прием биологически активной добавки (БАД) кофеина;

C — прием плацебо;

O — тесты, оценивающие показатели работоспособности;

S — рандомизированные контролируемые исследования.

Для включения исследования в метаанализ данные должны быть представлены в виде: среднее \pm стандартное отклонение.

Критерии исключения исследований из обзора были совместный прием кофеина с другими БАД, прием анаболических андрогенных стероидов, потребление кофеина из продуктов питания (кофе, энергетические напитки, жвачки и т.д.), исследования, проведенные во время/после религиозного поста, и исследования, проведенные после процедур форсированного снижения массы тела.

Два автора обзора независимо друг от друга проверяли заголовки статей, аннотации и, при необходимости, полные тексты из анализируемых баз данных. После этого независимо друг от друга извлекали статьи, соответствующие PICOS. Любые несоответствия разрешались путем консенсусного обсуждения. Любые разногласия разрешались другим автором. Оценка риска предвзятости производилась независимо двумя авторами при помощи Кокрановского инструмента «Risk of Bias 2» (RoB 2, 2019) [11]. В случае разногласий другой рецензент повторно производил оценку, на основании которой принималось решение.

Статистический анализ. Для проведения метаанализа использовалась модель случайных эффектов. Анализ был выполнен с использованием программного обеспечения Review Manager версии 5.4 и языка программирования R с пакетом meta. В качестве меры эффекта использовалась разница средних (Mean Difference, MD) с 95 % доверительным интервалом. Оценка гетерогенности проводилась с помощью статистики I^2 , согласно принятой интерпретации, при значении $I^2 > 40\%$ гетерогенность считалась высокой. Мета регрессия проводилась при помощи программного обеспечения RStudio с использованием пакета metafor. Были рассчитаны коэффициенты регрессии (β) с 95 % ДИ, доля объясненной гетерогенности (R^2) и остаточная неоднородность (τ^2).

3. Результаты

В результате поиска было обнаружено 218 исследований, из числа которых было исключено 14 дубликатов. Дальнейшему анализу подверглись 204 исследования, из которых критериям включения соответствовали 24. Блок-схема PRISMA представлена на рисунке 1.

180 исследований были исключены за несоответствие критериям PICOS: участники не достигли возраста 18 лет [12], комбинации кофеина с другими БАД/нутриентами [13, 14], экспериментальное вмешательство после процедуры форсированного снижения массы тела [15], экспериментальная форма кофеина в виде жевательной резинки [16], экспериментальное вмешательство после религиозного поста Рамадан [13], испытуемые — женщины [17, 18]. При оценке риска предвзятости было обнаружено, что для 66,6 % РКИ общий риск предвзятости

Таблица 1

Ключевые слова для поиска литературы

Table 1

Keywords for literature search

База данных	Ключевые слова и термины
PubMed	«caffeine»[MeSH Terms] AND «martial arts»[MeSH Terms] AND «athletic performance»[MeSH Terms]
Cochrane Library	caffeine in Title Abstract Keyword AND martial arts in Title Abstract Keyword
Epistemonikos	(title:(caffeine) OR abstract:(caffeine)) AND (title:(combat sports) OR abstract:(combat sports))
Elibrary	кофеин, кофе, единоборства, работоспособность, эргогенная помощь



Рис. 1. Блок-схема PRISMA

Fig. 1. PRISMA block diagram

Примечание: БАД — биологически активная добавка.

был определен как «умеренный», а для 33,3 % — как «низкий» (рис. 2)

В таблице 2 представлено резюме РКИ, соответствующих критериям включения.

4. Результаты метаанализа

Результаты не всех исследований, включенных в систематический обзор, можно было использовать в метаанализе, что было связано с отсутствием доступных данных для анализа [19, 21, 23, 26, 29, 30, 32–34, 36–38, 40, 41] и объединением результатов среди мужчин и женщин [22, 35]. Таким образом, в метаанализ было включено 16 исследований [20–25, 28–32, 34, 36, 37, 40, 42].

Специальный дзюдо-тест (special judo fitness test (SJFT))

Оценка SJFT (индекс, %) включала в себя два исследования и 4 сравнения [24, 32] (рис. 3). Анализ показал отсутствие различий между плацебо и кофеином

(MD = 0,09; 95 % ДИ: –0,41; 0,59, $p = 0,84$), гетерогенность при этом отсутствовала.

Уровень воспринимаемой нагрузки (rating of perceived exertion (RPE))

В анализ RPE вошло 12 исследований [20, 23–25, 28–30, 32, 34, 36, 40, 42] (рис. 4.1), оценка суммарного эффекта не показала статистически значимых различий между плацебо и кофеином при высоком уровне гетерогенности ($I^2 = 71\%$). В связи с этим был проведен анализ подгрупп. При анализе подгрупп различий также не наблюдалось как при низких дозировках (< 6 мг/кг MD = –0,11; 95 % ДИ: –0,78; 0,56, $p = 0,74$), так и при более высоких дозировках (для ≥ 6 мг/кг MD = –0,22; 95 % ДИ: –0,63; 0,19, $p = 0,30$). Однако анализ низких дозировок показал высокую гетерогенность ($I^2 = 81\%$).

Анализ чувствительности путем исключения исследований выявил (рис. 4.2), что при исключении исследования Ouergui и соавторов 2023 года с участием элитных

Ссылка	Домен 1	Домен 2	Домен 3	Домен 4	Домен 5	Общая оценка
Aedma и соавт., 2013	!	+	+	+	+	!
Santos и соавт., 2014	+	+	+	+	+	+
Lopes-Silva и соавт., 2015	!	+	+	+	+	!
Felippe и соавт., 2015	+	+	+	+	+	+
Diaz-Lara и соавт., 2016	+	+	+	+	+	+
Diaz-Lara и соавт., 2016	+	+	+	+	+	+
Cortez и соавт., 2016	!	+	+	+	+	!
Athayde и соавт., 2018	!	+	+	+	+	!
Coswig и соавт., 2018	!	+	+	+	+	!
San Juan и соавт., 2018	!	+	+	+	+	!
Negaraesh и соавт., 2019	!	+	+	+	+	!
Durkalec-Michalski и соавт., 2019	+	+	+	+	+	+
Rezaei и соавт., 2019	!	+	+	+	+	!
de Azevedo и соавт., 2019	!	+	+	+	+	!
da Silva и соавт., 2019	!	+	+	+	+	!
Fernández и соавт., 2021	!	+	+	+	+	!
Carmo и соавт., 2021	!	+	+	+	+	!
Lopes-Silva и соавт., 2022	!	+	+	+	+	!
Krawczyk и соавт., 2022	+	+	+	+	+	+
Merino-Fernández и соавт., 2022	+	+	+	+	+	+
Ouergui и соавт., 2022	!	+	+	+	+	!
Ouergui и соавт., 2023	!	+	+	+	+	!
Рыбакова и соавт., 2024	!	!	+	+	+	!
Saremi и соавт., 2024	+	+	+	+	+	+

! – умеренный риск предвзятости - – высокий риск предвзятости + – низкий риск предвзятости

Рис. 2. Оценка риска предвзятости
Fig. 2. Risk of bias assessment

спортсменов уровень гетерогенности снижался до $I^2 = 6\%$, однако эти изменения не привели к статистически значимым различиям между кофеином и плацебо ($MD = 0,18$; 95% ДИ: $-0,12$; $0,47$, $p = 0,24$).

С целью выявления источника гетерогенности метарегрессионный анализ был проведен для RPE, так как только данный показатель оценивался в достаточном количестве исследований ($n > 10$) среди показателей, имеющих высокую гетерогенность (рис. 5). В качестве ковариаты рассматривалась дозировка кофеина. Результаты метарегрессионного анализа не показали зависимости величины эффекта от дозировки, потребляемой спортсменами ($\beta = 0,104$, 95% ДИ: $-0,139$; $0,348$), и, по-видимому, не объясняют высокую гетерогенность ($R^2 = 0\%$, $\tau^2 = 0,439$, $p = 0,407$).

В таблице 3 представлены результаты метаанализа влияния кофеина на физиологические параметры и параметры нагрузочных тестов.

Исследования показали отсутствие различий между кофеином и плацебо в тестах: Вингейтский анаэробный тест, пиковая частота сердечных сокращений, жим лежа (максимальная мощность), жим лежа, CMJ, JGST, SJFT (общее кол-во бросков), SJFT 2 тест и SJFT 3 тест. Из этих тестов всего в двух параметрах был обнаружен высокий уровень гетерогенности — SJFT 3 тест, $ВАНТ_{30}$ (пиковая мощность). Был проведен анализ чувствительности путем поочередного исключения исследований из метаанализа, в результате чего уровень гетерогенности в $ВАНТ_{30}$ (пиковая мощность) снизился до 0%, однако на направленность эффекта это не повлияло и различия

Таблица 2

Описание исследований, вошедших в систематический обзор

Table 2

Description of studies included in the systematic review

Ссылка	Популяция	Дизайн	Анализируемые параметры	Результаты
Aedma и соавт., 2013 [19]	Джиу-джитсу $n = 14$ ($25,3 \pm 4,9$ года)	5 мг/кг MT CAF или PLA за 30 минут до четырех 6-минутных спринтерских тестов для верхних конечностей	Анаэробная мощность, La, RPE, RPF, ЧСС	\uparrow ЧСС, \uparrow La между тестами после приема CAF. Можно предположить, что CAF может препятствовать восстановлению
Santos и соавт., 2014 [25]	Тхэквондо $n = 10$ ($24,9 \pm 7,3$ года)	5 мг/кг MT CAF или PLA за 50 минут до двух боев (с интервалом в 20 минут)	Тест на скорость реакции, La, RPE, ЧСС	CAF \downarrow время реакции и замедлял наступление утомления
Lopes-Silva и соавт., 2015 [26]	Тхэквондо $n = 10$ (21 ± 4 года)	3 мг/кг MT CAF или PLA за 60 мин до симуляции боя	La, RPE до и после каждого раунда. ЧСС, W_{AER} , W_{PCR} , $W_{[La]}$ во время боя	CAF \uparrow предполагаемый гликолитический вклад, не наблюдалось изменений в работоспособности, RPE или парасимпатической реактивации
Felippe и соавт., 2015 [30]	Дзюдо $n = 10$ (23 ± 5 года)	PLA, $NaHCO_3$ (в 3 дозах с интервалом в 30 минут; 0,1 г/кг MT за 120, 90 и 60 минут до теста), CAF (6 мг/кг MT; за 60 минут до теста) и $NaHCO_3$ + CAF	3 SJFT с перерывами в 5 минут. Концентрация La измерялась до и через 1 минуту и 5 минут после каждого SJFT. RPE оценивался после каждого SJFT	$NaHCO_3$ + CAF \uparrow работоспособность в SJFT по сравнению с PLA. Протоколы CAF или $NaHCO_3$ не были статистически значимыми и/или имели меньший размер эффекта
Diaz-Lara и соавт., 2016 [20]	Джиу-джитсу $n = 14$ ($29,2 \pm 3,3$ года)	3 мг/кг MT CAF или PLA за 60 минут до тестов	Динамометрия, CMJ, тест MSL, жим лежа на 1ПМ и повторения до отказа	CAF \uparrow показатель динамометрии, CMJ, время, зафиксированное в тесте MSL на 1ПМ, максимальную мощность, полученную во время теста на силовую нагрузку и среднюю мощность во время жима лежа до отказа
Diaz-Lara и соавт., 2016 [21]	Джиу-джитсу. $n = 14$ ($29,2 \pm 3,3$ года)	3 мг/кг MT CAF или PLA за 60 минут до 2 смоделированных боев	Динамометрия, CMJ, тест MSL, пиковая мощность в упражнении на жим лежа и La, измерялись: перед первым боем и сразу после первого и второго боев	CAF \uparrow время наступательных действий в обоих боях, а также \uparrow La, \uparrow работоспособность во всех тестах, проведенных перед первым боем, некоторые улучшения сохранились после первого боя (например, тест MSL и упражнение на жим лежа). После второго боя значения во всех тестах были схожи между CAF и PLA
Cortez и соавт., 2016 [27]	Тхэквондо $n = 16$ ($22,8 \pm 4,7$ года)	5 мг/кг MT CAF или PLA	Время реакции и мышечную активность измеряли за 60 минут до приема CAF или PLA, через 60 минут после приема и после утомляющего стимула. Поверхностная ЭМГ мышц во время выполнения удара ногой («Долио чаги»)	Прием CAF \downarrow время реакции прямой мышцы бедра на 29 % и всего на 5,5 % после утомляющего стимула. Снижения времени реакции в других мышцах обнаружено не было. Изменений амплитуды ЭМГ не наблюдалось ни в одном из условий
Athayde и соавт., 2018 [31]	Дзюдо $n = 14$ ($22,5 \pm 5$ года)	5 мг/кг MT CAF или PLA за 60 минут до тестов	CMJ, динамометрия, JGST, образцы крови. Затем спортсмены были представлены для трех 5-минутных матчей с 15-минутными интервалами	CAF \uparrow предполагаемый гликолитический вклад в течение матчей; CAF не вызвал улучшения нервно-мышечных показателей или количества атак
Coswig и соавт., 2018 [36]	Бокс $n = 10$ ($25,9 \pm 5,2$ года)	6 мг/кг MT CAF или PLA за 30 минут до симуляции боя	ЧСС и RPE до и после каждого из трех 2-минутных раундов, перемежаемых 1-минутным восстановлением	CAF \uparrow продолжительность высокоинтенсивных действий

Таблица 2. Продолжение

Table 2. Continuation

Ссылка	Популяция	Дизайн	Анализируемые параметры	Результаты
San Juan и соавт., 2019 [37]	Бокс $n = 8$ ($22 \pm 1,7$ года)	Участники получали 6 мг/кг МТ CAF или PLA за 60 минут до тестирования	La, динамометрия, CMJ, ВАНТ ₃₀ . Во время сеансов регистрировались данные ЭМГ большой ягодичной мышцы, двуглавой мышцы бедра, латеральной широкой мышцы бедра, латеральной головки икроножной мышцы и передней большеберцовой мышцы	CAF ↑ анаэробную работоспособность, не влияя на активность ЭМГ и уровень утомляемости в нижних конечностях. Было отмечено ↑ нервно-мышечной эффективности некоторых мышц и ↑ скорости реакции
Negaresh и соавт., 2019 [38]	Вольная борьба $n = 10$ (24 ± 3 года)	PLA, CAF (10 мг/кг МТ), CAF (4 мг/кг МТ), повторная доза CAF (2 мг/кг МТ перед каждым поединком до общей дозы 10 мг/кг МТ) или выборочного приема CAF на основе ранее измеренного снижения работоспособности	Имитируемый турнир (5 поединков по борьбе, состоящих из 2 раундов по 3 минуты), PWPT проводился 6 раз в каждом экспериментальном испытании. ЧСС, показатели RPE и La измерялись во время базового измерения и непосредственно перед и после каждого матча	CAF ~6 мг/кг МТ, многократно вводимый в низких дозах (~2 мг/кг МТ) обеспечил наибольшую пользу для работоспособности
Durkalec-Michalski и соавт., 2019 [32]	Дзюдо $n = 22$ ($21,7 \pm 3,7$ года)	PLA и три протокола CAF (3, 6 или 9 мг/кг МТ) за 60 минут до теста	SJFT, RPE и ЧСС	CAF 6 и 9 мг/кг МТ ↑ SJFT, в то время как 9 мг/кг МТ ↑ боевую активность. 3 мг/кг МТ не показали никакого положительного эргогенного эффекта
Rezaei и соавт., 2019 [40]	Карате $n = 10$ ($20,5 \pm 2,4$ года)	PLA, CON, CAF (6 мг/кг МТ), NaHCO ₃ (0,3 г/кг МТ) и CAF + NaHCO ₃ . CAF, потреблялся за 50 мин до KSAT, в то время как NaHCO ₃ потреблялся в течение 3 дней до и за 120, 90 и 60 мин до KSAT	KSAT, TTE, RPE и La измерялись до, сразу после и через 3 минуты после KSAT	↑ TTE после потребления CAF, NaHCO ₃ и CAF + NaHCO ₃ по сравнению с PLA и CON. Однако различия между CAF, NaHCO ₃ и CAF + NaHCO ₃ не были статистически значимыми
de Azevedo и соавт., 2019 [41]	ММА $n = 11$ ($27,6 \pm 4,3$ года)	5 мг/кг МТ CAF или PLA за 60 минут до трех подходов ударов рукой	RTIPE и RTIME оценивались до начала протокола, а после него фиксировалась RPE	CAF не привел к увеличению частоты ударов, средней и максимальной силы удара, RTIPE, RTIME и RPE
da Silva и соавт., 2019 [33]	Дзюдо $n = 12$ ($23,1 \pm 4,2$ года)	5 мг/кг МТ CAF или PLA за 60 минут до симулированных боев (три 5-минутных боя, разделенных 15 минутами пассивного отдыха)	Сразу после каждого боя оценивался RPE, за минуту до начала второго и третьего боев — RPR. Анализировались технические навыки	CAF не вызвал изменений в технических показателях (количество атак, эффективность и результативность) или в их RPE или RPR
Fernández и соавт., 2021 [22]	Джиу-джитсу $n = 8$ ($21,5 \pm 3,7$ года)	5 мг/кг МТ CAF или PLA за 60 минут до CMJ	CMJ на одной и двух ногах	CAF ↑ высоту прыжка на двух ногах, время полета, время полета: время сокращения, концентрический импульс, пиковую мощность, модифицированную RSI и эксцентрическую среднюю силу торможения
Carmo и соавт., 2021 [34]	Дзюдо $n = 8$ ($21,4 \pm 2$ года)	5 мг/кг МТ CAF или PLA за 60 минут до и после каждой тренировки (дзюдо)	Сила верхних и нижних конечностей, SJFT, СЖК, мочевая кислота, La, глюкоза, ЧСС, индекс утомления	CAF оказал эргогенный биохимический эффект и ↑ работоспособности

Таблица 2. Продолжение

Table 2. Continuation

Ссылка	Популяция	Дизайн	Анализируемые параметры	Результаты
Lopes-Silva и соавт., 2022 [23]	Джиу-джитсу $n = 8$ Дзюдо $n = 2$ (25,2 ± 5,3 года)	5 мг/кг МТ CAF или PLA за 60 минут до JGST	Четыре серии JGST с 3-минутными интервалами восстановления	CAF значительно ↑ общее количество повторений и максимальную изометрическую силу хвата руками. ↑ RPE, ЧСС и La линейно на протяжении всего теста
Krawczyk и соавт., 2022 [35]	Дзюдо $n = 6$ (24,1 ± 4,7 года)	PLA, CAF (3 и 6 мг/кг МТ) за 60 минут до тестов	Жим лежа с 50 % от 1ПМ, включая три подхода по три повторения; упражнение на тягу лежа с 50 % от 1ПМ, включая три подхода по три повторения; CMJ; динамометрия; JGST	CAF 3 мг/кг МТ и 6 мг/кг МТ ↑ пиковую скорость штанги в упражнении жим лежа и среднюю скорость штанги в упражнении тяга лежа. CAF 6 мг/кг МТ ↑ среднюю скорость штанги в упражнении жим лежа. Как CAF 3 мг/кг МТ и 6 мг/кг МТ ↑ количество повторений в JGST
Merino-Fernández и соавт., 2022 [24]	Джиу-джитсу $n = 11$ (22 ± 4 года)	3 мг/кг МТ CAF или PLA за 60 минут до тестов	SJFT и симуляции боя	CAF ↑ работоспособность в тесте SJFT, ↓ восприятие усталости, ↑ силу и выносливость. CAF не улучшал атакующие и оборонительные технические действия во время симуляции боя
Ouergui и соавт., 2022 [28]	Тхэквондо $n = 10$ (17,5 ± 0,7 года)	3 мг/кг МТ CAF или PLA с плиометрической активностью и без нее за 60 минут до тестов	TSAT, FSKT (10 с), FSKT (многократный). MPSS, SVS и FS анализировались до и после для всех условий	CAF и плиометрическая активность ↑ работоспособность, по сравнению с раздельным использованием
Ouergui и соавт., 2023 [29]	Тхэквондо $n = 16$ (элитные 18,2 ± 0,8 года; субэлитные 17,7 ± 0,8 года)	PLA, CON, CAF (3 мг кг/МТ) за 60 минут до тестов	TSAT, FSKT (10 с), FSKT (многократный)	CAF в большей мере ↑ работоспособность у элитных мужчин по сравнению с субэлитными мужчинами для FSKT
Рыбакова и соавт., 2024 [39]	Вольная борьба $n = 5$ (21,4 ± 2,4 года)	PLA, CAF (1,5, 3 или 6 мг/кг МТ) за 60 минут до ВАНТ ₃₀	ВАНТ ₃₀ на ручном эргометре	CAF не улучшали скоростно-силовые показатели работоспособности и восстановления после приема различных дозировок
Saremi и соавт., 2024 [42]	Кикбоксинг $n = 12$ (24 ± 2 года)	PLA, CAF (3 или 6 мг/кг МТ) за 60 минут до тестов	ВАНТ ₃₀ , [*] аэробный тест Брюса, вертикальный прыжок. RPE, МПК, потребление кислорода на пороге вентиляции и болезненность мышц	CAF 3 и 6 г/кг МТ ↑ анаэробную мощность и силу нижних конечностей, ↓ болезненность мышц и время до наступления истощения

Примечание: 1 ПМ — один повторный максимум, ВАНТ₃₀ — Вингейтский анаэробный тест, 30 с, МТ — масса тела, МПК — максимальное потребление кислорода, СЖК — свободные жирные кислоты, ЧСС — частота сердечных сокращений, ЭМГ — электромиограмма, CAF (caffeine) — БАД кофеина, CON (control) — контроль, CMJ (countermovement jump) — прыжок с контрдвижением, FS (feeling scale) — шкала самочувствия, FSKT (frequency speed of kick test) — тест на частоту и скорость удара ногой, JGST (judo grip strength test) — тест на силу хвата специфический для дзюдо, KSAT (karate specific aerobic test) — специфический аэробный тест по каратэ, La (lactate) — концентрация лактата крови, MPSS (mood and physical symptoms scale) — шкалы настроения/физических симптомов, MSL (maximal static lift) — максимальный статический подъем, PLA (placebo) — плацебо, PWPT (Pittsburgh wrestling performance test) — Питтсбургский тест на эффективность борьбы, RPF (rating of perceived fatigue) — рейтинг воспринимаемой усталости, RTIME (readiness to invest in mental effort) — готовность к умственным нагрузкам, RPE (rating of perceived exertion) — уровень воспринимаемой нагрузки, RPR (rating of perceived recovery) — оценка воспринимаемого восстановления, RTIPE (readiness to invest in physical effort) — готовность к физическим нагрузкам, SVS (subjective vitality scale) — субъективная шкала жизнеспособности, SJFT (special judo fitness test) — специальный дзюдо-тест, TSAT (taekwondo-specific agility test) — тхэквондо-тест на ловкость, TTE (time to exhaustion) — время до истощения, W_{AER} (estimated contribution of the oxidative system) — предполагаемый вклад окислительной системы, W_{PCR} (estimated contribution of the PCr system) — предполагаемый вклад АТФ-ФКр системы, W_[La-] (estimated contribution of the glycolytic system) — предполагаемый вклад гликолитической системы.

Таблица 2. Продолжение

Table 2. Continuation

Note: CAF — caffeine, CON — control, CMJ — countermovement jump, FS — feeling scale, FSKT — frequency speed of kick test, JGST — judo grip strength test, KSAT — karate specific aerobic test, La — lactate, MPSS — mood and physical symptoms scale, MSL — maximal static lift, PLA — placebo, PWPT — Pittsburgh wrestling performance test, RPF — (rating of perceived fatigue, RTIME — readiness to invest in mental effort, RPE — rating of perceived exertion, RPR — rating of perceived recovery), RTIPE — readiness to invest in physical effort, SVS — subjective vitality scale, SJFT — special judo fitness test, TSAT — taekwondo-specific agility test, TTE — time to exhaustion, W_{AER} — estimated contribution of the oxidative system, W_{PCR} — estimated contribution of the PCr system, $W_{[La]}$ — estimated contribution of the glycolytic system, 1RM — one repetition maximum, WAnT30 — Wingate anaerobic test, 30 sec, BM — body mass, VO2 max — maximum oxygen consumption, FFA — free fatty acids, HR — heart rate, EMG — electromyogram.

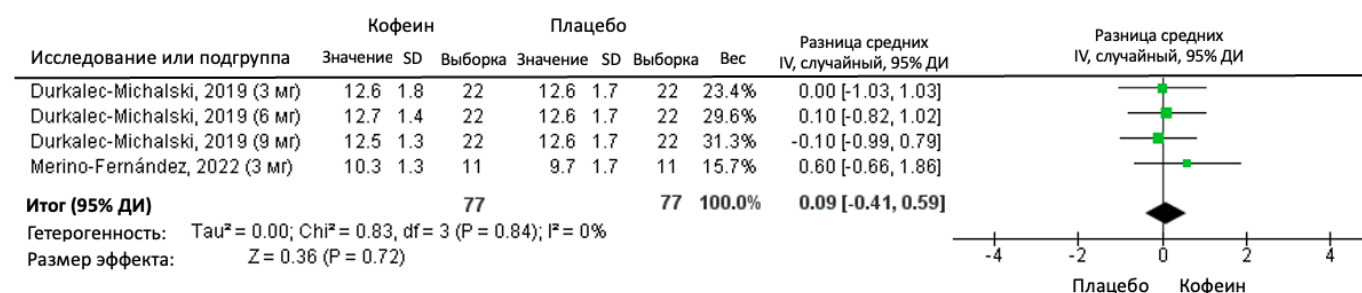


Рис. 3. Лесная диаграмма для влияния потребления кофеина на SJFT (индекс, %)

Fig. 3. Forest diagram for the effect of caffeine intake on SJFT (index, %)

между плацебо и кофеином по-прежнему отсутствуют. Анализ чувствительности в SJFT 3 тест снизил гетерогенность и направление эффекта. При удалении исследования Merino-Fernandez и соавт. [24] направление эффекта было более выражено и появились статистически значимые различия (0,43, 95%ДИ [0,06; 0,81]), что говорит о положительном влиянии кофеина на данный параметр в сравнении с плацебо.

В тестах на пиковые значения лактата, SJFT 1 тест, тесте на частоту и скорость удара ногой (в течение 10 с) (frequency speed of kick test, 10 s (FSKT-10s)), тесте на частоту и скорость удара ногой (несколько наборов ударов, с несколькими интервалами отдыха) (frequency speed of kick test, multi (FSKT-multi)) и тхэквондо-тесте на ловкость (taekwondo-specific agility test (TSAT)) наблюдался положительный эффект кофеина в сравнении с плацебо. Всего в одном тесте (FSKT-10s) был высокий уровень гетерогенности (93 %, однако после удаления исследования гетерогенность была снижена до 8 %, при этом направленность эффекта не была изменена, что говорит об отсутствии влияния гетерогенности на исход анализа.

5. Обсуждение результатов

CMJ

Метаанализ не показал значимого эффекта кофеина в улучшении CMJ (высота прыжка и пиковая мощность) [20, 31, 34, 37], однако в ряде исследований авторы отмечали увеличение высоты прыжка у представителей джиу-джитсу [20–22] и бокса [37]. Иные результаты

были отмечены в работах, проведенных с участием дзюдоистов [31, 34, 35]. Полученные результаты можно объяснить индивидуальными биомеханическими и физиологическими особенностями среди представителей различных видов спорта (в частности, в использовании цикла растяжения — сокращения во время прыжка), а также в особенностях проявления эргогенного эффекта кофеина в более продолжительных упражнениях [43].

Показатели силы и мощности

Метаанализ не показал значимого эффекта кофеина на силовую выносливость верхних конечностей в тесте JGST [23, 31]. Силовые характеристики, оцененные с помощью кистевой динамометрии, улучшились при приеме кофеина у представителей джиу-джитсу [20, 21], но не у боксеров [37] и дзюдоистов [35]. У представителей джиу-джитсу результаты в упражнении жим лежа улучшились при приеме кофеина при выполнении 1 ПМ и в упражнении до отказа, а также в тесте на максимальный статический подъем [20, 21]. Однако результаты метаанализа не продемонстрировали значимого эффекта кофеина в увеличении пиковой мощности в упражнении жим лежа [20, 21]. Среди дзюдоистов не было отмечено улучшения в показателях силы и мощности верхних конечностей [34]. В метаанализе Warren и соавт. [44] было выдвинуто предположение, что некоторые мышцы верхних конечностей имеют ограниченную способность к усиленному рекрутированию двигательных единиц при употреблении кофеина. Различия в воздействии кофеина на верхнюю и нижнюю части тела были также

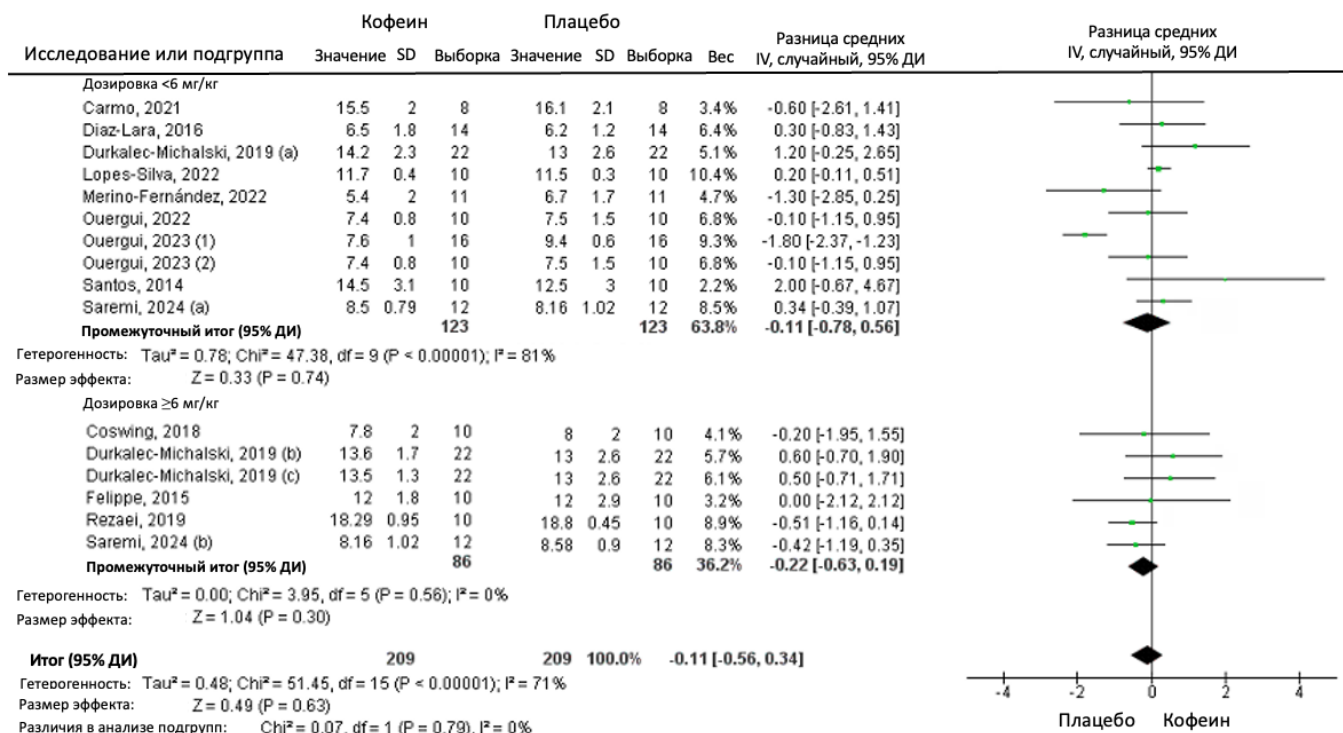


Рис. 4.1. Лесная диаграмма для влияния потребления кофеина на RPE
Fig. 4.1. Forest diagram for the effect of caffeine intake on RPE

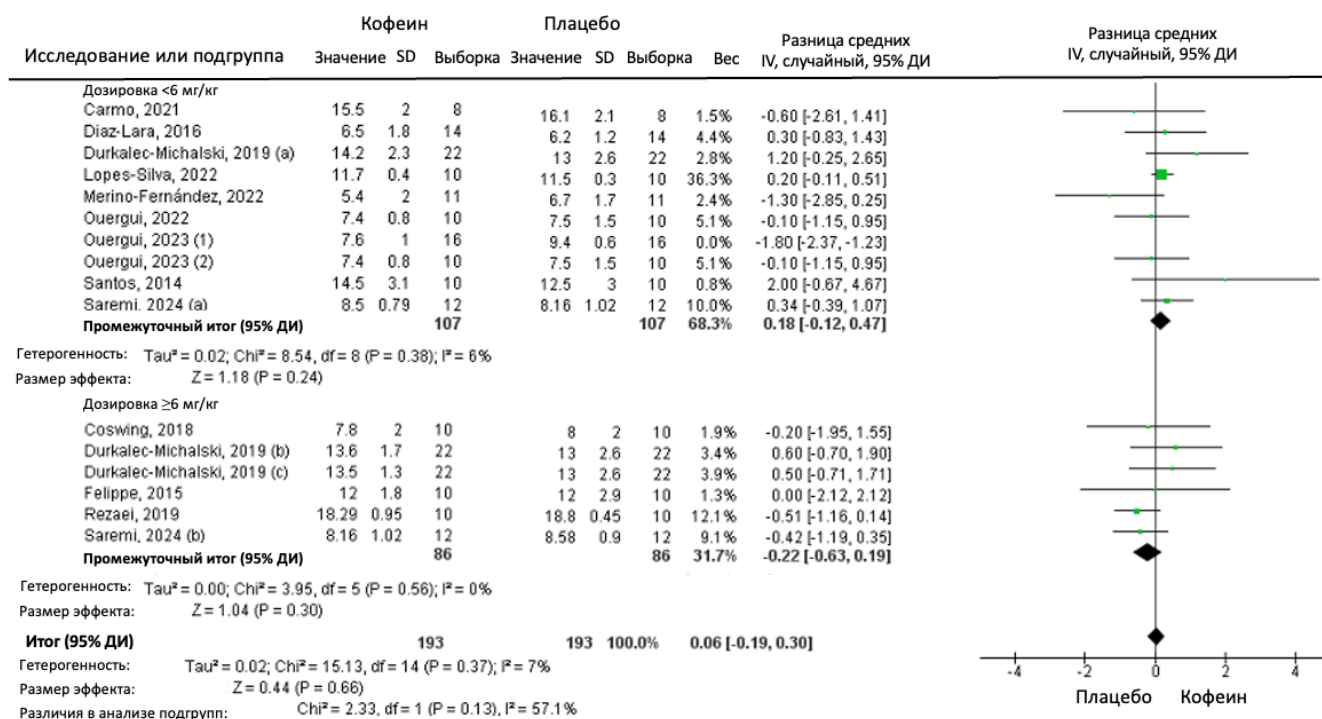


Рис. 4.2. Лесная диаграмма для влияния потребления кофеина на RPE
Fig. 4.2. Forest diagram for the effect of caffeine intake on RPE

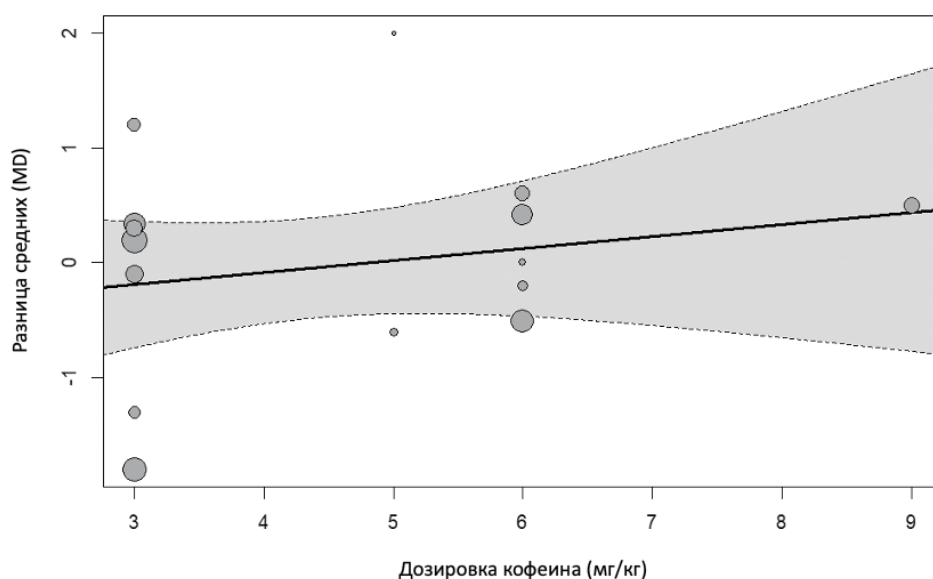


Рис. 5. Метарегрессия выполнена с дозировкой кофеина в качестве ковариаты

Fig. 5. Meta-regression performed with caffeine dosage as a covariate

Таблица 3

Общие результаты анализа

Table 3

General results of analysing

Параметр	Включенные исследования	Суммарная выборка (ЭГ/КГ)	MD	95 % ДИ	<i>p</i>	<i>R</i> ² (до/после анализа чувствительности)
ВАНТ ₃₀ , пиковая мощность	[37, 42]	32/32	0,07	[-0,92; 1,05]	0,89	68/0 %
ВАНТ ₃₀ , минимальная мощность	[37, 42]	32/32	0,22	[-0,10; 0,54]	0,18	0 %
ВАНТ ₃₀ , средняя мощность	[37, 42]	32/32	-0,27	[-0,69; 0,16]	0,22	13 %
Лактат, пик	[21, 25, 31]	38/38	2,12	[0,83; 3,41]	0,001*	0 %
ЧСС, пик	[23, 25, 34]	28/28	2,34	[-4,84; 9,52]	0,52	0 %
Жим лежа, максимальная мощность	[20, 21]	28/28	0,08	[-0,20; 0,37]	0,57	0 %
Жим лежа, пиковая скорость	[20, 21]	28/28	0,45	[-0,08; 0,98]	0,1	0 %
СМЖ, пиковая мощность	[31, 37]	22/22	0,66	[-2,22; 3,55]	0,65	0 %
СМЖ, высота	[21, 31, 34, 37]	44/44	0,96	[-0,64; 2,55]	0,24	0 %
JGST	[23, 31]	22/22	0,2	[-0,39; 0,80]	0,5	0 %
FSKT-10s	[28, 29]	36/36	2,29	[1,68; 2,89]	< 0,00001*	93/8 %
FSKT-multi	[28, 29]	36/36	4,95	[3,88; 6,01]	< 0,00001*	0 %
TSAT	[28, 29]	36/36	-0,33	[-0,46; -0,21]	< 0,00001*	32 %
SJFT, общее кол-во бросков	[24, 30, 34]	29/29	1,06	[-0,81; 2,92]	0,27	0 %
SJFT 1 тест	[22, 30, 32]	87/87	0,29	[0,09; 0,48]	0,004*	36 %
SJFT 2 тест	[22, 30, 32]	87/87	0,12	[-0,17; 0,41]	0,43	5 %
SJFT 3 тест	[22, 30, 32]	87/87	0,33	[-0,03; 0,69]	0,08 [#]	55/37 %

Примечание: ВАНТ₃₀ — Вингейтский анаэробный тест 30 секунд, КГ — контрольная группа, ЧСС — частота сердечных сокращений, ЭГ — экспериментальная группа, СМЖ (countermovement jump) — прыжок с контрдвижением, FSKT (frequency speed of kick test) — тест на частоту и скорость удара ногой, JGST (judo grip strength test) — тест на силу хвата, специфический для дзюдо, SJFT (special judo fitness test) — специальный дзюдо-тест, TSAT (taekwondo-specific agility test) — тхэквондо-тест на ловкость, * — статистически значимый эффект, [#] — появление эффекта после анализа чувствительности.

Note: WАНТ30 — Wingate anaerobic test 30 seconds, CG — control group, HR — heart rate, EG — experimental group, * — statistically significant effect, [#] — appearance of effect after sensitivity analysis.

отмечены в нескольких РКИ. Black и соавт. [45] сообщили об увеличении (6,3 %) максимальной силы в нижней (разгибатели колена), но не в верхней части тела (сгибатели локтя) при оценке через 60 минут после приема дозы кофеина 5 мг/кг МТ. В другом РКИ при приеме кофеина было отмечено улучшение изокинетического пикового крутящего момента (%), который увеличивался с размером мышечной группы [46]. Размер группы мышц может объяснять «эффект расположения группы мышц», поскольку группы мышц нижней части тела обычно больше, чем мышцы верхней части тела. Способность кофеина как антагониста аденозина усиливать максимальную активацию через стимуляцию центральной нервной системы и тем самым улучшать максимальное производство силы может увеличиваться с размером мышечной группы. Необходимы дальнейшие исследования для оценки возможных различий в силе верхней и нижней частей тела после приема кофеина.

SJFT

Данный тест является надежным при оценке специфической работоспособности у дзюдоистов (в т.ч. применим для спортсменов разного возраста, расы и квалификации) [47]. Метаанализ показал отсутствие различий между плацебо и кофеином по параметру индекса SJFT, общего количества бросков и второму подходу. Напротив, результаты метаанализа указывают на положительное влияние кофеина на количество бросков в первом и третьем подходе SJFT. Наши результаты противоречат более раннему метаанализу Delleli и соавт. [4]. Различия можно объяснить тем, что в этот, более ранний метаанализ были включены исследования, в которых принимали участие как мужчины, так и женщины, экспериментальным вмешательством выступала БАД кофеина в виде жевательной резинки и т.д. При анализе отдельных вошедших в систематический обзор исследований в ответ на прием кофеина увеличивалось: общее количество бросков [24, 30]; общее количество бросков и количество бросков в первом и третьем раунде (причем в первом раунде прием кофеина в дозе 9 мг/кг МТ демонстрировал наибольший эффект) [32]; снижение индекса SJFT и увеличение общего количества бросков [34]. Улучшение показателей в SJFT может быть связано с основным механизмом действия кофеина — блокирования аденозиновых рецепторов [48].

RPE

При анализе данного параметра наблюдалась высокая гетерогенность, после проведения анализа чувствительности не наблюдалось статистически значимых различий, что можно объяснить как различиями в популяции испытуемых (различные виды спорта, дисциплины и уровень подготовленности), так и в протоколах нагрузочного тестирования. Не наблюдалось различий как при низких (< 6 мг/кг МТ), так и при более высоких дозировках. Метарегрессионный анализ

не продемонстрировал зависимость величины эффекта от дозировки кофеина. Результаты согласуются с более ранними работами [4, 49].

Отсутствие различий при приеме плацебо и различных дозировок кофеина (1,5–10 мг/кг/МТ) может быть обусловлено фармакологическими аспектами эффективности изучаемого ксенобиотика [50].

Duncan и соавт. [51] предположили, что короткая продолжительность выполнения конкретного упражнения (например, жима лежа) может быть недостаточной для того, чтобы вызвать воспринимаемую разницу в усилиях между потребляемыми БАД. Также было выдвинуто предположение, что шкалы RPE могут неадекватно отражать действительные перцептивные реакции во время высокоинтенсивных упражнений [52].

TSAT, FSKT-10s, FSKT-multi

Метаанализ продемонстрировал улучшение показателей в TSAT, FSKT-10s и FSKT-multi [28, 29] при приеме кофеина. Данные тесты являются надежными в определении специфической работоспособности тхэквондистов [53, 54] и требуют от спортсменов высокого проявления взрывной силы. Предположительно, кофеин изменяет механизмы активации двигательных единиц и активность насоса натрий/калиевой АТФазы [55], за счет чего могут улучшаться показатели силы и скорости.

Скоростно-силовые показатели

Метаанализ продемонстрировал отсутствие различий между кофеином и плацебо в ВАНТ₃₀ [37, 42], а также в жиме лежа (пиковая скорость) [20, 21]. Однако в результатах РКИ наблюдалось увеличение пиковой и средней мощности и снижение времени достижения пиковой мощности [37], относительной пиковой мощности в ВАНТ₃₀ [42] и увеличение пиковой скорости в жиме лежа [21]. В РКИ, где среди борцов вольного стиля был проведен ВАНТ₃₀ на ручном эргометре, не было обнаружено улучшения работоспособности при приеме различных дозировок кофеина [39]. Наши результаты не согласуются с метаанализом Grgic и соавт. [56], однако мы включили в количественный анализ лишь два РКИ на различных популяциях единоборцев. Требуются дополнительные исследования в разных видах единоборств, поскольку скоростно-силовые параметры играют решающую роль в результативности единоборцев.

Физиологические реакции

Метаанализ продемонстрировал отсутствие различий между кофеином и плацебо в пиковых значениях ЧСС [23, 25, 34]. Было выявлено статистически значимое увеличение пиковых значений лактата крови после симулированных боев [21, 25, 31], эти результаты согласуются с метаанализом Delleli и соавт. [4], где авторы предположили, что из-за влияния кофеина на интенсивность двигательных боевых действий более

высокая концентрация лактата является результатом повышенного гликолитического анаэробного метаболизма. При оценке других физиологических эффектов кофеина на переменные работоспособности спортсменов-единоборцев нам не удалось провести метаанализ из-за малого количества исследований и разнонаправленности протоколов нагрузки. Среди тхэквондистов прием кофеина увеличил предполагаемый гликолитический вклад во время симуляции боя тхэквондо [26], что может быть обусловлено влиянием действия кофеина на периферические аденозиновые рецепторы, а также высвобождением катехоламинов, ускоряющих мышечный гликогенолиз [26]. Дзюдоисты, принимавшие кофеин, показали более высокую концентрацию свободных жирных кислот (СЖК) в плазме после тренировки, в то время как в условиях плацебо наблюдалось сопутствующее увеличение выработки мочевой кислоты в сыворотке [34], можно предположить, что это увеличение доступности СЖК позволяет экономить запасы гликогена [57]. У кикбоксеров после приема кофеина не отмечалось изменений в уровне МПК; но увеличилось время до истощения (time to exhaustion (TTE)) [42], как и у каратистов [40], что также можно объяснить увеличением доступности СЖК и адреналина в плазме. В литературе давно обсуждается механизм, посредством которого кофеин снижает утомляемость, и приписывается его влияние на метаболизм субстрата (например, жиров). Метаанализ Conger и соавт. показал, что кофеин способен увеличивать параметры работоспособности за счет увеличения доступности СЖК [58]. Однако в исследованиях использовались методы оценки СЖК плазмы, глицерина плазмы, триглицеридов и метод непрямой калориметрии. Данные методы не могут точно отразить окисления жиров в рабочих мышцах. Graham и соавт. оценили метаболизм жиров после приема кофеина с помощью игольчатой биопсии [59] и в результате не наблюдали усиления окисления жиров в активной мышце. Таким образом, к предположению об усилении окисления жиров вследствие приема кофеина следует относиться с осторожностью.

Специфические двигательные действия

Ввиду разнонаправленности протоколов нагрузки и видов спорта нам не удалось провести метаанализ, чтобы оценить влияние кофеина на некоторые специфические различным видам единоборств двигательные действия. У тхэквондистов кофеин сокращал время реакции и улучшал интенсивность двигательных действий [25, 27]. У боксеров кофеин вызывал увеличение продолжительности высокоинтенсивных действий во время симулированных боев [36]. У представителей вольной борьбы во время моделируемых боев селективная доза кофеина и дробная дозировка увеличивали работоспособность в Питтсбургском тесте по вольной борьбе [38]. У представителей ММА прием кофеина не привел к увеличению частоты ударов, средней и максимальной силы

удара [41], также у дзюдоистов кофеин не вызвал изменений в технических показателях [33]. Удары представляют собой ациклические задачи, зависящие от стратегий противника, что усложняет выявление эргогенных эффектов кофеина.

Безопасность

В 21 включенном в обзор исследовании экспериментальная дозировка кофеина не превышала 6 мг/кг МТ [15, 19–22, 24–31, 33–37, 39–42]. В ряде исследований встречались большие дозировки: оценка «доза-эффект» 2, 4 и 10 мг/кг МТ [38], оценка «доза-эффект» 3, 6 и 9 мг/кг МТ [32]. Лишь в пяти включенных в обзор исследованиях оценивались побочные эффекты после приема кофеина (таблица 4).

Европейское агентство по безопасности продуктов питания (European food safety authority (EFSA)) не рекомендует потреблять кофеин в дозировках более чем 200 мг/день (около 3 мг/кг МТ) [1]. Показатели желудочно-кишечного дискомфорта были значительно выше при дозе кофеина 10 мг/кг МТ и повторной дозе кофеина по сравнению с 3 и 6 мг/кг МТ [38]. Так как при приеме кофеина могут наблюдаться побочные эффекты (в т.ч. нарушение сна) [60], при проведении исследований, а также при использовании кофеина на практике должны применяться анкеты, опросы, шкалы (например, шкалы тревожности), оценка ЧСС, артериального давления и другие субъективные и физиологические параметры с целью выявления неблагоприятных побочных эффектов.

6. Выводы

Спортивные единоборства — комплекс сложных видов спорта, в которых переменные, исследованные в этом систематическом обзоре, представляют собой лишь небольшую часть факторов, необходимых для успеха.

Проведенный метаанализ свидетельствует о том, что потребление кофеина не оказывает существенного воздействия на повышение общих физических показателей, таких как сила, скорость и мощность в изолированных упражнениях, а также на показатели, связанные с нагрузкой и сердечной деятельностью. Тем не менее возможно положительное влияние кофеина на отдельные специфические показатели, например на количество повторений в определенных тестах и концентрацию лактата после интенсивных физических нагрузок. Хотя кофеин может иметь некоторые преимущества, важно учитывать, что высокие дозы (более 10 мг/кг массы тела) могут вызывать негативные побочные эффекты. Это подчеркивает необходимость осторожного подхода к использованию кофеина в спортивной практике. Небольшое количество исследований, включенных в обзор, указывает на то, что выводы следует интерпретировать с осторожностью. Для более глубокого понимания эффектов

Таблица 4

Резюме оценки побочных эффектов после приема экспериментальных дозировок кофеина

Table 4

Summary of adverse event assessment following experimental doses of caffeine

Ссылка	Дозировка	Методы оценки	Результаты
Santos и соавт., 2014 [25]	5 мг/кг МТ	ЭКГ, опрос	Не выявлено никаких существенных побочных эффектов
Felippe и соавт., 2015 [30]	6 мг/кг МТ	Анкета, 19 вопросов	Не выявлено никаких существенных побочных эффектов
Diaz-Lara и соавт., 2016 [20]	3 мг/кг МТ	Анкета, 10 вопросов. Опрос	Не выявлено никаких существенных побочных эффектов
Negaresh и соавт., 2019 [38]	2, 4, 10 мг/кг МТ	Оценка объема мочи и индекса обезвоживания, анкета	Индекс обезвоживания был выше при приеме высокой дозы кофеина (10 мг/кг МТ) по сравнению со всеми другими состояниями. Показатели желудочно-кишечных жалоб и желудочно-кишечного дискомфорта были значительно выше при высокой дозе кофеина (10 мг/кг МТ) и повторной дозе кофеина по сравнению со всеми экспериментальными вмешательствами
Krawczyk и соавт., 2022 [35]	3, 6 мг/кг МТ	Анкета	Больше участников указали на субъективное ощущение увеличения энергии после приема 6 мг/кг МТ кофеина, чем с плацебо, но не между 3 мг/кг МТ против 6 мг/кг МТ и 3 мг/кг МТ против плацебо

Примечание: МТ — масса тела, ЭКГ — электрокардиограмма.

Note: BM — body mass, ECG — electrocardiogram.

кофеина в контексте различных видов спортивных единоборств необходимо проводить дополнительные рандомизированные плацебо-контролируемые

исследования. Это поможет разработать более точные рекомендации по использованию кофеина для спортсменов, занимающихся единоборствами.

Вклад авторов:

Рыбакова Полина Денисовна — разработка концепции, анализ литературных источников, написание текста статьи, научное редактирование.

Мештель Александр Виталиевич — анализ литературных источников и статистическая обработка данных.

Мирошников Александр Борисович — редактирование рукописи, экспертная оценка.

Антонов Алексей Геннадьевич — анализ литературных источников, редактирование рукописи.

Выборнов Василий Дмитриевич — редактирование рукописи, экспертная оценка.

Authors' contributions:

Polina D. Rybakova — concept development, analysis of literary sources, writing the text of the article, scientific editing.

Alexander V. Meshtel — analysis of literary sources and statistical processing of data.

Alexander B. Miroshnikov — manuscript editing, expert evaluation.

Alexey G. Antonov — analysis of literary sources, manuscript editing.

Vasily D. Vybornov — manuscript editing, expert evaluation.

Список литературы / References

1. EFSA explains risk assessment: Caffeine. EFSA [internet]; 2015. Режим доступа: <https://www.efsa.europa.eu/en/corporate/pub/efsaexplainscaffeine150527> (дата доступа 03.01.2024).
2. Grgic J., Grgic I., Pickering C., Schoenfeld B.J., Bishop D.J., Pedisic Z. Wake up and smell the coffee: caffeine supplementation and exercise performance—an umbrella review of 21 published meta-analyses. *Br. J. Sports Med.* 2020;54(11):681–688. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100278>
3. Franchini E. Energy System Contributions during Olympic Combat Sports: A Narrative Review. *Metabolites*. 2023;13(2):297. <https://doi.org/10.3390/metabo13020297>.
4. Delleli S., Ouergui I., Messaoudi H., Trabelsi K., Ammar A., Glenn J.M., Chtourou H. Acute Effects of Caffeine Supplementation on Physical Performance, Physiological Responses, Perceived Exertion, and Technical-Tactical Skills in Combat Sports: A

Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*. 2022;14(14):2996. <https://doi.org/10.3390/nu14142996>

5. Dickson K., Yeung C.A. PRISMA 2020 updated guideline. *Br. Dent. J.* 2022;232(11):760–761. <https://doi.org/10.1038/s41415-022-4359-7>

6. Shamseer L., Moher D., Clarke M., Ghera D., Liberati A., Petticrew M., Shekelle P., Stewart L.A. PRISMA-P Group. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation. *BMJ*. 2015;350:g7647. <https://doi.org/10.1136/bmj.g7647>

7. Rethlefsen M.L., Kirtley S., Waffenschmidt S., Ayala A.P., Moher D., Page M.J., Koffel J.B. PRISMA-S Group. PRISMA-S: an extension to the PRISMA statement for reporting literature searches in systematic reviews. *J. Med. Libr. Assoc.* 2021;109(2):174–200. <https://doi.org/10.5195/jmla.2021.962>

8. McGowan J., Sampson M., Salzweid D.M., Cogo E., Foerster V., Lefebvre C. PRESS Peer Review of Electronic Search Strate-

gies: 2015 Guideline Statement. *J. Clin. Epidemiol.* 2016;75:40–46. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2016.01.021>

9. **Benzies K.M., Hayden K.A., Premji S., Serrett K.** State-of-the-evidence reviews: advantages and challenges of including grey literature. *Worldviews Evid. Based Nurs.* 2006;3(2):55–61. <https://doi.org/10.1111/j.1741-6787.2006.00051.x>

10. **Amir-Behghadami M., Janati A.** Population, Intervention, Comparison, Outcomes and Study (PICOS) design as a framework to formulate eligibility criteria in systematic reviews. *Emerg. Med. J.* 2020;37(6):387. <https://doi.org/10.1136/emermed-2020-209567>

11. **Sterne J.A.C., Savović J., Page M.J., Elbers R.G., Blencowe N.S., Boutron I., et al.** RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ.* 2019;366:l4898. <https://doi.org/10.1136/bmj.l4898>

12. **Astley C., Souza D., Polito M.** Acute Caffeine Ingestion on Performance in Young Judo Athletes. *Pediatr. Exerc. Sci.* 2017;29(3):336–340. <https://doi.org/10.1123/pes.2016-0218>

13. **Pak İ.E., Cuğ M., Volpe S.L., Beaven C.M.** The effect of carbohydrate and caffeine mouth rinsing on kicking performance in competitive Taekwondo athletes during Ramadan. *J. Sports Sci.* 2020;38(7):795–800. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1735033>

14. **Lin S.P., Li C.Y., Suzuki K., Chang C.K., Chou K.M., Fang S.H.** Green tea consumption after intense taekwondo training enhances salivary defense factors and antibacterial capacity. *PLoS One.* 2014;9(1):e87580. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087580>

15. **Lopes-Silva J.P., Felipe L.J., Silva-Cavalcante M.D., Bertuzzi R., Lima-Silva A.E.** Caffeine ingestion after rapid weight loss in judo athletes reduces perceived effort and increases plasma lactate concentration without improving performance. *Nutrients.* 2014;6(7):2931–2945. <https://doi.org/10.3390/nu6072931>

16. **Filip-Stachnik A., Krawczyk R., Krzysztofik M., Rzeszutko-Belzowska A., Dornowski M., Zajac A., Del Coso J., Wilk M.** Effects of acute ingestion of caffeinated chewing gum on performance in elite judo athletes. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2021;18(1):49. <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00448-y>

17. **Delleli S., Ouergui I., Messaoudi H., Bridge C., Ardigo L.P., Chtourou H.** Warm-up music and low-dose caffeine enhance the activity profile and psychophysiological responses during simulated combat in female taekwondo athletes. *Sci. Rep.* 2024;14(1):14302. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64880-1>

18. **Pereira L., Cyrino E., Avelar A.** A ingestão de cafeína não melhora o desempenho de atletas de judo. *Motriz, Rio Claro.* 2010;16(3):714–722. <https://doi.org/10.5016/1980-6574.2010v16n3p714>

19. **Aedma M., Timpmann S., Ööpik V.** Effect of caffeine on upper-body anaerobic performance in wrestlers in simulated competition-day conditions. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2013;23(6):601–609. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.23.6.601>

20. **Diaz-Lara F.J., Del Coso J., García J.M., Portillo L.J., Areces F., Abián-Vicén J.** Caffeine improves muscular performance in elite Brazilian Jiu-jitsu athletes. *Eur. J. Sport Sci.* 2016;16(8):1079–1086. <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1143036>

21. **Diaz-Lara F.J., Del Coso J., Portillo J., Areces F., García J.M., Abián-Vicén J.** Enhancement of High-Intensity Actions and Physical Performance During a Simulated Brazilian Jiu-Jitsu Competition With a Moderate Dose of Caffeine. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2016;11(7):861–867. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0686>

22. **Fernández M., Ruiz-Moreno C., Giraldez-Costas V., González-Millán C., Matos-Duarte M., Gutiérrez-Hellín J., González-García J.** Caffeine Doses of 3 mg/kg Increase Unilateral and Bilateral Vertical Jump Outcomes in Elite Traditional Jiu-Jitsu Athletes. *Nutrients.* 2021;13(5):1705. <https://doi.org/10.3390/nu13051705>

23. **Lopes-Silva J.P., Rocha A., Rocha J., Silva V., Correia-Oliveira C.R.** Caffeine ingestion increases the upper-body intermittent dynamic strength endurance performance of combat sports athletes. *Eur. J. Sport Sci.* 2022;22(2):227–236. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1874058>

24. **Merino-Fernández M., Giraldez-Costas V., González-García J., Gutiérrez-Hellín J., González-Millán C., Matos-Duarte M., Ruiz-Moreno C.** Effects of 3 mg/kg Body Mass of Caffeine on the Performance of Jiu-Jitsu Elite Athletes. *Nutrients.* 2022;14(3):675. <https://doi.org/10.3390/nu14030675>

25. **Santos V.G., Santos V.R., Felipe L.J., Almeida J.W. Jr, Bertuzzi R., Kiss M.A., Lima-Silva A.E.** Caffeine reduces reaction time and improves performance in simulated-contest of taekwondo. *Nutrients.* 2014;6(2):637–649. <https://doi.org/10.3390/nu6020637>

26. **Lopes-Silva J.P., Silva Santos J.F., Branco B.H., Abad C.C., Oliveira L.F., Loturco I., Franchini E.** Caffeine Ingestion Increases Estimated Glycolytic Metabolism during Taekwondo Combat Simulation but Does Not Improve Performance or Parasympathetic Reactivation. *PLoS One.* 2015;10(11):e0142078. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142078>

27. **Cortez L., Mackay K., Contreras E., Peñailillo L.** Acute effect of caffeine ingestion on reaction time and electromyographic activity of the Dollyo Chagi round kick in taekwondo fighters. *RICYDE. Revista internacional de ciencias del deporte.* 2017;13:52–62. <https://doi.org/10.5232/ricyde2017.04704>

28. **Ouergui I., Mahdi N., Delleli S., Messaoudi H., Chtourou H., Sahnoun Z., Bouassida A., Bouhlel E., Nobari H., Ardigo L.P., Franchini E.** Acute Effects of Low Dose of Caffeine Ingestion Combined with Conditioning Activity on Psychological and Physical Performances of Male and Female Taekwondo Athletes. *Nutrients.* 2022;14(3):571. <https://doi.org/10.3390/nu14030571>

29. **Ouergui I., Delleli S., Bridge C.A., Messaoudi H., Chtourou H., Ballmann C.G., Ardigo L.P., Franchini E.** Acute effects of caffeine supplementation on taekwondo performance: the influence of competition level and sex. *Sci. Rep.* 2023;13(1):13795. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40365-5>

30. **Felippe L.C., Lopes-Silva J.P., Bertuzzi R., McGinley C., Lima-Silva A.E.** Separate and Combined Effects of Caffeine and Sodium-Bicarbonate Intake on Judo Performance. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2016;11(2):221–226. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0020>

31. **Athayde M., Lima K., Detanico D.** Can Caffeine Intake Improve Neuromuscular and Technical-Tactical Performance During Judo Matches?. *J. Strength Cond. Res.* 2018;32(11):3095–3102. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002451>

32. **Durkalec-Michalski K., Nowaczyk P.M., Głowska N., Grygiel A.** Dose-dependent effect of caffeine supplementation on judo-specific performance and training activity: a randomized placebo-controlled crossover trial. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2019;16(1):38. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0305-8>

33. **Saldanha da Silva Athayde M., Kons R.L., Detanico D.** An Exploratory Double-Blind Study of Caffeine Effects on Performance and Perceived Exertion in Judo. *Percept. Mot. Skills.* 2019;126(3):515–529. <https://doi.org/10.1177/0031512519826726>

34. **Carmo K.E.O., Pérez D.I.V., Valido C.N., Dos Santos J.L., Miarka B., Mendes-Netto R.S., Leite M.M.R., Antoniëtto N.R., Aedo-Muñoz E.A., Brito C.J.** Caffeine improves biochemical and specific performance after judo training: a double-blind crossover study in a real judo training situation. *Nutr. Metab. (Lond).* 2021;18(1):15. <https://doi.org/10.1186/s12986-021-00544-5>

35. **Krawczyk R., Krzysztofik M., Kostrzewa M., Komarek Z., Wilk M., Del Coso J., Filip-Stachnik A.** Preliminary Research to-

wards Acute Effects of Different Doses of Caffeine on Strength-Power Performance in Highly Trained Judo Athletes. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022;19(5):2868. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052868>

36. Coswig V.S., Gentil P., Irigon F., Del Vecchio F.B. Caffeine ingestion changes time-motion and technical-tactical aspects in simulated boxing matches: A randomized double-blind PLA-controlled crossover study. *Eur. J. Sport Sci.* 2018;18(7):975–983. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1465599>

37. San Juan A.F., López-Samanes Á., Jodra P., Valenzuela P.L., Rueda J., Veiga-Herreros P., Pérez-López A., Domínguez R. Caffeine Supplementation Improves Anaerobic Performance and Neuromuscular Efficiency and Fatigue in Olympic-Level Boxers. *Nutrients*. 2019;11(9):2120. <https://doi.org/10.3390/nu11092120>

38. Negaresh R., Del Coso J., Mokhtarzade M., Lima-Silva A.E., Baker J.S., Willems M.E.T., Talebvand S., Khodadoost M., Farhani F. Effects of different dosages of caffeine administration on wrestling performance during a simulated tournament. *Eur J Sport Sci.* 2019;19(4):499–507. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1534990>

39. Рыбакова П.Д., Антонов А.Г., Мирошников А.Б. Влияние различных дозировок кофеина на скоростно-силовые параметры борцов вольного стиля: пилотное исследование. Медицинский алфавит. 2024;16:69–72. [Rybakova P.D., Antonov A.G., Miroshnikov A.B. Effect of different doses of caffeine on speed and strength parameters of freestyle wrestlers: a pilot study. Medical alphabet. 2024;16:69–72. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-16-69-72>

40. Rezaei S., Akbari K., Gahreman D.E., Sarshin A., Tabben M., Kaviani M., Sadeghinikoo A., Koozehchian M.S., Naderi A. Caffeine and sodium bicarbonate supplementation alone or together improve karate performance. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2019;16(1):44. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0313-8>

41. de Azevedo A.P., Guerra M.A. Jr, Caldas L.C., Guimarães-Ferreira L. Acute Caffeine Ingestion did not Enhance Punch Performance in Professional Mixed-Martial Arts Athletes. *Nutrients*. 2019;11(6):1422. <https://doi.org/10.3390/nu11061422>

42. Saremi M., Shahriari F., Hemmatinafar M., Rezaei R., Niknam A., Nordvall M., Wong A., Bagheri R. Low-Dose Caffeine Supplementation Is a Valuable Strategy for Increasing Time to Exhaustion, Explosive Power, and Reducing Muscle Soreness in Professional Male Kickboxers. *Curr. Dev. Nutr.* 2024;9(1):104538. <https://doi.org/10.1016/j.cdnut.2024.104538>

43. Christensen P.M., Shirai Y., Ritz C., Nordsborg N.B. Caffeine and Bicarbonate for Speed. A Meta-Analysis of Legal Supplements Potential for Improving Intense Endurance Exercise Performance. *Front. Physiol.* 2017;8:240. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00240>

44. Warren G.L., Park N.D., Maresca R.D., McKibans K.I., Millard-Stafford M.L. Effect of caffeine ingestion on muscular strength and endurance: a meta-analysis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2010;42(7):1375–1387. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181cabbd8>

45. Black C.D., Waddell D.E., Gonglach A.R. Caffeine's Ergogenic Effects on Cycling: Neuromuscular and Perceptual Factors. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2015;47(6):1145–1458. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000513>

46. Timmins T.D., Saunders D.H. Effect of caffeine ingestion on maximal voluntary contraction strength in upper- and lower-body muscle groups. *J. Strength Cond. Res.* 2014;28(11):3239–3244. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000447>

47. Ceylan B., Šimenko J., Balci Ş.S. Which Performance Tests Best Define the Special Judo Fitness Test Classification in Elite Judo Athletes? *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2022;7(4):101. <https://doi.org/10.3390/jfkm7040101>

48. Killen L.G., Green J.M., O'Neal E.K., McIntosh J.R., Hornsby J., Coates T.E. Effects of caffeine on session ratings of perceived exertion. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2012;113:721–727. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2480-z>

49. Ferreira T.T., da Silva J., Bueno N.B. Effects of caffeine supplementation on muscle endurance, maximum strength, and perceived exertion in adults submitted to strength training: a systematic review and meta-analyses. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2021;61(15):2587–2600. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1781051>

50. Low J.J.L., Tan B.J.W., Yi L.X., Tan E.K. Genetic susceptibility to caffeine intake and metabolism: a systematic review. *J. Transl. Med.* 2024;22(1):961. <https://doi.org/10.1186/s12967-024-05737-z>

51. Duncan M.J., Stanley M., Parkhouse N., Cook K., Smith M. Acute caffeine ingestion enhances strength performance and reduces perceived exertion and muscle pain perception during resistance exercise. *Eur. J. Sport Sci.* 2013;13(4):392–399. <https://doi.org/10.1080/17461391.2011.635811>

52. Davis J.K., Green J.M. Caffeine and anaerobic performance: ergogenic value and mechanisms of action. *Sports Med.* 2009;39(10):813–832. <https://doi.org/10.2165/11317770-000000000-00000>

53. Chaabene H., Negra Y., Capranica L., Bouguezzi R., Hachana Y., Rouahi M.A., Mkaouer B. Validity and Reliability of a New Test of Planned Agility in Elite Taekwondo Athletes. *J. Strength Cond. Res.* 2018;32(9):2542–2547. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002325>

54. Santos J., Franchini E. Frequency Speed of Kick Test Performance Comparison Between Female Taekwondo Athletes of Different Competitive Levels. *J. Strength Cond. Res.* 2018;32(10):2934–2938. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002552>

55. Barcelos R.P., Lima F.D., Carvalho N.R., Bresciani G., Royes L.F. Caffeine effects on systemic metabolism, oxidative-inflammatory pathways, and exercise performance. *Nutr. Res.* 2020;80:1–17. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.05.005>

56. Grgic J. Caffeine ingestion enhances Wingate performance: a meta-analysis. *Eur. J. Sport Sci.* 2018;18(2):219–225. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1394371>

57. Weber V., Queiroga M.R., Kiihn A.L., Malfatti C., Wouk J., Ferreira S.A. Silva LAD: Caffeine prevents exercise-induced hypoglycemia in trained runners. *J. Hum. Sport Exerc.* 2019;14:335–347.

58. Conger S.A., Tuthill L.M., Millard-Stafford M.L. Does Caffeine Increase Fat Metabolism? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2023;33(2):112–120. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2022-0131>

59. Graham T.E., Helge J.W., MacLean D.A., Kiens B., Richter E.A. Caffeine ingestion does not alter carbohydrate or fat metabolism in human skeletal muscle during exercise. *J. Physiol.* 2000;529(3):837–847. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.00837.x>

60. Королева Е.Д., Бутовский М.С., Малякин Г.И., Лазарев А.М., Тельшев Д.В., Вахидов Т.М. Распространенность употребления алкоголя и предтренировочного кофеина и их влияние на травматизм и нарушения сна среди элитных молодых футболистов. Спортивная медицина: наука и практика. 2023;13(2):5–12. [Koroleva E.D., Butovskiy M.S., Malyakin G.I., Lazarev A.M., Telyshev D.V., Vakhidov T.M. The prevalence of alcohol and pre-workout caffeine consumption and their effect on injuries and sleep disorders in young elite soccer players. Sports medicine: research and practice. 2023;13(2):5–12. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.2.4>

Информация об авторах

Рыбакова Полина Денисовна*, аналитик, ГКУ города Москвы «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта города Москвы (ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта); аспирант кафедры спортивной медицины, ФГБОУ ВО «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Россия, 105122, Москва, Сиреневый бульвар, 4 (rybakova.poly@yandex.ru)

Мештель Александр Виталиевич, преподаватель кафедры анатомии и биологической антропологии, аспирант кафедры спортивной медицины, ФГБОУ ВО «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Россия, 105122, Москва, Сиреневый бульвар, 4 (sawa-meshtel@yandex.ru)

Мирошников Александр Борисович, д.б.н., доцент, профессор кафедры спортивной медицины, ФГБОУ ВО «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Россия, 105122, Москва, Сиреневый бульвар, 4 (benedikt116@mail.ru)

Антонов Алексей Геннадьевич, аналитик, ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта города Москвы; аспирант кафедры спортивной медицины, ФГБОУ ВО «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Россия, 105122, Москва, Сиреневый бульвар, 4 (alexantonovk@gmail.com)

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 (v.vybornov84@gmail.com)

Information about the authors:

Polina D. Rybakova*, analyst, Centre for Sports Innovative Technologies and National Teams Training of the Moscow City Sports Department (Moscomsport); graduate student, Russian University of Sports "GTSOLIFK", 4 Sirenevyy Boulevard, Moscow, 105122, Russia (rybakova.poly@yandex.ru)

Alexander V. Meshtel, Lecturer in the Department of Anatomy and Biological Anthropology, graduate student, Russian University of Sports "GTSOLIFK", 105122, Sirenevyy Boulevard, 4, Moscow, Russian Federation (sawa-meshtel@yandex.ru)

Alexander B. Miroshnikov, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor, Professor of the Department of Sports Medicine, Russian University of Sports "GTSOLIFK", 4 Sirenevyy Boulevard, Moscow, 105122, Russia (benedikt116@mail.ru)

Alexey G. Antonov, analyst, Centre for Sports Innovative Technologies and National Teams Training of the Moscow City Sports Department (Moscomsport); graduate student, Russian University of Sports "GTSOLIFK", 4 Sirenevyy Boulevard, Moscow, 105122, Russia (alexantonovk@gmail.com)

Vasily D. Vybornov, Cand. Sci. (Biology), Director, Institution of Physical Culture and Sports Association "Junost' Moskvyy" of the Department of Sports of the City of Moscow, 4/4 Barabanny per., Moscow, 107023, Russia (v.vybornov84@gmail.com)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.3>

УДК 796.015.572+ 796.011

Тип статьи: Оригинальная статья / Original Research



Meta-analysis of the effect of high-intensity interval training on improving blood lipid metabolism in female college students

JUN YU¹, HUAN WANG^{1,2}, HAOTONG YU^{1,*}

¹The Russian University of Sports “GTSOLIFK”, Moscow, Russia

²Jilin Sports University, Changchun, China

ABSTRACT

Purpose of the study: This study used the meta-analysis method to systematically evaluate and compare the intervention effects of HIIT (high-intensity interval training) and MICT (moderate-intensity continuous training) on blood lipid metabolism in obese female college students.

Methods: Publicly published controlled trials on regulating blood lipids with high-intensity interval training were searched through CNKI, Web of science, Scopus, Google Scholar, and Elibrary databases. Meta-analysis was performed on the outcome indicators of 427 subjects in the 7 included articles.

Results: Among the included literature, the number of articles reporting blood lipid health outcomes were: 6 articles for TC, 7 articles for TG, 7 articles for LDL-C, and 5 articles for HDL-C. Studies investigating the effects of HIIT on TC, TG, LDL-C, and HDL-C exhibited low heterogeneity; therefore, a fixed-effects model was used. HIIT significantly improved TC (SMD = -0.71, $I^2 = 30.10\%$, 95% CI: -1.05 to -0.38, $p = 0.21$), TG (SMD = -0.46, $I^2 = 38.48\%$, 95% CI: -0.77 to -0.16, $p = 0.14$), LDL-C (SMD = -0.33, $I^2 = 6.13\%$, 95% CI: -0.58 to -0.09, $p = 0.38$), and HDL-C (SMD = 0.23, $I^2 = 2.28\%$, 95% CI: -0.07 to 0.53, $p = 0.38$).

Conclusion: Compared with MICT, intervention through HIIT training in female college students can effectively improve blood lipid-related indicators such as TC, TG, LDL-C, and HDL-C. This finding can provide theoretical and practical basis for exercise intervention in the physical and mental health development of female college students. However, the study also has some limitations. Due to the constraints of the number of included studies and the complexity of HIIT exercise protocols, the above conclusions still need to be verified by more high-quality RCT to ensure the reliability and applicability of the findings.

Keywords: HIIT, MICT, blood lipid health, university student

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

For citation: Yu Jun, Wang Huan, Yu Haotong. Meta-analysis of the effect of high-intensity interval training on improving blood lipid metabolism in female college students. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2025;15(2):58–66. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.3>

Received: 21 May 2025

Accepted: 14 September 2025

Online first: 09 October 2025

Published: 14 November 2025

* Corresponding author

Метаанализ влияния высокоинтенсивных интервальных тренировок на улучшение липидного профиля у студентов

Цзюнь Юй¹, Хуань Ван^{1,2}, Хаотун Юй^{1,*}

¹Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, Россия

²Цзилиньский спортивный университет, Чанчунь, Китай

АННОТАЦИЯ

Цель исследования. Систематически оценить и сопоставить эффекты ВИИТ (высокоинтенсивных интервальных тренировок) и НСТСИ (непрерывных тренировок средней интенсивности) на липидный обмен у студентов с ожирением с помощью метаанализа.

Материалы и методы. Путем поиска в базах данных CNKI, Web of Science, Scopus, Google Scholar, Elibrary были отобраны опубликованные рандомизированные контролируемые испытания, посвященные влиянию ВИИТ на липидный профиль. Метаанализ включил данные 427 участников из 7 исследований.

Результаты. Включенная литература содержала следующее количество статей с данными о показателях липидов крови: 6 статей по ОХ (общий холестерин), 7 статей по ТГ (триглицериды), 7 статей по ЛПНП и 5 статей по ЛПВП. Исследования влияния ВИИТ на ОХ, ТГ, ЛПНП и ЛПВП показали низкую неоднородность, поэтому использовалась модель фиксированных эффектов. ВИИТ достоверно улучшил: ОХ (SMD = -0,71; $I^2 = 30,10\%$; 95 % ДИ: от -1,05 до -0,38; $p = 0,21$), ТГ (SMD = -0,46; $I^2 = 38,48\%$; 95 % ДИ: от -0,77 до -0,16; $p = 0,14$), ЛПНП (SMD = -0,33; $I^2 = 6,13\%$; 95 % ДИ: от -0,58 до -0,09; $p = 0,38$), ЛПВП (SMD = 0,23; $I^2 = 2,28\%$; 95 % ДИ: от -0,07 до 0,53; $p = 0,38$).

Заключение. По сравнению с НСТСИ, интервенция с использованием тренировок ВИИТ у студентов позволяет эффективно улучшить показатели крови, связанные с липидами, такие как TC, TG, LDL-C и HDL-C. Это открытие может служить теоретической и практической основой для физической интервенции в развитии физического и психического здоровья студентов. Однако исследование имеет некоторые ограничения. Из-за ограничений, связанных с количеством включенных исследований и сложностью протоколов тренировок ВИИТ, вышеуказанные выводы все еще требуют проверки с помощью большего количества высококачественных рандомизированных контролируемых испытаний (RCT) для обеспечения надежности и применимости полученных результатов.

Ключевые слова: ВИИТ, НСТСИ, здоровье липидов крови, студенты

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Юй Цзюнь, Ван Хуань, Хаотун Юй. Метаанализ влияния высокоинтенсивных интервальных тренировок на улучшение липидного профиля у студентов. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2025;15(2):58–66. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.3>

Поступила в редакцию: 21.05.2025

Принята к публикации: 14.09.2025

Online first: 09.10.2025

Опубликована: 14.11.2025

* Автор, ответственный за переписку

1. Introduction

In recent years, with the rapid development of Chinese society and economy, the prevalence of lipid metabolism disorders has shown a significant upward trend due to changes in the dietary structure of the population [1]. At present, the disease has broken through the age boundary of traditional cognition, and typical cases of abnormally elevated triglyceride (TG) in adolescents have appeared in the clinic [2]. According to the Report on Nutrition and Chronic Disease Status of Chinese Residents (2020), the prevalence of abnormal lipid metabolism among Chinese residents aged 18 years and above is as high as 35.6 % [3]. Abnormal blood lipid metabolism is primarily characterized by the “three highs and one low” feature: serum total cholesterol (TC) and triglyceride (TG) levels exceeding normal limits, abnormally elevated low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C), accompanied by insufficient high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) concentration [4].

Statins remain the primary therapeutic option for managing dyslipidemia in clinical practice. However, their use in cholesterol reduction is associated with reported adverse effects and issues of drug resistance. For instance, the incidence

of statin-induced myotoxicity (SIM) ranges from 7 % to 29 % of patients [5]. Prospective studies on drug-induced liver injury indicate that statins account for homotypic liver injury in 1.9 % to 5.5 % of cases [6]. Concerns regarding statin safety are particularly heightened in patients with multiple comorbidities and those on polypharmacy regimens [7]. Consequently, medical researchers continue to explore alternative treatment approaches that offer greater convenience, efficacy, shortened treatment courses, and cost-effectiveness.

Relevant studies have shown that aerobic training helps to regulate blood lipid levels, promote reverse cholesterol transport, effectively regulate the expression of key metabolic enzymes such as lipoprotein lipase (LPL) and hepatic lipase (HL), and then optimise the whole process of synthesis, transport and catabolism of lipoprotein particles, which ultimately significantly reduces the risk of coronary atherosclerotic heart disease [8]. With the wide application and continuous development of exercise therapy in the field of lipid regulation, the metabolic regulation mechanism of HIIT (high-intensity interval training) has gradually become a research hotspot. Unlike traditional MICT (moderate-intensity continuous training), HIIT induces a unique metabolic stress

state in the body through an alternating pattern of “high-intensity bursts - intermittent recovery” [9–11]. During the explosive exercise phase, the phosphagen system and glycolytic energy supply are dominant, directly catabolising adenosine triphosphate and phosphocreatine and generating energy rapidly, while lactate is produced, leading to an increase in the local H^+ concentration; during the recovery phase of the intermittent period, aerobic metabolism progressively removes metabolic wastes and replenishes myogenic reserves through the continuous oxidative decomposition of lactic acid, fat and residual glycogen [12]. Repeated activation of the phosphagen system and sustained enhancement of aerobic metabolism contribute to the formation of a specific metabolic stress cycle in the organism. The synergistic effect of different energy supply pathways enables the organism to simultaneously obtain the output of anaerobic metabolism and the persistent adaptive capacity of aerobic metabolism [13]. This increased metabolic flexibility both enhances the persistence of explosive output and promotes a sustained post-exercise energy-consuming effect, constituting a dual metabolic advantage unique to high-intensity interval training.

The novelty of this study lies in the fact that most of the current academic research on HIIT focuses on professional athletes, while relatively few studies have been conducted on college student populations. Based on this, this study will systematically review the existing literature and experimental data through the systematic evaluation and comparison of Meta-analysis, to explore in depth the effect of HIIT on the improvement of lipid metabolism in college students.

2. Materials and Methods

2.1 Data Sources and Search Strategies

Through computerized searches of publicly published randomized controlled trials (RCT) on HIIT interventions for blood lipids in the CNKI, Web of Science, Scopus, Google Scholar, and Elibrary databases, the search period was set from December 2015 to May 2025. Search terms included “HIIT, MICT, blood lipids, TC, TG, LDL-C, HDL-C,” etc. Corresponding search strategies were formulated according to each database’s characteristics, followed by secondary searches of references in included literature and relevant reviews.

2.2 Inclusion and Exclusion Criteria for Research Materials

Participants were female college students, with no restrictions on ethnicity, disease duration, or comorbidities. For interventions, studies with clear diagnostic criteria, efficacy evaluation standards, and no additional intervention methods were included: the experimental group received HIIT, while the control group received MICT. Primary outcome indicators included TC, TG, HDL-C, and LDL-C; included studies reported at least one of these. Exclusions based on study type: non-RCTs, case reports, expert experience, reading reports, and animal studies. Exclusions based on publication type: reviews, non-Chinese/English/Russian

publications, and duplicate publications. Exclusions based on trial process: combined interventions, unclear results, or incomplete data.

2.3 Literature screening, data extraction, and quality assessment

Two researchers independently screened literature according to inclusion/exclusion criteria, reviewing full texts for exclusion decisions. Data extraction was performed for eligible studies. Make three types of assessments (high risk, low risk, and unclear) for each item respectively. Both researchers used self-made extraction forms to independently extract: 1. basic information (first author, publication year, journal, title); 2. experimental/control group details (case numbers, total sample size, age, interventions, duration, outcomes); 3. study design and quality assessment; 4. outcome indicators. Cross-checking was conducted. Discrepancies were resolved through discussion; unresolved cases were arbitrated by an independent third party.

2.4 Statistical Analysis

For continuous variables, the pooled effect size was expressed as the standardized mean difference (SMD). Heterogeneity was tested using the Q-test and the I^2 test, and publication bias was analyzed using Egger’s test. If $I^2 < 50\%$, indicating low heterogeneity, the fixed-effect model was used; if $I^2 > 50\%$, indicating significant heterogeneity, the random-effects model was used.

3. Results

3.1 Literature Search Results

An initial search yielded 437 articles. Two reviewers independently screened the literature according to the inclusion and exclusion criteria, from initial screening to full-text review, ultimately resulting in 7 articles (Figure 1). Comprising 427 subjects in total, with sample sizes ranging from 30 to 117 participants. The basic information table of the literature was arranged in ascending order by year of publication. The basic characteristics of the included studies and descriptions of exercise prescriptions are presented (Table 1).

3.2 Bias Risk Assessment

Quality assessment was conducted using the Cochrane risk of bias assessment. Bias risks were evaluated for the following domains: randomization sequence generation, allocation concealment, blinding (outcome assessors, participants), selective reporting, incomplete outcome data, and other biases. Each item was rated as high risk, low risk, or unclear risk. Given the particularity of exercise interventions, most studies did not adopt blinding. All studies showed that the evaluation results of bias in the completeness of outcome indicator data and selective reporting bias were low risk (Table 2).

3.3 Results of Meta-Analysis

Among the included literature, the number of articles reporting blood lipid health outcomes were: 6 articles for

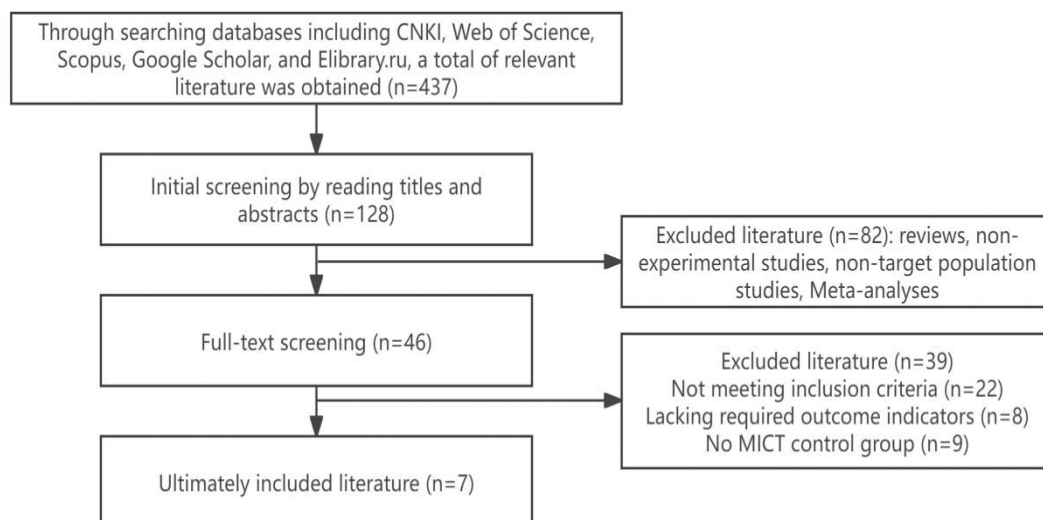


Fig. 1. Literature screening and inclusion process
Рис. 1. Процесс отбора и включения литературы

Table 1

Basic information and description of exercise prescription in the included literature

Таблица 1

Основная информация и описание физической программы во включенной литературе

Study reference	Experimental group				Control group				Treatment duration (weeks)	Outcome measures
	Sample size	BMI	Age	Exercise prescription	Sample size	BMI	Age	Exercise prescription		
Lin Jian 2016[14]	18	29.4 ± 2.0	18~23	90 % HR max 4 min, 70 % HR max 3 min	18	29.7 ± 1.9	18~23	60~70 % HR max, 30~50 min	12	②③
Chi Guijun 2023[15]	32	30.81 ± 2.07	-	≥85 HR max	32	31.16 ± 2.13	-	60~70 % HR max, 40 min	8	①②③④
Liu Chao-hui 2023[16]	26	29.67 ± 1.09	18~20	77~85 % HR max, 86~95 % HR max	26	29.60 ± 1.04	18~20	64~76 % HR max	12	①②③④
Cai Xiaolin 2023[17]	15	31.14 ± 1.59	18~20	90 % HR max	15	31.20 ± 1.69	18~20	60~70 % HR max, 30~50 min	8	①②③
Lu Yining 2023[18]	59	20.92 ± 2.39	18~23	8×20s max intensity, 10s rest between sets	58	21.40 ± 2.37	18~23	60~70 % HR max, 30~50 min	12	①②③④
Wang Peng 2023[19]	22	29.59 ± 1.15	18~20	90~95 % HR max, 2 min	21	30.25 ± 1.44	18~20	60~70 % HR max, 30 min	8	①②③④
Liu Juan 2025[20]	43	24.51 ± 2.35	18~25	1 min high intensity exercise, 1.5 min interval rest	42	26.1 ± 2.19	18~25	Continuous aerobic exercise 30 min/repetition	12	①②③④

Note: HR max — maximum heart rate, min — minute. Outcome indicators: ①TC; ②TG; ③LDL-C; ④HDL-C.

Примечание: HR max — максимальная частота сердечных сокращений, min — минута. Показатели исходов: ①ТС (общий холестерин); ②TG (триглицериды); ③LDL-C (ХС ЛПНП); ④HDL-C (ХС ЛПВП).

Table 2

Results of bias risk assessment for included studies

Таблица 2

Результаты оценки риска смещений для включенных исследований

Study reference	Random allocation method	Concealment of allocation method	Blinding		Completeness of outcome data indicators	Selective reporting of study results	Other sources of bias
			Blinding of participants	Blinding of assessors			
Lin Jian 2016[14]	Low risk	Unclear	High risk	Unclear	Low risk	Low risk	Low risk
Chi Guijun 2023[15]	Low risk	Unclear	High risk	Unclear	Low risk	Low risk	Low risk
Liu Chaohui 2023[16]	Low risk	Unclear	High risk	Unclear	Low risk	Low risk	Low risk
Cai Xiaolin 2023[17]	Low risk	Unclear	High risk	Unclear	Low risk	Low risk	Low risk
Lu Yining 2023[18]	Low risk	Unclear	High risk	Unclear	Low risk	Low risk	Low risk
Wang Peng 2023[19]	Low risk	Unclear	High risk	Unclear	Low risk	Low risk	Low risk
Liu Juan 2025[20]	Low risk	Unclear	High risk	Unclear	Low risk	Low risk	Low risk

TC, 7 articles for TG, 7 articles for LDL-C, and 5 articles for HDL-C. Studies investigating the effects of HIIT on TC, TG, LDL-C, and HDL-C exhibited low heterogeneity; therefore, a fixed-effects model was used. HIIT significantly improved TC (SMD = -0.71, $I^2 = 30.10\%$, 95% CI: -1.05 to -0.38, $p = 0.21$) (Figure 2), TG (SMD = -0.46, $I^2 = 38.48\%$, 95% CI: -0.77 to -0.16, $p = 0.14$) (Figure 3), LDL-C (SMD = -0.33, $I^2 = 6.13\%$, 95% CI: -0.58 to -0.09, $p = 0.38$) (Figure 4), and HDL-C (SMD = 0.23, $I^2 = 2.28\%$, 95% CI: -0.07 to 0.53, $p = 0.38$) (Figure 5).

3.4 Publication Bias Analysis

For the included studies, a corrected comparison funnel plot is usually drawn. The results are used to show whether all included literatures are distributed near the central axis of the funnel plot, and the number of literatures on both sides of the central axis is basically symmetric.

However, since the number of indicators included in this study is less than 10, the symmetry of the funnel plot may be difficult to detect, thus there is a risk of neglecting the test for publication bias. To quantitatively assess publication

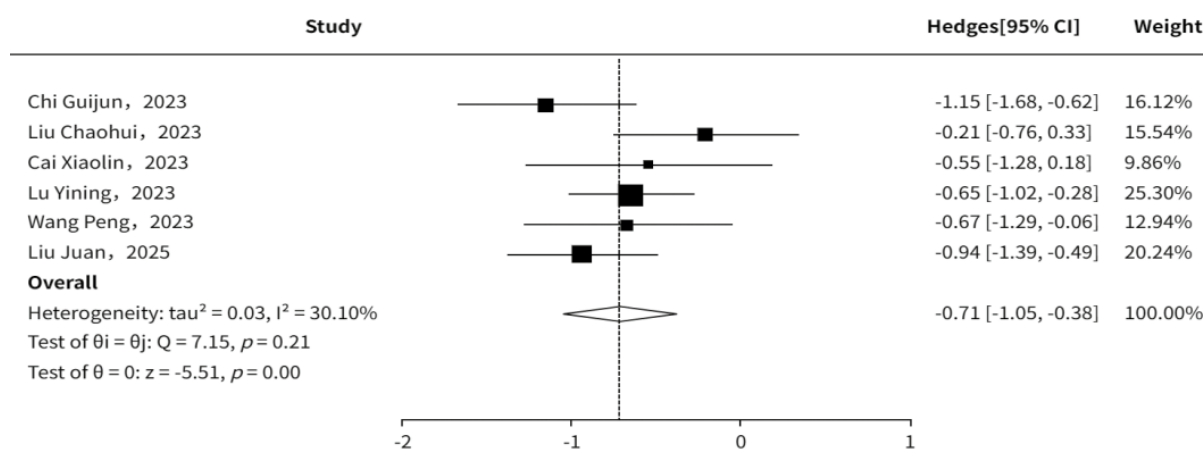


Fig. 2. Forest plot of the effect of HIIT on TC in female college students
 Рис. 2. Лесной график влияния ВИИТ на уровень ОХ у студенток

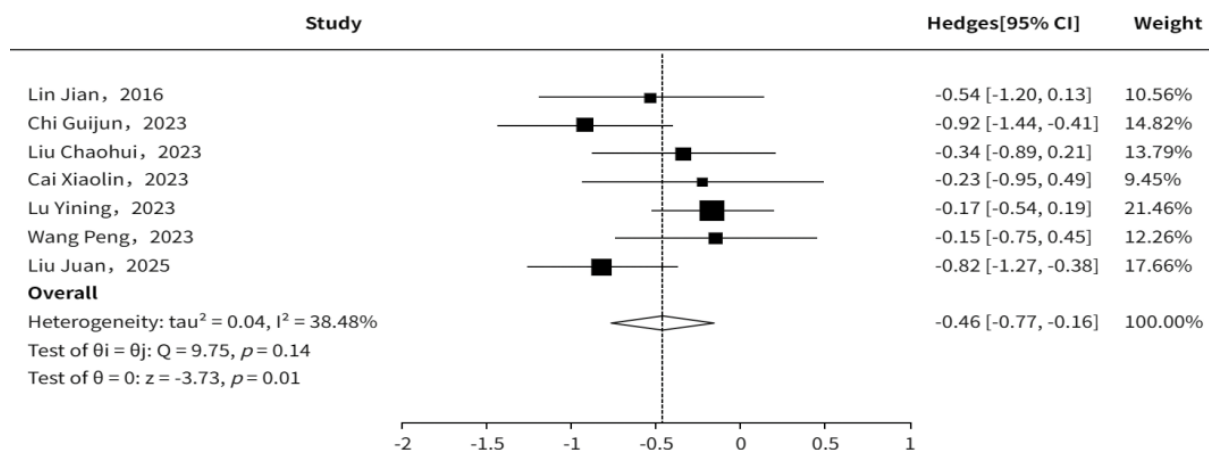


Fig. 3. Forest plot of the effect of HIIT on TG in female college students
 Рис. 3. Лесной график влияния ВИИТ на уровень ТГ у студенток

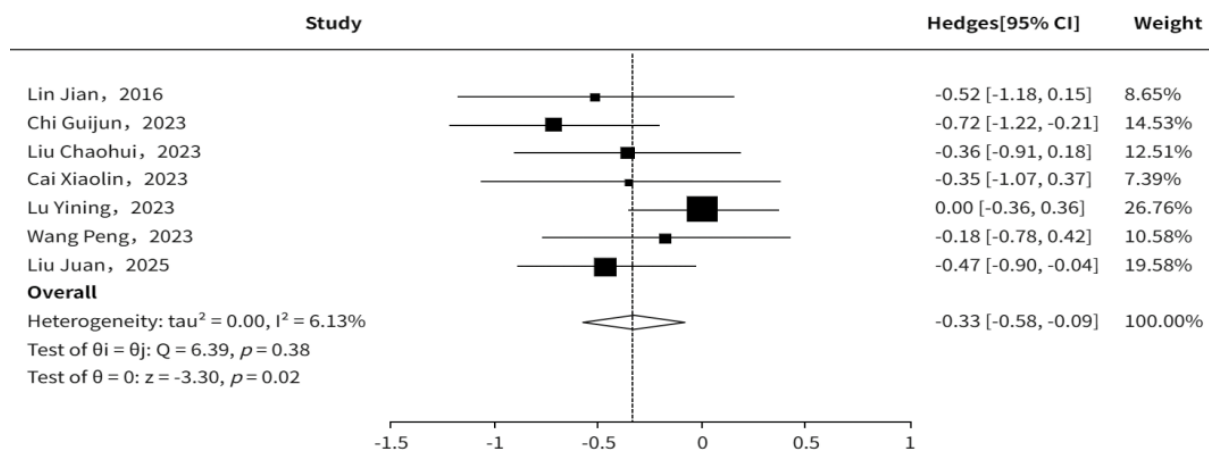


Fig. 4. Forest plot of the effect of HIIT on LDL-C in female college students
 Рис. 4. Лесной график влияния ВИИТ на ХС ЛПНП у студенток

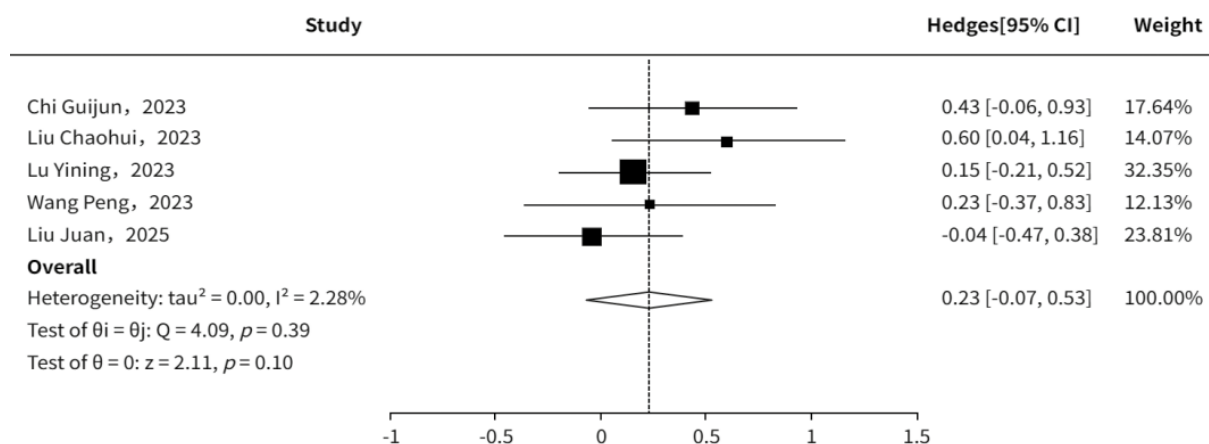


Fig. 5. Forest plot of the effect of HIIT on HDL-C in female college students
 Рис. 5. Лесной график влияния ВИИТ на уровень ХС ЛПВП у студенток

Table 3

Publication bias test for included studies

Таблица 3

Тест на публикационную смещенность для включенных исследований

Variable	Regression-based Egger's test				
	beta1	df	Standard error	t	p
TC	0.790	4	2.519	0.314	0.769
TG	-0.284	5	2.361	-0.120	0.909
LDL-C	-1.886	5	1.684	-1.120	0.314
HDL-C	2.950	3	2.288	1.289	0.288
Non-parametric rank correlation (Begg) test					
Variable	Kendall's score		Standard error	z	p
TC	3.000		5.323	0.564	0.573
TG	1.000		6.658	0.150	0.881
LDL-C	1.000		6.658	0.150	0.881
HDL-C	4.000		4.082	0.980	0.327

bias, this study adopted Egger's linear regression method and Begg's non-parametric rank correlation method. As shown in Table 3, no significant bias was found in the included study indicators ($p > 0.05$).

4. Discussion

As a non-pharmacological treatment method, exercise prescription has gained recognition in various aspects for the treatment and prevention of blood lipid health issues [21]. Although traditional MICT has been proven to have certain effects in studies on blood lipid reduction, for college students with heavy academic workloads, MICT usually requires a duration of more than 30 minutes, and its single movement pattern and training method often lead to a strong sense of psychological burnout [22, 23]. HIIT, as a new type of training mode, has currently been widely recognized in the fields of sports medicine and fitness. The derivative aerobics designed based on its principles can not only shorten the training duration but also play a positive role in improving body fat and blood lipid indicators; for female college students, such aerobics can also enhance training interest. If integrated into college physical education courses, it can not only enrich the course content but also help improve their long-term training compliance [24].

HIIT uses an alternating pattern of "high-intensity exercise + rest intervals", which is more effective in mobilising the energy metabolism system [25]. Its high-intensity phase prompts the body to rapidly deplete muscle glycogen reserves, forcing adipose tissue to break down faster to maintain energy supply [26]. HIIT regulates TC levels in two ways. The explosive exercise phase relies mainly on adrenergic activation to accelerate cholesterol turnover, whereas conventional aerobic training remodels hepatic cholesterol

metabolism pathways through metabolic adaptive mechanisms, and this intensity-dependent modulatory property results in a progressive optimisation of TC regulation [27].

In terms of TG metabolism, the unique post-exercise excess oxygen consumption (EPOC) effect of HIIT produces a sustained state of metabolic activation [28]. This bodily response not only prolongs the time window for fat burning, but also accelerates the metabolic clearance of TG after meals and, more importantly, enhances skeletal muscle mitochondrial β -oxidation, thereby building a more efficient fat metabolism [29].

Based on the above findings, it is recommended that HIIT be promoted as an exercise intervention for improving lipid metabolism in female university students, especially for those who need to rapidly reduce cardiovascular disease risk factors. In the future, we can further explore the personalised adaptation strategies of HIIT for people with different physical characteristics, exercise habits and metabolic bases, in order to improve the practical application of exercise intervention in the prevention and control of dyslipidaemia.

5. Conclusion

Compared with MICT, intervention through HIIT training in female college students can effectively improve blood lipid-related indicators such as TC, TG, LDL-C, and HDL-C. This finding can provide theoretical and practical basis for exercise intervention in the physical and mental health development of female college students. However, the study also has some limitations. Due to the constraints of the number of included studies and the complexity of HIIT exercise protocols, the above conclusions still need to be verified by more high-quality RCT to ensure the reliability and applicability of the findings.

Authors' contribution:

Yu Jun — conceptualization, methodology, investigation, writing and revision of the text, collection and analysis of literature, and communication with editors to prepare for publication.

Wang Huan — conceptualization, methodology, literature collection, text editing.

Yu Haotong — conceptualization, methodology, literature collection, and communication with editors to prepare for publication.

References / Литература

1. Zhu Z., Wu F., Lu Y., Wang Z., Zang J., Yu H., et al. The Association of Dietary Cholesterol and Fatty Acids with Dyslipidemia in Chinese Metropolitan Men and Women. *Nutrients*. 2018;10(08):961. <https://doi.org/10.3390/nu10080961>
2. Deng X., Zhang M., Zhang X., Huang Z., Zhao Z., Li C., Mudoti N.G., Wang L., Wu J. The Status of Blood Lipids Among Children and Adolescents — China, 2016–2017. *China CDC Weekly*. 2023;5(2):31–34. <https://doi.org/10.46234/ccdcw2023.006>
3. Jia Na, Huang Cheng, Xia Chenxi. The effect of exercise training on lipid profile. *Chinese Circulation Journal*, 2023;38(1):96–100. (In Chinese). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-3614.2023.01.012>
4. Alfihili M.A., Alsughayyir J., Basudan A.M., Ghneim H.K., Alfaifi M., Alamri H.S., Awan Z.A., Algethami M.R. Patterns of Dyslipidemia in the Anemic and Nonanemic Hypertensive Saudi Population: A Cross-Sectional Study. *Int. J. Gen. Med.* 2022;15:7895–7906. <https://doi.org/10.2147/IJGM.S379597>
5. du Souich P., Roederer G., Dufour R. Myotoxicity of statins: Mechanism of action. *Pharmac. Ther.* 2017;175:1–16. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2017.02.029>
6. Björnsson E.S. Hepatotoxicity of statins and other lipid-lowering agents. *Liver International*, 2017;37(02):173–178. <https://doi.org/10.1111/liv.13308>
7. Armitage J., Bowman L., Wallendszus K., Bulbulia R., Rahimi K., Haynes R., et al. Intensive lowering of LDL cholesterol with 80 mg versus 20 mg simvastatin daily in 12 064 survivors of myocardial infarction: a double-blind randomised trial. *Lancet*. 2010;376(9753):1658. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)60310-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)60310-8)
8. Suder A., Makiel K., Targosz A., Maciejczyk M., Kosowski P., Haim A. Exercise-induced effects on asprosin and indices of atherogenicity and insulin resistance in males with metabolic syndrome: a randomized controlled trial. *Sci. Rep.* 2024;14(1):985. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51473-1>
9. Ben-Zeev T., Okun E. High-Intensity Functional Training: Molecular Mechanisms and Benefits. *Neuromolecular Med.* 2021;23(3):335–338. <https://doi.org/10.1007/s12017-020-08638-8>
10. Wisloff Ulrik, Ellingsen Oyvind, Kemi Ole J. High-Intensity Interval Training to Maximize Cardiac Benefits of Exercise Training? *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2009;37(03):139–146. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3181aa65fc>
11. Atakan M.M., Li Y., Koşar Ş.N., Turnagöl H.H., Yan X. Evidence-Based Effects of High-Intensity Interval Training on Exercise Capacity and Health: A Review with Historical Perspective. *Int. J. Environ. Res Public Health*. 2021;18(13):7201. <https://doi.org/10.3390/ijerph18137201>
12. Hargreaves M., Spriet L.L. Skeletal Muscle Energy Metabolism During Exercise. *Nat. Metab.* 2020;2(9):990. <https://doi.org/10.1038/s42255-020-00290-7>

Вклад авторов:

Юй Цзюнь — концептуализация, методология, проведение исследования, написание и редактирование текста, сбор и анализ литературных источников, а также общение с редакторами для подготовки к публикации.

Ван Хуань — концептуализация, методология, сбор литературных источников, редактирование текста.

Юй Хаотун — концептуализация, методология, сбор литературных источников, редактирование текста, общение с редакторами для подготовки к публикации.

13. Gibala M.J., Jones A.M. Physiological and performance adaptations to high-intensity interval training. *Nestle Nutr. Inst. Workshop Ser.* 2013;76:51–60. <https://doi.org/10.1159/000350256>

14. Lin Jian, Zhao Hongqin, Huang Xiongqiang, Liu Xiaolin, Zhang Rui. Effect of High Intensity Interval Training on the Body Composition. Blood Lipid and Fasting Insulin Level of Obese Female College Students. *Chinese General Practice*. 2016;19(18):2139–2144. (In Chinese). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9572.2016.18.006>

15. Chi Guijun, Liu Yuanyuan, Han Dong, Liang Yiwei, Sun Jianli. A Study on the interaction Effect of High Intensity Cycle Training (HICT) on Obese Female College Students in Normal Universities. *Journal of Tangshan Normal University*. 2023;45(3):79–83. Available at: <https://cstj.cqvip.com/Qikan/Article/Detail?id=7110131307>. (In Chinese).

16. Liu Chaohui, Pang Yajun, Meng Huili, Jiao Jie. Effect of sedentary interval intervention on body composition and blood lipid metabolism of obese female college student. *Chinese Journal of School Health*. 2023;44(8):1140–1144. (In Chinese). <https://doi.org/10.16835/j.cnki.1000-9817.2023.08.005>

17. Cai Xiaolin. Impacts of High-Intensity Interval Training on Body Composition of Female University Students. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2023;29:e2023_0053. https://doi.org/10.1590/1517-8692202329012023_0053

18. Lu Y., Wiltshire H.D., Baker J.S., Wang Q., Ying S. The Effect of Tabata-Style Functional High-Intensity Interval Training on Cardiometabolic Health and Physical Activity in Female University Students. *Front. Physiol.* 2023;14:1095315. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1095315>

19. Wang Peng, Liu Baoliang, Liu Yan, Jiang Di. Effects of different intensity of exercise combined with dietary intervention on body composition, lipid metabolism and gut microbiota in obese nonalcoholic fatty liver disease female college students oholic fatty liver disease female college students. *Chinese Journal of School Health*. 2023;44(8):1169–1173. Available at: https://med.wanfangdata.com.cn/Paper/Detail?id=PeriodicalPaper_zgxxws202308013&dbid=WF_QK. (In Chinese).

20. Liu Juan, Lu Wenjuan, Liu Fuding. Effects of a Low-Calorie Diet Combined With High-Intensity Interval Training on Body Composition, Glycolipid Metabolism and Cardiopulmonary Function in Female Overweight College Students. *Practical Preventive Medicine*. 2025;32(4):448–452. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-3110.2025.04.014>

21. O'Donovan G., Blazeovich A.J., Boreham C., Cooper A.R., Crank H., Ekelund U., et al. The ABC of physical activity for health: a consensus statement from the British Association of Sport and Exercise Sciences. *J. Sports Sci.* 2010;28(6):573–591. <https://doi.org/10.1080/02640411003671212>

22. Dubonosova S.V. Reasons for sports discontinuation: a retrospective analysis of the physical activity in medical

students. Sports medicine: research and practice. 2023;13(1):21–27. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.1.3>

23. **Wu C.H., Zhao Y.D., Yin F.Q., Yi Y., Geng L., Xu X.** Mental Fatigue and Sports Performance of Athletes: Theoretical Explanation, Influencing Factors, and Intervention Methods. Behav. Sci. (Basel). 2024;14(12):1125. <https://doi.org/10.3390/bs14121125>

24. **Plizga J., Jaworski A., Grajnert F., Gluszczyk A., Surma A., Cecot J., et al.** High-Intensity Interval Training - health benefits and risks - literature review. Quality in Sport. 2024;18:53359. <https://doi.org/10.12775/QS.2024.18.53359>

25. **Poon E.T., Siu P.M., Wongpipit W., Gibala M., Wong S.H., et al.** Alternating high-intensity interval training and continuous training is efficacious in improving cardiometabolic health in obese middle-aged men. J. Exerc. Sci. Fit. 2022;20(1):40–47. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2021.11.003>

Information about the authors:

Jun Yu, PhD student, Department of Basketball Theory and Methodology, The Russian University of Sports “GTSOLIFK”, Russia, Moscow, 105122, Lilac Boulevard 4k1. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1232-6363> (1041060816@qq.com)

Huan Wang, PhD student, departments of Speed skating, figure skating, and curling Theory and Methodology, The Russian University of Sports “GTSOLIFK”, Russia, Moscow, 105122, Lilac Boulevard 4k1; Jilin sports university, China, 130022, Changchun, 2476 Nanling Street, Huayang Neighborhood, Ziyu Street. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6509-6790> (wsnghuan705@mail.ru)

Haotong Yu*, PhD student, Department of Psychology, Philosophy and Sociology, The Russian University of Sports “GTSOLIFK”, Russia, Moscow, 105122, Lilac Boulevard 4k1. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9860-1810> (yu_haotong@mail.ru)

Информация об авторах:

Юй Цзюнь, аспирант кафедры теории и методики баскетбола, Российский университет спорта, «ГЦОЛИФК», Россия, 105122, Москва, Сиреневый бульвар, дом 4к1. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1232-6363> (1041060816@qq.com)

Ван Хуань, аспирант кафедры теории и методики конькобежного спорта, фигурного катания на коньках и кёрлинга, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Россия, 105122, Москва, Сиреневый бульвар, дом 4к1; Цзилиньский спортивный университет, Китай, 130022, Чанчунь, улица Наньлин, микрорайон Хуаян, улица Цзюю, дом 2476. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6509-6790> (wsnghuan705@mail.ru)

Юй Хаотун*, аспирант кафедры психологии, философии и социологии, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Россия, 105122, Москва, Сиреневый бульвар, дом 4к1. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9860-1810> (yu_haotong@mail.ru)

26. **Tormaa F., Gombosa Z., Jokaia M., Takeda M., Mimura T., Radak Z.** High intensity interval training and molecular adaptive response of skeletal muscle. Sports Med. Health Sci. 2019;1(1):24–32. <https://doi.org/10.1016/j.smhs.2019.08.003>

27. **Boutcher S.H.** High-Intensity Intermittent Exercise and Fat Loss. J. Obes. 2011;868305. <https://doi.org/10.1155/2011/868305>

28. **Talanian J.L., Galloway S.D., Heigenhauser G.J., Bonen A., Spriet L.L.** Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. J. Appl. Physiol. 2007;102(4):1439–1447. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01098.2006>

29. **Li Yu, Chang Mengmeng, Liu Yang.** Re-recognition of fat burning in exercise: research progress on fat-reducing mechanism of HIIT. Chinese Bulletin of Life Sciences. 2023;35(9):1120–1127. (In Chinese). <https://doi.org/10.13376/j.cbbs/2023123>

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.2>

УДК 796.325:612.76

Тип статьи: Оригинальная статья / Original Research



Kinematic assessment of the dominant and non-dominant legs at initial contact: Implications for lower limb injury risk during spike and block landings in professional volleyball players

Mahdi Majlesi*, Elaheh Azadian, Rafe Mohammad Zaheri

Islamic Azad University, Hamedan, Iran

ABSTRACT

Purpose of the study: Jump landings after spike and block jumps in volleyball are among the primary contributors to lower limb injuries, particularly involving the anterior cruciate ligament (ACL). Understanding kinematic differences between these two common landing scenarios can enhance injury prevention strategies. The purpose of this study is to investigate the differences in lower limb landing kinematics between spike and block jumps, as well as between the dominant and non-dominant legs, in professional volleyball players.

Methods: Twenty-seven elite male volleyball players performed spike and block jumps over a standard net (2.43 m). Three-dimensional lower limb joint angles at initial contact (IC) were recorded using a motion capture system (200 Hz) synchronized with force plates (1000 Hz). Jump height was also measured. Paired t-tests compared joint angles between spike and block landings and between dominant and non-dominant legs ($p \leq 0.05$).

Results: Spike jumps resulted in significantly higher jump heights compared to block jumps ($p = 0.002$). At initial contact, spike landings demonstrated significantly less knee and hip flexion, greater ankle plantarflexion, and a higher degree of non-dominant knee valgus compared to block landings. No significant inter-limb differences were found during block landings; however, spike landings showed significant asymmetries, with the non-dominant leg exhibiting riskier knee alignment and reduced flexion compared to the dominant leg.

Conclusion: Spike landings involve biomechanically riskier patterns than block landings, particularly in the non-dominant leg, potentially elevating ACL injury risk. Coaches should emphasize balanced lower-limb strength, enhanced knee and hip flexion during landing, and targeted neuromuscular training to mitigate these landing asymmetries.

Keywords: Volleyball, Landing biomechanics, Dominant vs non-dominant leg, ACL injury risk, Jump landing kinematics

Acknowledgments: the authors express their gratitude to all participants for their involvement in this study.

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

For citation: Majlesi M., Azadian E., Mohammad Zaheri R. Kinematic assessment of the dominant and non-dominant legs at initial contact: Implications for lower limb injury risk during spike and block landings in professional volleyball players. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2025;15(2):67–75. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.2>

Received: 03 June 2025

Accepted: 01 September 2025

Online first: 03 October 2025

Published: 14 November 2025

* Corresponding author

Кинематическая оценка доминирующей и недоминирующей ноги в момент первого контакта: последствия для риска травм нижних конечностей при приземлениях после атакующих и блокирующих прыжков у профессиональных волейболистов

Маджлеси Махди*, Элахех Азадиан, Рафе З. Мохаммад

Исламский университет Азад, Хамедан, Иран

АННОТАЦИЯ

Цель исследования: Приземления после атакующих (спайковых) и блокирующих прыжков в волейболе являются одной из основных причин травм нижних конечностей, особенно передней крестообразной связки (ПКС). Понимание различий в кинематике приземлений между этими двумя типами прыжков может способствовать улучшению стратегий профилактики травм. Цель данного исследования — изучить различия в кинематике приземлений нижних конечностей между прыжками при атаке и блоке, а также между доминирующей и недоминирующей ногой у профессиональных волейболистов.

Методы: Двадцать семь элитных волейболистов-мужчин выполняли атакующие и блокирующие прыжки через стандартную сетку (2,43 м). Трёхмерные углы суставов нижних конечностей в момент первого контакта с поверхностью фиксировались с помощью системы захвата движения (200 Гц), синхронизированной с силовыми платформами (1000 Гц). Также измерялась высота прыжка. Парные *t*-критерии Стьюдента использовались для сравнения углов суставов между типами прыжков и между доминирующей и недоминирующей ногой ($p \leq 0,05$).

Результаты: Атакующие прыжки сопровождалась значительно большей высотой прыжка по сравнению с блокирующими ($p = 0,002$). В момент первого контакта приземления после спайка характеризовались значительно меньшим сгибанием в колене и тазобедренном суставе, большей подошвенной флексией голеностопного сустава и выраженным вальгусом колена недоминирующей ноги по сравнению с блоком. Значимых различий между ногами при блокирующих приземлениях не наблюдалось, однако при приземлениях после спайка выявлялись выраженные асимметрии: недоминирующая нога демонстрировала более опасное выравнивание коленного сустава и меньшее сгибание по сравнению с доминирующей ногой.

Заключение: Приземления после атакующих прыжков сопровождаются более рискованной биомеханической схемой, особенно для недоминирующей ноги, что потенциально увеличивает риск повреждения ПКС. Тренерам рекомендуется уделять внимание развитию симметричной силы нижних конечностей, улучшению сгибания в коленном и тазобедренном суставах при приземлении, а также проведению целенаправленных нейромусcularных тренировок для уменьшения асимметрии при приземлениях.

Ключевые слова: волейбол, биомеханика приземления, доминирующая и недоминирующая нога, риск травмы ПКС, кинематика приземлений при прыжках

Благодарности: авторы выражают благодарность участникам исследования за их участие.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Маджлеси М., Азадиан Э., Мохаммад Захери Р. Кинематическая оценка доминирующей и недоминирующей ноги в момент первого контакта: последствия для риска травм нижних конечностей при приземлениях после атакующих и блокирующих прыжков у профессиональных волейболистов. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2025;15(2):67–75. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.2>

Поступила в редакцию: 03.06.2025

Принята к публикации: 01.09.2025

Online first: 03.10.2025

Опубликована: 14.11.2025

* Автор, ответственный за переписку

1. Introduction

Vertical jumps and landings are fundamental to volleyball performance, with players averaging around 83 jumps per training session and 71 per match [1, 2]. These frequent jumps, especially the explosive spike (attack) and block at the net, impose substantial loads on the lower extremities. Epidemiological reports indicate that a large proportion of volleyball injuries occur during the landing phase of spikes and blocks [3]. Notably, Garcia et al. (2022), citing Takahashi et al. (2019), reported that up to 75 % of anterior cruciate ligament (ACL) injuries in volleyball are associated with jump-landing tasks, mostly in non-contact situations [2, 4]. ACL injuries are among the most severe knee injuries for volleyball athletes, often requiring surgery and long rehabilitation

[5]. Understanding the biomechanics of landings is therefore critical for injury prevention and performance optimization.

Successful landings require effective dissipation of ground reaction forces, maintenance of balance, and joint stability. Insufficient lower-limb flexion (“stiff” landings) and poor neuromuscular control can increase impact forces and injury risk [6-8]. Prior research has identified key kinematic risk factors in jump landings. In particular, dynamic knee valgus, a multi-planar collapse involving excessive hip internal rotation and adduction, knee abduction (valgus), and ankle eversion, is strongly linked to ACL injury risk [9]. Biomechanical analyses show that greater knee valgus angles and moments during landing correspond with higher ACL loading [10]. Conversely, reduced hip and knee flexion angles and limited

ankle dorsiflexion range (i.e. landing more flat-footed) are also associated with elevated ACL injury risk, due to a “braking” effect that increases strain on passive structures [10]. For example, landing with less hip flexion range of motion was prospectively associated with higher ACL injury rates in young athletes [7, 11]. At the ankle, a more plantarflexed (toe-first) foot position at initial contact has been suggested to protect the knee by reducing valgus loading [12]. Thus, the optimal landing technique likely involves a coordinated strategy: adequate hip-knee flexion to absorb shock, while also utilizing ankle plantarflexion to modulate impact distribution.

In volleyball, players must often perform landings under varying conditions – a spike jump usually involves forward momentum and an asymmetrical one-foot-dominant take-off, whereas a block jump is typically straight upward with a more symmetrical two-foot take-off. These differences in approach and task may lead to distinct landing mechanics and potentially different injury risks. Additionally, athletes have a preferred dominant leg (often defined as the leg they would choose for a single-leg jump or that they feel more stable on) and a non-dominant leg. Imbalances between the legs can be problematic: side-to-side asymmetries in strength or technique might predispose the weaker or less coordinated limb to injury. Some studies have found limb dominance effects on landing biomechanics. For instance, during single-leg drop landings, the dominant limb can exhibit different kinematics or coordination patterns compared to the non-dominant limb [13, 14]. In multi-directional volleyball landings, limbs may use different joint moment strategies to handle similar loads [15]. However, the literature is not entirely consistent—certain analyses reported no significant kinematic differences between dominant and non-dominant limbs in jump landings, whereas others noted that the dominant leg could be at higher risk due to less optimal control in some scenarios [14]. These discrepancies highlight a knowledge gap regarding how limb dominance interacts with specific volleyball tasks (spike vs. block landings).

To date, there has been limited research focusing on in-game volleyball jumps (as opposed to standardized drop jumps) comparing the landing mechanics of the dominant and non-dominant legs. A more ecologically valid understanding of spike and block landings could reveal important asymmetries or technique differences that contribute to common injuries like ACL tears or ankle sprains. Therefore, the purpose of this study was to examine the three-dimensional kinematics at initial contact of the dominant and non-dominant lower limbs during spike and block landings in professional volleyball players. We aimed to determine how each leg’s joint angles (hip, knee, ankle in sagittal, frontal, transverse planes) differ between the two jump types, and to interpret whether those differences indicate altered injury risk profiles. We hypothesized that spike landings, due to their forward momentum and typically one-foot lead, would involve greater hip and knee flexion (to absorb impact) but potentially more asymmetry between legs, whereas block

landings might show more symmetric but stiffer (less flexed) lower-limb positions. We also expected the non-dominant leg to possibly exhibit riskier kinematics (such as more valgus or rotation) given it may have less neuromuscular control compared to the dominant leg. The findings of this study can help identify biomechanical factors associated with each landing technique and foot, informing targeted training and injury prevention strategies for volleyball players.

2. Methods

2.1. Participants

Twenty-seven elite male volleyball players from Iran’s top professional league volunteered for this study. All were actively training and competing ≥ 5 days per week. Mean (\pm SD) age, height, weight, and BMI were 25.1 ± 2.1 years, 1.83 ± 0.07 m, 75.9 ± 9.1 kg, and 22.6 ± 2.7 kg/m², respectively. Sample size was determined using G*Power ($\alpha = 0.05$, power = 0.80) to ensure sufficient sensitivity for within-subject comparisons. Inclusion criteria required no lower/upper limb injuries in the past year. Athletes with a history of ACL injury or lower-limb surgery were excluded. All reported right-leg dominance. Informed consent was obtained from all participants. The study was approved by the institutional ethics committee and followed the Declaration of Helsinki.

2.2. Instrumentation and procedure

All testing was performed in a biomechanics laboratory with a regulation volleyball net set at men’s official competition height (2.43 m). A three-dimensional motion capture system (Vicon Motion Systems, Oxford, UK) with six T20 cameras (200 Hz) was used to record kinematics of the lower extremities. Prior to data collection, a technician placed 14 reflective markers (14 mm diameter) on anatomical landmarks of each subject’s lower body according to the Plug-In Gait Marker Set model (Vicon Peak, Oxford, UK) [16]. This model allowed calculation of segment and joint angles for the hip, knee, and ankle in three planes. Kinetic data were simultaneously captured using two Kistler force plates (9281CA, Kistler Instrumente AG, Switzerland) embedded in the floor (1000 Hz sampling). The force plates were positioned so that each foot would contact a separate plate upon landing, enabling detection of initial ground contact (defined as the moment vertical force first exceeded 10 N) [17]. Kinematic and force data were time-synchronized through the Nexus 1.8.5 software (Vicon Motion Systems, Oxford, UK).

Before the jump trials, each athlete completed a standardized 15-minute warm-up of dynamic exercises for the upper and lower body, consistent with typical volleyball pre-match warm-ups (light jogging, dynamic stretches, jumping drills). To familiarize participants with the lab setup, they performed a few practice jumps (both spike and block movements). Jump height capabilities were then assessed to standardize effort: each player performed two maximal spike jumps (with a three-step approach) and two maximal block jumps, and the highest reach was recorded for each. For the spike jump, an approach run (typically 2–3 steps) was used and

the player jumped as if spiking a ball overhead. For the block jump, players started near the net with both feet and jumped straight up with arms simulating a block. We set a target such that during actual test trials, players aimed to jump ~90% of their maximal jump height for consistency and safety. Each participant performed six randomized trials of spike and block landings (Figs. 1 and 2). For spike trials, players mimicked an attack after an approach and landed bilaterally on force plates following a simulated set. For block trials, they reacted to a simulated set with a vertical jump and landed with arms raised. All landings were performed naturally with instructions to prepare for immediate movement. A 1-minute rest was provided between jumps. The three best-quality

trials per condition (clean foot contact and marker visibility) were selected.

Marker trajectories were filtered using a 4th-order Butterworth low-pass filter (6 Hz) [18]. Joint angles of the hip, knee, and ankle were calculated using the Plug-In Gait model at the instant of initial contact (IC), defined as the first frame with vertical GRF >10 N. Angles were assessed in sagittal (flexion/extension), frontal (adduction/abduction), and transverse (internal/external rotation) planes. Positive values represented flexion, adduction, and external rotation. Jump height was calculated as the vertical displacement of the ASIS marker between standing and jump peak. Each subject's three trials were averaged for analysis.



Fig. 1. Execution technique of the spike landing in professional volleyball players

Рис. 1. Техника выполнения приземления после нападающего удара у профессиональных волейболистов



Fig. 2. Execution technique of the block landing in professional volleyball players

Рис. 2. Техника выполнения приземления после блокирования у профессиональных волейболистов

2.3. Statistical analysis

All statistical analyses were conducted in SPSS v26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). The Shapiro–Wilk test confirmed that kinematic variables were normally distributed. Descriptive statistics (mean \pm standard deviation) were computed for all measures. A paired (dependent) samples *t*-test was used to compare spike vs. block landing outcomes. Specifically, for each leg (dominant and non-dominant), spike and block joint angle values were compared to identify task-related differences. This approach tested within-subject differences in landing kinematics for the same leg under two conditions. In addition, effect sizes (Cohen's *d*) were calculated for each comparison to assess the magnitude of differences, interpreted as small ($d = 0.20$), moderate ($d = 0.50$), and large ($d \geq 0.80$). Statistical significance was set at $p \leq 0.05$ for all comparisons.

3. Results

The average jump height during spike and block tasks in professional volleyball players was 57.17 ± 9.05 cm and 51.62 ± 6.69 cm, respectively, showing a statistically

significant difference ($p = 0.002$), with athletes demonstrating approximately 10 % higher jump heights during spike jumps compared to block jumps.

The results of comparisons between tasks are presented in Table 1. Block landings were characterized by significantly greater hip flexion angles compared to spike landings for both non-dominant ($p = 0.001$) and dominant ($p = 0.001$) legs, demonstrating approximately 50 % greater hip flexion. Additionally, block landings showed significantly greater knee flexion angles for both non-dominant ($p = 0.001$) and dominant ($p = 0.001$) legs, nearly doubling the knee flexion angles compared to spike landings. Conversely, spike landings exhibited significantly increased ankle plantarflexion for both non-dominant ($p = 0.001$) and dominant ($p = 0.001$) legs, with angles approximately 91 % higher compared to block landings, reflecting a more pointed toe position during initial contact.

In the frontal plane, hip abduction angles were significantly greater in block landings compared to spike landings for both non-dominant ($p = 0.001$) and dominant ($p = 0.001$) legs, indicating a wider stance during block landings. Knee

Table 1

Comparison of lower limb joint angles in three planes for the dominant and non-dominant legs at the moment of landing after a spike and block in professional volleyball players (angles in degrees [°], mean \pm SD)

Таблица 1

Сравнение углов суставов нижних конечностей в трёх плоскостях для доминирующей и недоминирующей ноги в момент приземления после атакующего и блокирующего прыжков у профессиональных волейболистов (углы в градусах [°], среднее \pm стандартное отклонение)

Variables	Foot	Assignment		Sig. (t)	Cohen's <i>d</i>
		Block	Spike		
Hip sagittal angle at IC	Non-dominant leg	36.70 \pm 9.23	24.02 \pm 3.76	0.001(6.954)	1.34
	Dominant leg	35.80 \pm 9.56	23.74 \pm 4.17	0.001(6.681)	1.28
Hip frontal angle at IC	Non-dominant leg	-11.58 \pm 3.92	-3.20 \pm 1.49	0.001(-5.398)	1.04
	Dominant leg	-9.94 \pm 4.56	-3.95 \pm 2.76	0.001(-5.949)	1.14
Hip horizontal angle at IC	Non-dominant leg	3.46 \pm 1.42	11.01 \pm 3.70	0.075(-1.856)	0.36
	Dominant leg	3.60 \pm 1.81	17.04 \pm 3.90	0.110(-1.652)	0.32
Knee sagittal angle at IC	Non-dominant leg	31.64 \pm 4.40	14.41 \pm 3.33	0.001(6.867)	1.32
	Dominant leg	30.18 \pm 4.07	16.69 \pm 3.82	0.001(7.338)	1.41
Knee frontal angle at IC	Non-dominant leg	3.36 \pm 1.89	7.55 \pm 2.72	0.049(-2.061)	0.40
	Dominant leg	3.06 \pm 1.34	4.86 \pm 2.23	0.416(-0.826)	0.16
Knee horizontal angle at IC	Non-dominant leg	3.13 \pm 1.15	-2.41 \pm 0.67	0.008(2.879)	0.55
	Dominant leg	3.08 \pm 1.92	1.02 \pm 0.16	0.437(0.789)	0.15
Ankle sagittal angle at IC	Non-dominant leg	-12.29 \pm 4.36	-23.38 \pm 7.33	0.001(5.613)	1.08
	Dominant leg	-12.30 \pm 5.29	-23.15 \pm 5.63	0.001(7.424)	1.43
Ankle frontal angle at IC	Non-dominant leg	0.10 \pm 0.03	0.35 \pm 0.03	0.300(-1.057)	0.20
	Dominant leg	0.42 \pm 0.06	0.56 \pm 0.05	0.589(-0.546)	0.10
Ankle horizontal angle at IC	Non-dominant leg	-4.19 \pm 1.47	-7.27 \pm 2.88	0.365(0.922)	0.18
	Dominant leg	-3.72 \pm 1.74	-7.33 \pm 2.10	0.405(0.846)	0.16

Note: (+) indicates flexion and (-) indicates extension in the sagittal plane, (+) indicates adduction and (-) indicates abduction in the frontal plane, and (+) indicates external rotation and (-) indicates internal rotation in the horizontal plane.

Примечание: (+) обозначает сгибание и (-) обозначает разгибание в сагиттальной плоскости, (+) обозначает аддукцию и (-) обозначает абдукцию во фронтальной плоскости, (+) обозначает наружную ротацию и (-) обозначает внутреннюю ротацию в горизонтальной плоскости.

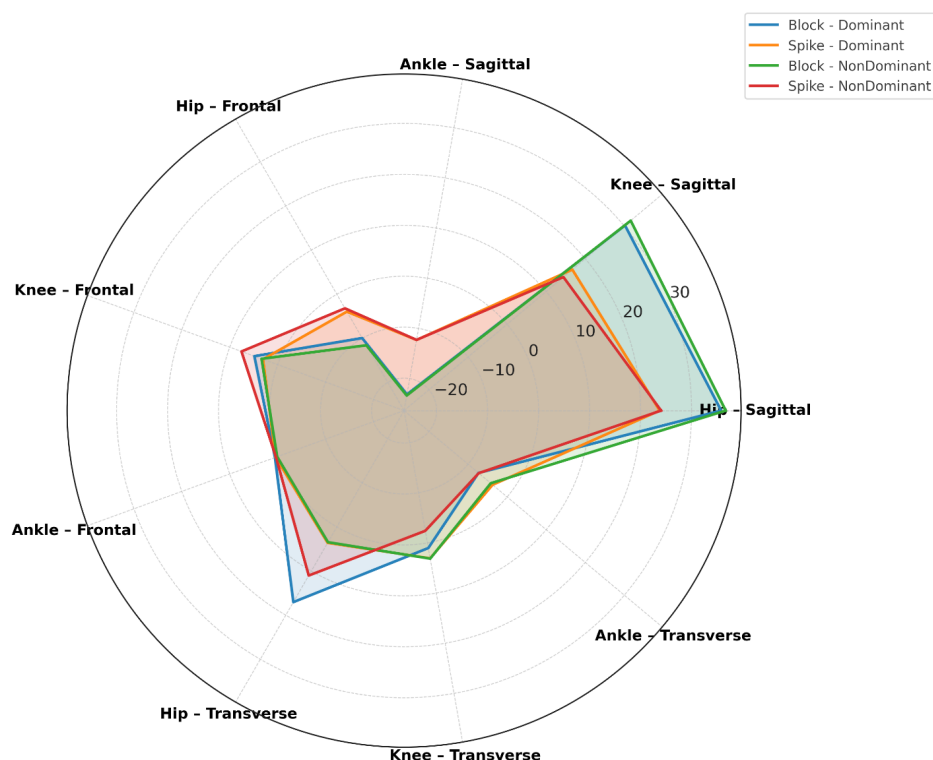


Fig. 3. Radar chart of lower limb joint angles ($^{\circ}$) at initial contact across spike and block landings for dominant and non-dominant legs

Рис. 3. Диаграмма в виде радиального графика, отображающая углы суставов нижних конечностей в момент первого контакта при приземлении после атакующего и блокирующего прыжков для доминирующей и недоминирующей ноги

frontal angle showed a significant difference only in the non-dominant leg ($p = 0.049$), being greater during spike landings. In the horizontal plane, a significant difference was found only for the non-dominant knee joint ($p = 0.008$), indicating greater external rotation during block landings compared to spike landings. No other significant transverse plane differences were observed for hip or ankle joints between tasks. Radar chart visualization (Fig. 3) effectively illustrates

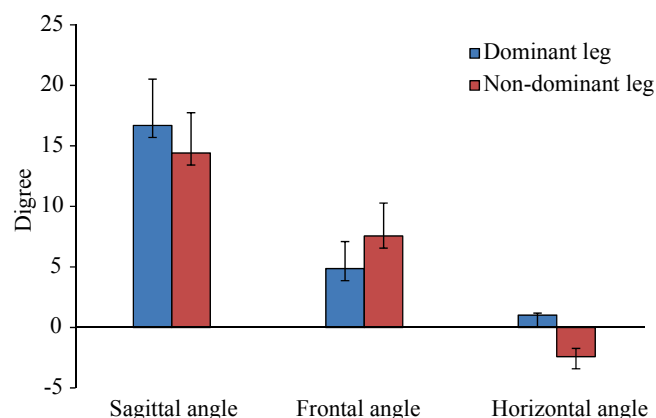


Fig. 4. Comparison of knee joint kinematics (sagittal, frontal, and transverse planes) between dominant and non-dominant legs during spike landings in professional volleyball players

Рис. 4. Сравнение кинематики коленного сустава (сагиттальная, фронтальная и горизонтальная плоскости) между доминирующей и недоминирующей ногой при приземлении после атакующего прыжка у профессиональных волейболистов

these overall kinematic differences between spike and block landings, highlighting complementary sagittal adjustments (greater hip and knee flexion in blocks, greater ankle plantarflexion in spikes) and the subtle frontal and transverse plane differences in joint alignment. Effect size analysis (Cohen's d) indicated large effects for hip sagittal angles ($d = 1.34$ and 1.28), knee sagittal angles ($d = 1.32$ and 1.41), and ankle sagittal angles ($d = 1.08$ and 1.43) between spike and block landings for both non-dominant and dominant legs. Moderate effects were observed for hip frontal angles, while other comparisons showed small or negligible effects.

The comparison between dominant and non-dominant legs within each task revealed additional meaningful insights. While no significant differences were detected between legs during block landings across any joint or plane, spike landings exhibited significant bilateral asymmetries specifically at the knee joint. The dominant leg showed significantly greater knee flexion in the sagittal plane ($p = 0.028$), more knee adduction in the frontal plane ($p = 0.006$), and greater external rotation in the transverse plane ($p = 0.021$) compared to the non-dominant leg in spike. These significant inter-leg differences during spike landings are visually summarized in the bar chart presented in Fig. 4.

4. Discussion

The present study compared the landing biomechanics of spike jumps and block jumps, revealing distinct kinematic strategies and leg asymmetries between these two

volleyball-related tasks. As expected, the dynamic spike jump produced a ~10% greater jump height than the block jump, consistent with the extra approach momentum and counter-movement involved. However, this higher jump height was accompanied by markedly different landing mechanics.

Block jump landings were characterized by significantly deeper hip and knee flexion (approximately 50% and 100% greater, respectively) in both limbs, whereas spike jump landings were notably stiffer, with much less flexion at the hip and knee. Spike landings also featured about 91% more ankle plantarflexion at contact, indicating a more toe-first landing [19]. From a biomechanical perspective, greater knee and hip flexion during landing, allows effective energy absorption through increased eccentric muscle activity, reducing peak impact forces transmitted through the lower limbs [6, 20]. Previous literature suggests that greater knee and hip flexion during landing is associated with reduced ACL loading and may potentially contribute to lower injury risk, although these studies did not directly compare injured and non-injured athletes [13, 21]. Conversely, the relatively stiff landing posture characteristic of spike jumps, involving less knee and hip flexion, may increase lower limb joint stress and potential injury risk, particularly for ACL and knee joint structures [22, 23]. These findings align with previous research highlighting limited knee flexion as a significant injury risk factor in dynamic landing tasks [24]. Block landings, done very close to the net with mostly vertical flight, use a softer, more controlled strategy with greater hip/knee flexion. In contrast, spike landings follow an approach with forward momentum and longer take-off, yielding a relatively stiffer, less-flexed posture; match data also show attack jumps are typically higher than blocks, increasing deceleration demands [2, 25, 26]. Deeper hip/knee flexion increases eccentric energy absorption and attenuates impact, whereas limited knee flexion is linked to greater frontal-plane knee loads and higher ACL loading/strain [27]. Therefore, coaching cues that preserve or increase hip/knee flexion in spike landings—and that manage approach speed—are biomechanically justified [28].

In the frontal plane, block and spike landings revealed distinct strategies for maintaining stability. Block landings showed greater hip abduction, indicating a wider stance that may enhance lateral stability and promote more neutral knee alignment [29]. In contrast, spike landings involved reduced hip abduction and increased knee valgus, particularly in the non-dominant leg. This medial knee displacement, combined with decreased external rotation, creates a risky biomechanical profile. Dynamic valgus coupled with internal tibial rotation is known to elevate ACL strain [13, 30]. These findings suggest that spike landings, especially on the non-dominant side, may pose greater risk, while block landings offer a more protective alignment for the knee.

The presence or absence of inter-limb asymmetry in these tasks further underscores how task demands shape biomechanics. In block jump landings, we found no significant differences between the dominant and non-dominant legs in any plane, indicating a symmetric contribution of both

limbs. This symmetry may be expected in block jumps, a mostly vertical, two-foot landing task, and aligns with studies reporting that healthy and uninjured athletes generally show nearly symmetric kinetics and kinematics during controlled double-leg landings, with only small asymmetries at the hip and ankle in the frontal and transverse planes [22, 31].

In contrast, spike jump landings elicited pronounced asymmetrical behavior between the legs. The dominant limb landed with greater knee flexion and a more externally rotated, varus (adducted) knee alignment, while the non-dominant limb exhibited a more extended knee, greater valgus collapse, and more internal rotation. Biomechanically, this suggests the athlete relied more on the dominant leg to eccentrically absorb the landing (hence bending it more), whereas the non-dominant leg, which often serves as the lead foot in a spike jump landing, may not have flexed as much and instead collapsed medially. This asymmetry is consistent with the concept of leg dominance influencing landing strategy. Volleyball spike approaches are typically executed such that a right-handed hitter's final step is with the left (non-dominant) foot forward, leading to a landing that loads the left leg more heavily [13]. As a result, the non-dominant limb often bears greater landing forces due to a unilateral loading bias. Our findings are consistent with previous reports on single-leg landings and cutting maneuvers, where the non-dominant limb showed poorer postural stability, less optimal alignment, and a stiffer landing posture with greater medio-lateral center-of-pressure excursion, largely attributed to lower muscular strength, particularly weaker hamstrings [19].

Our spike landing data concur: the non-dominant leg's reduced flexion and increased valgus could stem from deficits in strength or neuromuscular control, making it the weak link during the high-impact landing. This notion is further supported by studies showing the non-dominant limb can experience significantly larger impact forces [23] and that it generally has to compensate for the dominant limb's preferential use in lead-up movements [13]. Conversely, the dominant leg's more favorable mechanics (greater flexion, less valgus) during spike landings might be due to it being the stronger limb, capable of better shock absorption. Taken together, these results highlight a clear interplay between jump type and leg dominance: a symmetric task like a block jump encourages both limbs to share the load evenly, whereas the asymmetric nature of a spike jump (due to approach steps and hitting strategy) leads to the non-dominant limb being placed in a mechanically disadvantageous position.

Our findings show that spike landings, especially on the non-dominant limb, involve stiffer sagittal mechanics and less favorable frontal/transverse alignment than block landings, consistent with ACL-loading mechanisms [13, 19, 31]. These markers highlight practical applications for screening and coaching (e.g., monitoring flexion, controlling valgus/transverse motions, strengthening the non-dominant side). Although interventions were not tested here, RCT-level evidence supports neuromuscular training to improve landing mechanics and reduce ACL risk surrogates [32–35].

5. Conclusion

This study identified task- and limb-specific kinematic differences during volleyball landings. Compared to block jumps, spike jumps were characterized by reduced hip and knee flexion, greater ankle plantarflexion, and a less favorable frontal/transverse knee profile, particularly on the non-dominant side. These patterns are consistent with mechanisms linked to higher ACL-relevant loading and may indicate a potentially elevated biomechanical risk, especially for the non-dominant limb. Because this study involved a healthy

Authors contribution:

Mahdi Majlesi — writing original draft, review & editing, validation, supervision, methodology, conceptualization.

Elaheh Azadian — methodology, project administration, writing original draft, review & editing.

Rafe Mohammad Zaheri — software, data curation, resources.

athletic cohort and an observational, non-interventional design without an injured comparator, the findings should be interpreted as markers of potential risk rather than direct evidence of injury incidence, and they cannot be generalized to all lower-limb injuries. From an applied perspective, these markers may help guide screening and coaching strategies, such as monitoring hip and knee flexion at initial contact, emphasizing frontal/transverse control, and targeting non-dominant limb strength, although their effectiveness should be verified in future controlled or prospective studies.

Вклад авторов:

Махди Маджлеси — написание первоначальной версии рукописи, обзор и редактирование, валидация, контроль, методология, концептуализация.

Элаех Азадиан — методология, администрирование проекта, написание первоначального проекта, рецензирование и редактирование.

Рафе З. Мохаммад — программное обеспечение, курирование данных, ресурсы.

References/ Литература

1. **Lobiatti R., Coleman S., Pizzichillo E., Merni F.** Landing techniques in volleyball. *J. Sports Sci.* 2010;28(13):1469–1476. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.514278>
2. **Garcia S., Delattre N., Berton E., Divrechy G., Rao G.** Comparison of landing kinematics and kinetics between experienced and novice volleyball players during block and spike jumps. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 2022;14(1):105. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00496-0>
3. **Augustsson S., Augustsson J., Thomeé R., Svantesson U.** Injuries and preventive actions in elite Swedish volleyball. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2006;16(6):433–440. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00517.x>
4. **Takahashi S., Nagano Y., Ito W., Kido Y., Okuwaki T.** A retrospective study of mechanisms of anterior cruciate ligament injuries in high school basketball, handball, judo, soccer, and volleyball. *Medicine.* 2019;98(26):e16030. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000016030>
5. **Ferretti A., Papandrea P., Conteduca F., Mariani P.P.** Knee ligament injuries in volleyball players. *Am. J. Sports Med.* 1992;20(2):203–207. <https://doi.org/10.1177/036354659202000219>
6. **Hewett T.E., Myer G.D., Ford K.R., Heidt Jr R.S., Colosimo A.J., McLean S.G., et al.** Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am. J. Sports Med.* 2005;33(4):492–501. <https://doi.org/10.1177/0363546504269591>
7. **Leppänen M., Pasanen K., Krosshaug T., Kannus P., Vasan-kari T., Kujala U.M., et al.** Sagittal plane hip, knee, and ankle biomechanics and the risk of anterior cruciate ligament injury: a prospective study. *Orthop. J. Sports Med.* 2017;5(12):2325967117745487. <https://doi.org/10.1177/2325967117745487>
8. **Aliev R.** Comparison of the “core stability” tests results among elite athletes A. *Sports Medicine: Research and Practice.* 2023;3(13):37–43. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.3>
9. **Dewald M., Andersen M., Higgins L., Porter E., Wickersham A.** Are We Overlooking Anatomical Contributions to Dynamic Knee Valgus? *Int. J. Sports Phys. Ther.* 2025;20(2):189–198. <https://doi.org/10.26603/001c.128587>
10. **Belkhehladi M., Cierston T., Martineau P.A.** Biomechanical Risk Factors for Increased Anterior Cruciate Ligament Loading and Injury: A Systematic Review. *Orthop. J. Sports Med.* 2025;13(2):23259671241312681. <https://doi.org/10.1177/23259671241312681>
11. **Mohammad Zaheri R., Majlesi M., Fatahi A.** Assessing the Effects of Fatigue on Ground Reaction Force Variations during Landing after a Spike in Professional Volleyball Players. *J. Sport Biomech.* 2024;10(1):54–68. <https://doi.org/10.61186/jsportbiomech.10.1.54>
12. **Lee J., Shin C.S.** Association between ankle angle at initial contact and biomechanical ACL injury risk factors in male during self-selected single-leg landing. *Gait Posture.* 2021;83:127–131. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.08.130>
13. **Jamkrajang P., Thongin T., Phuvachaiivate N., Lim-roongreungrat W.** Comparative analysis of lower extremity kinematics: Effects of different singleleg rotational landings on dominant and non-dominant legs. *Journal of Physical Education and Sport.* 2024;24(3):649–657. <https://doi.org/10.7752/jpes.2024.03077>
14. **Sinsurin K., Vachalathiti R., Srisangboriboon S., Richards J.** Knee joint coordination during single-leg landing in different directions. *Sports Biomech.* 2020;19(5):652–664. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1510024>
15. **Sinsurin K., Srisangboriboon S., Vachalathiti R.** Side-to-side differences in lower extremity biomechanics during multidirectional jump landing in volleyball athletes. *Eur. J. Sport Sci.* 2017;17(6):699–709. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1308560>
16. **Zaheri R.M., Majlesi M., Azadian E., Fatahi A.** Kinematic and kinetic evaluation of jump-landing task in volleyball defense: implications for acl injury risk assessment. *Kinesiology Slovenica.* 2022;28(1):141–155. <https://doi.org/10.52165/kinsi.28.1.141-155>
17. **Bates N.A., Ford K.R., Myer G.D., Hewett T.E.** Impact differences in ground reaction force and center of mass between the first and second landing phases of a drop vertical jump and their implications for injury risk assessment. *J. Biomech.* 2013;46(7):1237–1241. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.02.024>
18. **Sorkheh E., Majlesi M., Jafarnezhadgero A.A.** Frequency domain analysis of gait ground reaction forces in deaf and hearing children. *J. Sport Biomech.* 2018;4(2):17–27.

19. Wang J., Fu W. Asymmetry between the dominant and non-dominant legs in the lower limb biomechanics during single-leg landings in females. *Advances in Mechanical Engineering*. 2019;11(5):1687814019849794. <https://doi.org/10.1177/1687814019849794>
20. Niu W., Wang Y., He Y., Fan Y., Zhao Q. Kinematics, kinetics, and electromyogram of ankle during drop landing: a comparison between dominant and non-dominant limb. *Hum. Mov. Sci.* 2011;30(3):614–623. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2010.10.010>
21. Pappas E., Carpes F.P. Lower extremity kinematic asymmetry in male and female athletes performing jump-landing tasks. *J. Sci. Med. Sport*. 2012;15(1):87–92. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.07.008>
22. Van der Harst J., Gokeler A., Hof A. Leg kinematics and kinetics in landing from a single-leg hop for distance. A comparison between dominant and non-dominant leg. *Clin. Biomech.* 2007;22(6):674–680. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2007.02.007>
23. Pashak R. Susceptibility to Ankle Sprain Injury between Dominant and Non-Dominant Leg During Jump Landings [Master's Thesis]. University of Kentucky; 2019. <https://doi.org/10.13023/etd.2019.451>
24. Schmidt M., Nolte K.F., Terschluse B., Jaitner T. Fatigue impairs kinematics but not kinetics of landing and cutting movements in elite youth female handball players. *ISBS Proceedings Archive*. 2020;38(1):176.
25. Lima R.F., Palao J.M., Clemente F.M. Jump performance during official matches in elite volleyball players: A pilot study. *J. Hum. Kinet.* 2019;67:259. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0080>
26. Hendrik H., Ramba Y., Arpandjam'an, Kapoor G. Jump-to-Box exercise has an increasing effect on jumping ability in adolescents. *Sports medicine: research and practice*. 2023;13(3):53–57. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.8>
27. Chen L., Jiang Z., Yang C., Cheng R., Zheng S., Qian J. Effect of different landing actions on knee joint biomechanics of female college athletes: Based on opensim simulation. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2022;10:899799. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.899799>
28. Dai B., Garrett W.E., Gross M.T., Padua D.A., Queen R.M., Yu B. The effect of performance demands on lower extremity biomechanics during landing and cutting tasks. *J. Sport Health Sci.* 2019;8(3):228–234. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.11.004>
29. Ford K.R., Myer G.D., Hewett T.E. Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2003;35(10):1745–1750. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000089346.85744.d9>
30. Myer G.D., Ford K.R., Brent J.L., Hewett T.E. Differential neuromuscular training effects on ACL injury risk factors in "high-risk" versus "low-risk" athletes. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2007;8:1–7. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-8-39>
31. Mueske N., Katzel M.J., Chadwick K.P., Vandenberg C., Pace J.L., Zaslow T., et al. Biomechanical symmetry during drop jump and single-leg hop landing in uninjured adolescent athletes. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2019;7(3 Suppl):2325967119S00023. <https://doi.org/10.1177/2325967119S00023>
32. Sugimoto D., Myer G.D., Foss K.D.B., Pepin M.J., Micheli L.J., Hewett T.E. Critical components of neuromuscular training to reduce ACL injury risk in female athletes: meta-regression analysis. *Br. J. Sports Med.* 2016;50(20):1259–1266. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095596>
33. Nagelli C.V., Di Stasi S., Wordeman S.C., Chen A., Tatarski R., Hoffman J., et al. Knee biomechanical deficits during a single-leg landing task are addressed with neuromuscular training in anterior cruciate ligament-reconstructed athletes. *Clin. J. Sport Med.* 2021;31(6):e347–e53. <https://doi.org/10.1097/jsm.0000000000000792>
34. Schlick S.L. The Effect of Plyometrics-Based Neuromuscular Training on the Lower Extremity Landing Biomechanics of Adolescent Female Athletes: A Meta-Analysis [dissertation]. California State University, Fresno; 2024.
35. Anversha A.T., Ramalingam V. A Systematic Review: Significance of Plyometric Training on Functional Performance and Bone Mineral Density in Basketball Players of Different Age Groups. *Sports medicine: research and practice*. 2023;13(2):62–76. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.2.6>

Information about the authors:

Mahdi Majlesi*, Associate Professor of Sport Biomechanics, Department of Sport Biomechanics, Ha.C., Islamic Azad University; Professor Mussivand Blvd, Hamedan, 6517653811, Iran. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2032-4937> (m.majlesi@iau.ac.ir)

Elaheh Azadian, Associate Professor of Motor Behavior, Department of Motor Behavior, Ha.C., Islamic Azad University; Professor Mussivand Blvd, Hamedan, 6517653811, Iran. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0114-9208> (elaheh.azadian@iau.ac.ir)

Rafe Mohammad Zaheri, PhD in Sport Biomechanics, Department of Sport Biomechanics, Ha.C., Islamic Azad University; Professor Mussivand Blvd, Hamedan, 6517653811, Iran. . ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5416-3495> (rafezaheri@yahoo.com)

Информация об авторах:

Маджлеси Махди*, доцент по спортивной биомеханике, кафедра спортивной биомеханики, Исламский университет Азад; Бульвар профессора Муссиванда, Хамедан, 6517653811, Иран. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2032-4937> (m.majlesi@iau.ac.ir)

Азاديан Элахе, доцент по моторному поведению, кафедра моторного поведения, Исламский университет Азад; Бульвар профессора Муссиванда, Хамедан, 6517653811, Иран. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0114-9208> (elaheh.azadian@iau.ac.ir)

Мохаммад Захери Рафи, доктор спортивной биомеханики, кафедра спортивной биомеханики, Исламский университет Азад; Бульвар профессора Муссиванда, Хамедан, 6517653811, Иран. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5416-3495> (rafezaheri@yahoo.com)

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

Для заметок



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

