

ISSN 2223-2524 (Print)

ISSN 2587-9014 (Online)

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3>



Спортивная Медицина:

наука и практика



*Sports
Medicine:*

research and practice

T. 14 №3

2024



ЦЕНТР МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ СЕЧЕНОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

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



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





СЕЧЕНОВСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



КЛИНИКА ЛУЖНИКИ
спортивная медицина

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

Спортивная медицина: наука и практика

научно-практический журнал

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМЕСТИТЕЛИ

ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

Медведев И.Б. — проф., д.м.н.

НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Оганесян А.С. — проф., д.б.н.

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

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

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

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

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

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

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

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

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



СЕЧЕНОВСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



КЛИНИКА ЛУЖНИКИ
спортивная медицина

Founded by:

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

Sports Medicine: Research and Practice

research and practical journal

FOCUS AND SCOPE

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

EDITOR-IN-CHIEF

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

ASSOCIATE EDITORS

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

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

SCIENTIFIC EDITOR

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

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

РУБРИКИ ЖУРНАЛА:

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

ВИДЫ ПУБЛИКУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ:

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

Издатель:

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

Заведующий редакцией:

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

Редакция:

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

Типография:

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

Сайт:

smjournal.ru
neicon.ru

Подписано в печать 04.03.2025

Формат 60x90/8

Тираж 1000 экз.

Цена договорная

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

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

Плата за публикацию статей в журнале с аспирантов не взимается.

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

Журнал издается с 2011 года

Периодичность — 4 выпуска в год

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» — 90998

© Спортивная медицина: наука и практика, оформление, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Реабилитация

А.Г. Капустин

Методика реабилитации детей с детским церебральным параличом с использованием средств следж-хоккея 5

Заболевания спортсменов

А.В. Жолинский, Н.С. Гладышев, А.И. Кадькова, Р.В. Деев

Рациональная классификация спортсменов высшего мастерства на основе структуры заболеваемости 14

Спортивное питание

М.М. Халеги, Ф. Ахмади, М. Хофмейстер

Влияние потребления шоколада на здоровье и результативность футболистов: систематический обзор 26

Т.М. Вахидов, Е.С. Капралова, Г.И. Малякин, Е.Д. Королева, Д.С. Баранова, Э.Н. Безуглов

Эффект однократного применения высоких доз кофеина на время зрительной реакции юных элитных футболистов в покое и на фоне физической нагрузки разной интенсивности 35

Физиология и биохимия спорта

М.А. Дикунец, Е.В. Федотова, Г.А. Дудко, Э.Д. Вирюс

Динамика маркера повреждения миокарда тропонина Т у биатлонистов высокого класса на этапах подготовительного периода 46

М.В. Санькова, В.Н. Николенко, Л.А. Гридин

Изменение адаптации опорно-двигательного аппарата к физическим нагрузкам при дисплазии соединительной ткани: анализ некоторых пусковых факторов 55

Врачебный контроль

Мутху Кумар Шридар, Рамеш Чандрасекарпандян, Арвинд Шанмугам, Хариш Нараянан, Дипак Рам Туласи Раман

Является ли отсутствие контроля нагрузки у элитных пловцов фактором риска получения перегрузочных травм? 65

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

Scopus

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU

ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

РУКОНТ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ РЕСУРС

INFOBASE INDEX

Crossref

SIE
Scientific Indexing Services

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

FEATURED TOPICS:

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

TYPES OF PUBLISHED MATERIALS:

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

Publisher:

Nonprofit Partnership "National Electronic Information Consortium" (NEICON)
4, bldng 5, of. 2.4, Letnikovskaya str., Moscow, 115114, Russia
tel./fax: +7 (499) 754-99-94
<https://neicon.ru/>

Deputy editor:

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

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: 04 March 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

Rehabilitation

Alexander G. Kapustin

Method of rehabilitation for children with cerebral palsy using sledge hockey 5

Sports Diseases

Andrey V. Zholinsky, Nikita S. Gladyshev, Anastasia I. Kadykova, Roman V. Deev

Rational classification of top-level athletes based on morbidity patterns. 14

Sports Supplements

Mohammad Mehdi Khaleghi, Fatemeh Ahmadi, Martin Hofmeister

Effects of chocolate consumption on the health and performance of football players: A systematic review 26

Timur M. Vakhidov, Elizaveta S. Kapralova, Georgiy I. Malyakin, Egana D. Koroleva, Daria S. Baranova, Eduard N. Bezuglov

The effect of a single high dose of caffeine on the visual reaction time of young elite soccer players at rest and during varying intensities of physical activity. 35

Sports Physiology and Biochemistry

Marina A. Dikunets, Elena V. Fedotova, Grigory A. Dudko, Edward D. Virus

Dynamics of the myocardial damage marker troponin T in elite biathlons at the stages of the early season 46

Maria V. Sankova, Vladimir N. Nikolenko, Leonid A. Gridin

Changes in musculoskeletal adaptation to physical activity in connective tissue dysplasia: analyzing some triggering factors 55

Medical control

Muthu Kumar Sridhar, Ramesh Chandrasekarapandyan, Arvind Shanmugam, Harish Narayanan, Deepak Ram Thulasi Raman

Does the lack of monitoring put elite swimmers at danger of overuse injuries? 65

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



INTERNATIONAL



Method of rehabilitation for children with cerebral palsy using sledge hockey

Alexander G. Kapustin

Vyatka State University, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Kirov, Russia

ABSTRACT

Purpose of the study: to scientifically substantiate, develop and test the effectiveness of sledge hockey as rehabilitation method for children with cerebral palsy (CP).

Methods: the study involved 12 boys aged 8–14 years with a diagnosis of CP, spastic diplegia, II and III levels of large motor functions development (according to Gross Motor Function Classification System).

The pedagogical experiment was conducted on the basis of the charitable foundation “Eto chudo” in Kirov. Tests to determine the level of physical fitness and the development of fine motor skills were carried out. In addition, a questionnaire among parents, which is aimed at assessing the condition of a child with CP, was conducted.

Results: a comparison of the results of initial and final testing shows that the data is reliable. This indicates that the developed experimental method of rehabilitation of children with CP using sledge hockey is effective. Also, according to the results of the survey of parents, it was concluded that the child's working capacity has increased; the child has become more balanced, and has fewer colds.

Conclusion: when using sledge hockey in the rehabilitation of children with CP, the level of physical fitness and development of fine motor skills increased, as well as the quality of life of children with CP improved.

Keywords: CP, rehabilitation, sledge hockey, physical development, fine motor skills

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

For citation: Kapustin A.G. Method of rehabilitation for children with cerebral palsy using sledge hockey. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika* (Sports medicine: research and practice). 2024;14(3):5–13. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.3>

Received: 14 October 2024

Accepted: 11 December 2024

Online first: 22 January 2025

Published: 04 March 2025

Методика реабилитации детей с детским церебральным параличом с использованием средств следж-хоккея

А.Г. Капустин

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Киров, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: научно обосновать, разработать и проверить эффективность методики реабилитации детей с детским церебральным параличом (ДЦП) с помощью средств следж-хоккея.

Материалы и методы: в исследовании приняли участие 12 мальчиков 8–14 лет с диагнозом детский церебральный паралич, спастическая диплегия, II и III уровень развития больших моторных функций (согласно системе классификации больших моторных функций).

Педагогический эксперимент проводился на базе благотворительного фонда «Это чудо» г. Кирова. Были проведены тесты, направленные на определение уровня физической подготовленности и развития мелкой моторики. Кроме того, было проведено анкетирование среди родителей, которое направлено на оценку состояния ребенка с ДЦП.

Результаты: сравнение результатов начального и конечного тестирования показывает, что данные являются достоверными. Это свидетельствует о том, что разработанная экспериментальная методика реабилитации детей с ДЦП с использованием средств следж-хоккея является эффективной. Также по результатам опроса родителей были сделаны выводы, что повысилась работоспособность ребенка, он стал более уравновешенным и меньше болеет простудными заболеваниями.

Заключение: при использовании средств следж-хоккея в реабилитации детей с ДЦП уровень физической подготовленности и развития мелкой моторики увеличился, также улучшилось качество жизни детей с ДЦП.

Ключевые слова: ДЦП, реабилитация, следж-хоккей, физическое развитие, мелкая моторика

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Капустин А.Г. Методика реабилитации детей с детским церебральным параличом с использованием средств следж-хоккея. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(3):5–13. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.3>

Поступила в редакцию: 14.10.2024

Принята к публикации: 11.12.2024

Online first: 22.01.2025

Опубликована: 04.03.2025

1. Introduction

At present there is a need to improve the organization of psychological and pedagogical assistance to children with musculoskeletal disorders, since this pathology is extremely common and tends to grow.

Disability due to cerebral palsy (CP) ranks first in the structure of disability in children according to the neurological profile, and its severity is due to motor, mental and language disorders. The main clinical symptom of CP is a impairment of motor function associated with developmental delay and abnormal development of statokinetic reflexes, abnormal tone and paresis. The degree of disability in 20–35 % of patients is so severe that they are unable to self-care, move independently, or engage in learning activities [1].

The problem of CP has been of concern to scientists for a long time. For several years now, children with CP have been under the close attention of special educators. Most children with CP were considered hopeless for treatment and recovery, and therefore few specialized institutions were created for their treatment, and few qualified specialists were trained. Children with CP were sent to social welfare institutions without sufficient treatment [2].

The attitude towards these children has changed over the past 10–15 years after the development of effective treatment methods. Statistics on children with CP show that it is impossible to completely cure the disease. Medicine can only alleviate the patient's condition — minimize pain, gradually build muscle tissue, and prevent the progression of the disease.

According to the federal register of disabled people, the number of disabled children in the Kirov region as of 01.04.2023 is 4883 people, and 49.56 % of them are children at the age of 8–14 [3].

Adaptive sports, including sports for people with intellectual disabilities, provide an opportunity for people with disabilities to assert themselves, increase their activity, self-confidence, improve the quality of life and acquire new social roles, functions, statuses. Game sports that involve collective interaction in the process of training competitive activities (football, hockey, etc.) have a particularly strong impact on the mental aspect of participants, their social characteristics, skills and abilities of social and everyday orientation, which is very important for people with intellectual disabilities.

The impact of sledge hockey on people with disabilities is currently characterized not only by special needs as by increased attention from society to these people. In recent years, the society has started to actively involve people with

health problems in social life, but in addition to exclusive training and socialization, these children need rehabilitation of the body.

Sledge hockey is one of the technologies that contribute to improving health. Sledge hockey is a team sport on ice, an analogue of ice hockey for people with disabilities.

The use of various means of physical rehabilitation plays crucial role in the process of restoring the impaired functions of patients with CP, taking into account the individual characteristics of each patient [4–8].

Physical rehabilitation of disabled children with musculoskeletal disorders based on the selection of effective means of health and correctional orientation in physical education classes contributes to the targeted correction and formation of motor skills of disabled children [9, 5, 10–12].

Since adaptive physical education (APE) is a broad area of activities aimed at strengthening health, active comprehensive and harmonious development of personality, improvement of natural inclinations and abilities genetically embedded in each person, it allows to effectively solve the problem of integrating people with disabilities into society.

In the field of development of youth sledge hockey and the prospects for the rehabilitation of adolescents using this adaptive sport, the studies of D.A. Astakhov (2021), K.A. Badrak (2015), A.A. Gaiduk (2020, 2022) [13–16] were studied.

At the same time, the relevance of the problem is determined by the insufficient study of the rehabilitation effect when using means, methods, and methodological techniques of sledge hockey at the initial stage of sports training of children diagnosed with CP, taking into account their psychophysical and psychomotor characteristics.

After analyzing scientific and methodological literature, it was possible to identify a contradiction between the need for rehabilitation of children with CP and insufficient study of the rehabilitation effect of sledge hockey. There are many methods of rehabilitation for children with this condition, but they are not always able to motivate such children to exercise; sledge hockey has a competitive element, so, there is an interest of children in the best result of a team.

The revealed contradiction served to formulate the scientific problem of the research: if sledge hockey classes can improve the level of physical fitness, development of fine motor skills and, in general, the quality of life of children with CP.

The purpose of the research is to scientifically substantiate, develop and test the effectiveness of sledge hockey as rehabilitation method for children with CP.

2. Methods

The study involved 12 boys aged 8–14 years with a diagnosis of CP, spastic diplegia, II and III levels of large motor functions development (according to Gross Motor Function Classification System).

The pedagogical experiment was conducted on the basis of the charitable foundation “Eto chudo” in Kirov. The study involved 12 children who study at this school. The study was conducted in three stages.

Disorders of the musculoskeletal system in the form of scoliosis, contractures in the joints, and chronic diseases of the respiratory system were distinguished from concomitant diseases.

The selection of children was carried out on the basis of medical reports and with the written consent of the parents. The previous experience of physical activity in all children included mainly massage and therapeutic gymnastics.

To achieve this goal, the following tasks were solved:

1. To conduct a theoretical analysis of the means, forms and methods of adaptive physical education, identify the possibility of their use in sledge hockey for children with CP.

2. To study features of physical development and physical fitness of children diagnosed with CP.

3. To develop methods for the rehabilitation of children with CP using sledge hockey.

4. To substantiate the effectiveness of the rehabilitation method for children with CP using sledge hockey in the course of the pedagogical experiment.

To study the possibility of correcting motor disorders in children with CP in accordance with the set tasks, both theoretical and empirical research methods were used: analysis and generalization of scientific and methodological literature, observation, questionnaire, testing, experiment, and the method of mathematical statistics.

To assess the motor capabilities of children with CP, tests that are described in the physical training standards, taking

into account the age of children undergoing sports training in sledge hockey, were used.

The standards of sports training and their correlation at the stages of sports training in groups involved in this sport are given in Table 1.

To determine the level of development of fine motor skills in children with CP, the following tests were used:

- 1) Test to identify the switch ability of finger movements [17].

Consists of two tests: “Fist — edge — palm”, “Playing the piano”.

- 2) Test to determine the full range of finger movements [18].

- 3) Test to determine the level of development of the ability to maintain a given position of the fingers of the hand [18].

- 4) Test to determine the level of accuracy of movement of the fingers of the dominant hand [18].

- 5) “Lowering the stick — reaction” [19].

- 6) To assess the degree of development of skeletal muscles, wrist dynamometry (maximum wrist strength) of the right and left hands was assessed using child’s hand dynamometer.

In the end of the experiment, the survey of parents on improving the condition of children involved in sledge hockey according to the developed methodology was conducted. The questionnaire includes 9 questions-statements and 5 answer options:

- 1) Has the child become less likely to get colds after he/she started playing sledge hockey?

- 2) Has the child’s coordination improved?

- 3) Has the child’s ability to work improved?

- 4) Has the child become more sociable and goal-oriented?

- 5) Has the child become more self-confident?

- 6) Has his/her academic performance at school improved?

- 7) Has the child become more balanced?

- 8) Has the family microclimate improved?

Table 1

Standards of general physical and special physical fitness for enrollment in groups at the initial training stage

Таблица 1

Нормативы общей физической и специальной физической подготовки для зачисления в группы на этапе начальной подготовки

Physical quality to be developed	Control exercises (tests)*
Speed	Running on special sleds on ice for 10 m (without taking into account the time)
Coordination	“Snake” on special sleds around 5 poles (without taking into account the time)
Endurance	Running on special sleds around the perimeter of the court (without taking into account the time)
Strength	Lifting a medicine ball (1 kg), lying on a bench up with straight arms from the chest (at least 5 times)
Strength endurance	Lifting the body from a lying position on a bench to a sitting position (at least 3 times)
Speed-strength abilities	Throwing a medicine ball (1 kg) with hands from behind the head forward while sitting on a bench (without taking into account the result)

The study was conducted with the approval of the physician and under the supervision of the exercise therapy instructor. The parents also monitored the course of the study. The pedagogical experiment was conducted with their written consent.

This study was approved by the Ethics Committee of Vyatka State University (Protocol No 5 from 11.01.2024).

The mathematical statistics method was used to process the results using a computer. Statistical processing of the research results was carried out using methods of variation statistics. The following statistical indicators were determined: the arithmetic mean of the variation series (M), the mean square (standard) deviation (σ), the average error of the arithmetic mean (m) and the parametric t -Student criterion (t).

3. Results

After carrying out control measurements in the beginning of the experiment, the physical fitness data of children with CP between 8-14 years of age participating in the experiment was obtained. Table 2 presents the average group indicators of the level of physical fitness of children aged 8-14 with CP in the experimental group in the beginning of the pedagogical experiment.

To assess the level of fine motor skills development in children with CP, the control tests described above were used. The results are presented in Table 3.

Based on the analyzed scientific and methodological literature, the conducted ascertaining experiment, the experimental methodology was developed aimed at developing the physical fitness of children with CP between 8–14 years of age by means of sledge hockey.

The methodological and theoretical basis of the experimental methodology for developing physical fitness and fine motor skills of children with CP between 8–14 years of age was the works of domestic and foreign authors:

The experimental methodology was based on general methodological principles and principles of sports training.

The goal of the developed methodology: to increase the level of physical fitness, fine motor skills using specially developed sets of exercises at the initial stage of training young sledge hockey players and, as a result, to improve the quality of life.

The structural model of sports training for sledge hockey players between 8–14 years of age is shown in Figure 1.

Nine months after the start of classes, the final stage of the study was conducted to assess the effectiveness of using the

Table 2

Average group indicators of the level of physical fitness of children at the age of 8–14 with CP in the experimental group in the beginning of the pedagogical experiment ($n = 12$)

Таблица 2

Среднегрупповые показатели уровня физической подготовленности учащихся 8–14 лет с детским церебральным параличом в экспериментальной группе на начало педагогического эксперимента ($n = 12$)

№	Test	Experimental group $M_{\text{exp}} \pm m$
1	Running on special sleds on ice for 10 m, seconds	6.15 ± 0.29
2	“Snake” on special sleds around 5 poles, seconds	11.9 ± 0.56
3	Running on special sleds around the perimeter of the court (endurance), seconds	93.6 ± 7.1
4	Lifting a medicine ball (1 kg), points	2.83 ± 0.4
5	Lifting the body from a lying position on a bench to a sitting position, points	2.42 ± 0.32
6	Throwing a medicine ball (1 kg) with hands from behind the head forward while sitting on a bench, points	2.52 ± 0.13

Table 3

Results of the ascertaining pedagogical experiment to assess the level of fine motor skills development in children CP between 8–14 years of age, who play sledge hockey, in the beginning of the pedagogical experiment

Таблица 3

Результаты констатирующего педагогического эксперимента по оценке уровня развития мелкой моторики у детей с ДЦП 8–14 лет, занимающихся следж-хоккеем, в начале педагогического эксперимента

№	Test	Experimental group $M_{\text{exp}} \pm m$
1	Test to identify the switch ability of finger movements, points	2.56 ± 0.16
2	Test to determine the full range of motion of the fingers, points	2.89 ± 0.21
3	Test to determine the level of development of the ability to maintain a given position of the fingers of the hand, points	3.14 ± 0.17
4	“Lowering the stick — reaction”, points	3.25 ± 0.17

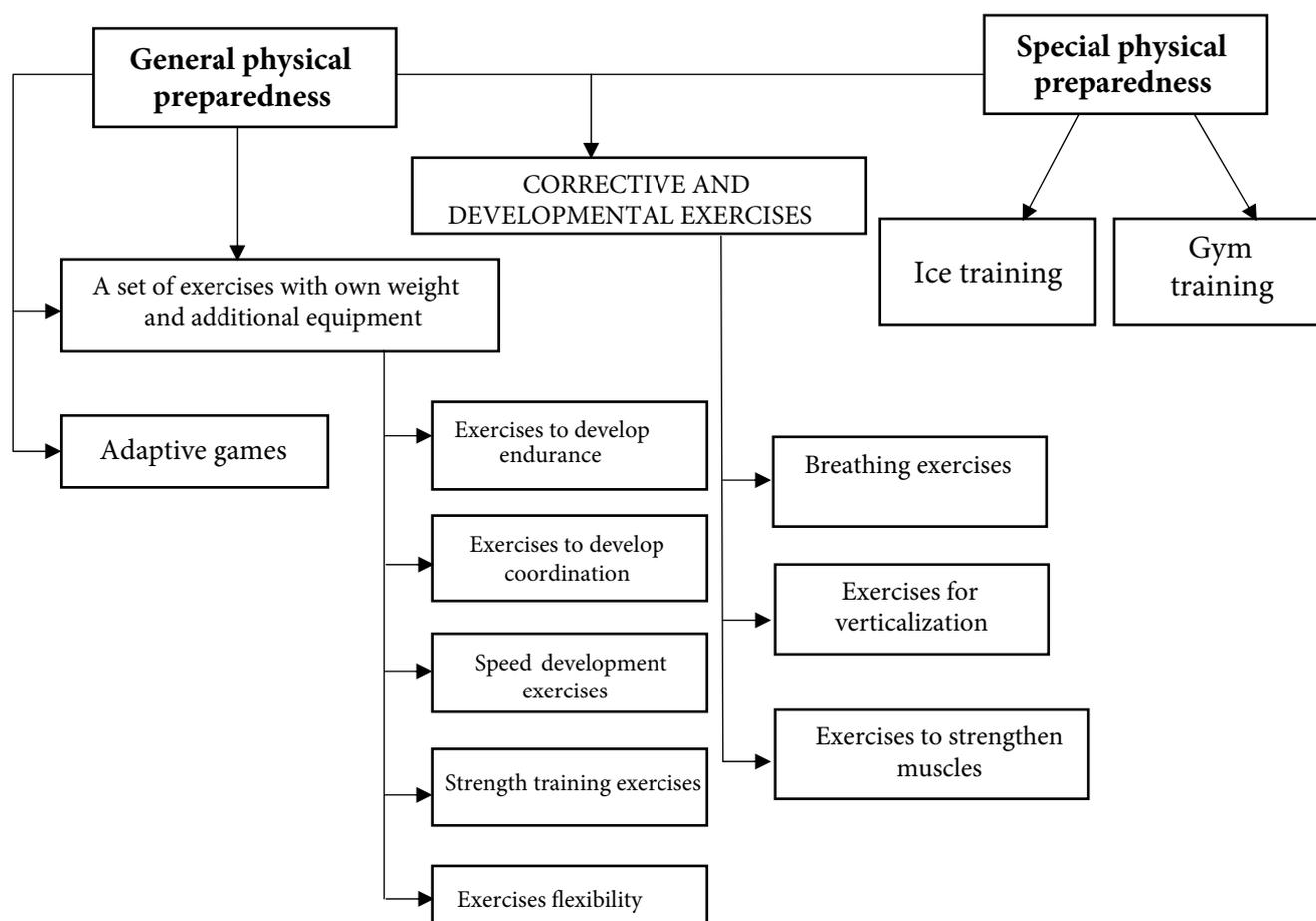


Fig. 1. The structural model of sports training for sledge hockey players between 8–14 years of age

Рис. 1. Структурная модель спортивной подготовки следж-хоккеистов 8–14 лет с диагнозом детский церебральный паралич

experimental methodology of classes to develop coordination skills in children with CP between 8–14 years of age by means of playing sledge hockey. For this purpose, repeated testing was conducted.

The comparative results of physical fitness testing at the initial and final stages of the experiment are presented in Table 4.

The comparative results of testing the level of physical fitness of children with CP between 8–14 years of age in the beginning and end of the pedagogical experiment show that there was a reliable increase in the level of development of speed, coordination, endurance, and strength.

The comparative results of testing the level of development of fine motor skills of children with CP between 8–14 years of age in the beginning and end of the pedagogical experiment show that there was a significant increase in the results.

Based on the obtained results, it can be judged that adaptive physical education classes according to the developed methodology had a positive effect on the test results. Assessing the obtained data on the level of physical fitness of 8–14 years old with CP in the end of the experiment, an improvement in the results was observed for all indicators.

Figure 6 graphically presents the results of the survey after the pedagogical experiment ($n = 12$).

According to the figure, it is evident that the experimental method of sports training of sledge hockey players using corrective and developmental exercises had a positive effect on the condition of children with CP. The parents noted that the quality of life of their children with developmental disabilities improved after the classes. It was emphasized that the child's academic performance improved, he became calmer and was less likely to suffer from colds.

A positive increase in communication skills and determination of children was noted; children started to feel more self-confident. Many parents noted an improvement in the microclimate in the family due to the fact that children were engaged in adaptive sports training.

Thus, as a result of the formative pedagogical experiment, it was revealed that the level of indicators increased, which proves the effectiveness of the developed methodology. Consequently, the methodology can be recommended for using when developing coordination, speed, strength abilities in children with CP 8–14 years of age by means of sledge hockey, as an additional means of developing physical qualities in the implementation of a complex of adaptive physical education.

Table 4

Comparative results of physical fitness testing of children with CP between 8–14 years of age at the initial and final stages of the pedagogical experiment (n = 12)

Таблица 4

Сравнительные результаты тестирования уровня физической подготовленности учащихся 8–14 лет с детским церебральным параличом на начало и конец педагогического эксперимента (n = 12)

Test	Results of the experimental group tests		t (2.07)	p (0.05)
	in the beginning	in the end		
	$M_{\text{нач}} \pm m$	$M_{\text{к}} \pm m$		
Running on special sleds on ice for 10 m, seconds	6.15 ± 0.29	4.24 ± 0.26	4.90	$p \leq 0.05$
“Snake” on special sleds around 5 poles, seconds	11.9 ± 0.56	9.87 ± 0.45	2.83	$p \leq 0.05$
Running on special sleds around the perimeter of the court (endurance), seconds	93.6 ± 7.1	73.2 ± 6.10	2.18	$p \leq 0.05$
Lifting a medicine ball (1 kg), points	2.83 ± 0.40	4.17 ± 0.39	2.40	$p \leq 0.05$
Lifting the body from a lying position on a bench to a sitting position, points	2.42 ± 0.32	3.67 ± 0.38	2.42	$p \leq 0.05$
Throwing a medicine ball (1 kg) with hands from behind the head forward while sitting on a bench, points	2.52 ± 0.13	2.91 ± 0.12	2.20	$p \leq 0.05$

Table 5

Comparative results of testing the level of development of fine motor skills of children with CP between 8–14 years of age in the beginning and end of the pedagogical experiment (n = 12)

Таблица 5

Сравнительные результаты тестирования уровня развития мелкой моторики учащихся 8–14 лет с детским церебральным параличом на начало и конец педагогического эксперимента (n = 12)

Test	Results of the experimental group tests		t (2.07)	p (0.05)
	in the beginning	in the end		
	$M_{\text{нач}} \pm m$	$M_{\text{к}} \pm m$		
Test to identify the switch ability of finger movements, points	2.56 ± 0.16	3.11 ± 0.18	2.28	$p \leq 0.05$
Test to determine the full range of motion of the fingers, points	2.89 ± 0.21	3.58 ± 0.23	2.22	$p \leq 0.05$
Test to determine the level of development of the ability to maintain a given position of the fingers of the hand, points	3.14 ± 0.17	3.68 ± 0.19	2.12	$p \leq 0.05$
“Lowering the stick — reaction”, points	3.25 ± 0.17	3.83 ± 0.21	2.15	$p \leq 0.05$

4. Discussion

As a result of the analysis of scientific and methodological literature, it was revealed that many authors dealt with the problem of physical rehabilitation of children with disabilities in general. Physical rehabilitation of disabled children with musculoskeletal disorders based on the selection of effective means in physical education classes contributes to the targeted correction and formation of motor skills of disabled children, which is confirmed in research [5, 4, 9, 10].

In the process of reviewing literary sources, almost no use of Paralympic sports for the purpose of physical rehabilitation of disabled children was found. Nowadays, there are a huge number of different sports and only 22 of them are adapted for people with disabilities.

According to the scientific and methodological literature, the authors did not identify specific results of rehabilitation

of children with CP using sports games. The exception was the article by V.O. Osipov and A.S. Chubukov, related to the use of only badminton elements. The authors have developed a comprehensive program of extracurricular badminton classes to correct motor disorders of high school students with the consequences of CP in the late residual stage with the I level of development of large motor functions (independent walking without restrictions) [8]. However, we have not identified studies of children with CP with II and III levels of large motor functions development in team sports, such as sledge hockey.

In addition, our attention should be paid to a study related to the effectiveness of the technology of medical rehabilitation of Paralympians involved in playing sports, in particular wheelchair basketball [20]. The authors proved that active-passive electrical stimulation and active mechanotherapy in

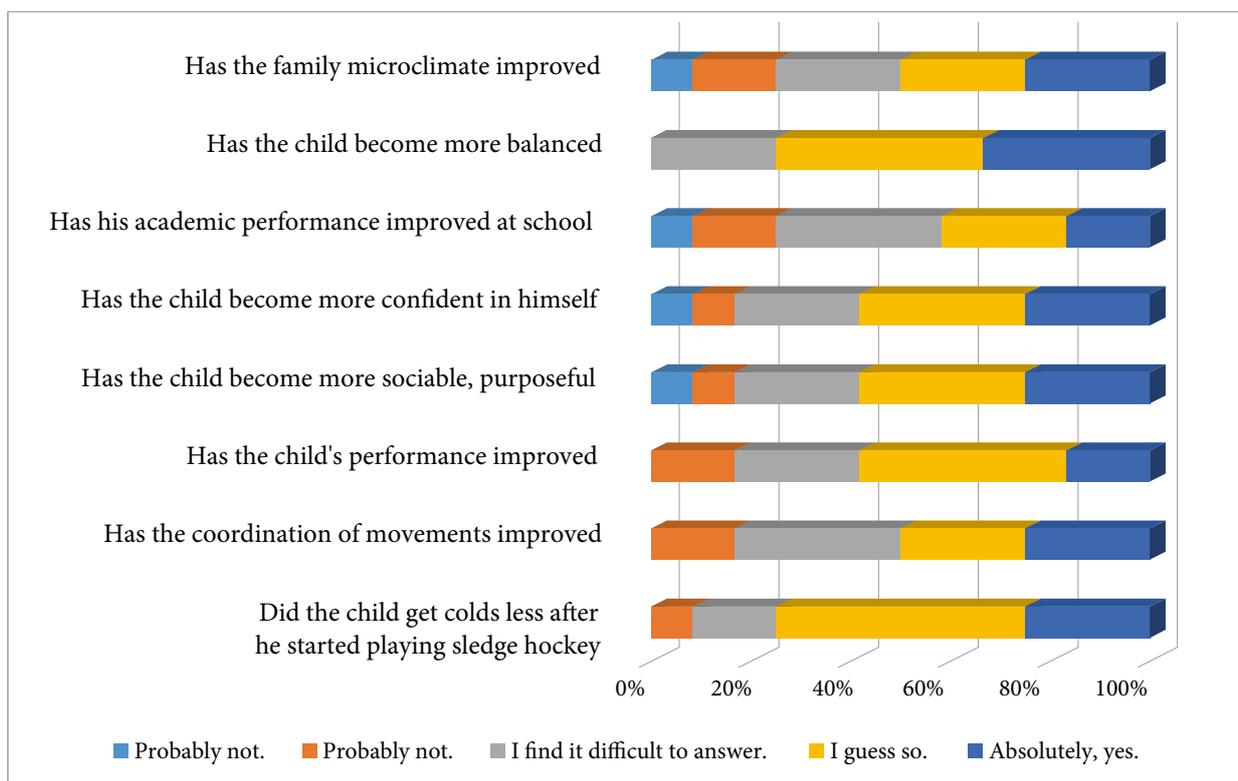


Fig. 2. Results of the survey after the pedagogical experiment

Рис. 2. Показатели анкетного опроса после проведения педагогического эксперимента

Paralymptians with traumatic spinal cord disease at the lumbar level of injury can significantly increase the indicators of free movement, respectively, the effectiveness of rehabilitation and quality of life of patients.

Thus, when studying the scientific literature, the relevance of the problem was revealed. It is determined by the insufficient study of the rehabilitation effect of the use of means, methods, and methodological techniques of sledge hockey at the initial stage of sports training of children diagnosed with CP, taking into account their psychophysical and psychomotor characteristics.

The presented data of the ascertaining experiment in the beginning of using the method indicate a low level of physical development and physical fitness of children diagnosed with CP, which were improved during the course of the study.

Based on the results of the ascertaining experiment and the identified characteristics of children with disabilities, the experimental methodology for the sports training of sledge hockey players was developed and a set of corrective and developmental exercises was introduced to improve the muscles using own weight and specialized modern equipment (expanders, medicine balls, sliders, fitness rubber), as well as with the addition of a final exercises set aimed at stretching and relaxing muscles, breathing exercises, exercises for verticalization and strengthening the muscles to increase vitality. These sets of exercises contribute to the active development of postural muscles, correction of ataxia and improvement of proprioception.

The main differences between the experimental method of physical rehabilitation of children with CP and the currently existing methods of rehabilitation of such patients

with this disease is the combination of innovative methods of sports rehabilitation using sledge hockey tools and sets of corrective and developmental exercises, which will allow maximum involvement of children of this category in training and competitive activities.

The effectiveness of the developed methodology was tested during the pedagogical experiment and confirmed by the following results:

- in the test "Running on special sleds on ice for 10 m" the results improved by 68.9 %;
- in the test "Snake" on special sleds around 5 poles" the results improved by 82.9 %
- in the test "Running on special sleds around the perimeter of the court" the result increased by 78.2 %
- in the test "Lifting a medicine ball (1 kg)", the results improved by 47.3 %;
- in the test "Lifting the body from a lying position on a bench to a sitting position" the results improved by 51.6 %;
- in the test "Throwing a medicine ball (1 kg) with hands from behind the head forward while sitting on a bench" the results improved by 15.5 %.

These data indicate a positive impact of exercises according to the developed method in the training process of children between 8–14 years of age diagnosed with CP.

Consequently, the used method can be recommended for a wide use in work on the development of coordination, speed, strength abilities, fine motor skills and, as a result, in general, improving the quality of life of children with CP between 8–14 years of age by means of playing sledge hockey.

Limitations. The small sample size of the subjects is explained by the specifics of sledge hockey training sessions under the guidance of one coach. Possible bias in the selection of participants in the experiment is excluded, since almost all children who received medical admission and parental consent participated in it. The limitations in the duration of the study (9 months) are explained by the seasonality and structure of the training process in sledge hockey.

Author contribution:

Alexander G. Kapustin — conceptualization and design of research, data collection, analysis and interpretation, preparation of the article and its review from the point of view of significant intellectual content.

References / Список литературы

1. **Shapkova L.V.**, ed. Private methods of adaptive physical culture. Moscow: Sovetskii sport Publ.; 2004. (In Russ.).
2. **Nikitina M.N.** Cerebral palsy. Moscow: Meditsina Publ.; 1979. (In Russ.).
3. The Federal Register of Persons with Disabilities [internet]. Available at: <https://sfri.ru/> (In Russ.).
4. **Gross N.A.**, ed. Modern methods of physical rehabilitation of children with impaired functions of the musculoskeletal system. Moscow: Sovetskii sport Publ.; 2005. (In Russ.).
5. **Deryabina G.I., Osmanov E.M., Selitrennikova T.A.** Features of physical rehabilitation of the disabled due to CP. In: Fundamental and applied research in the education system: Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference. Part 1. Tambov; 2005, pp. 86–89. (In Russ.).
6. **Ivanova V.A.** Methodology for the development of psychophysical qualities of children 6–7 years old with CP by means of sports games. Modern high technologies. 2011;6:45–46. (In Russ.).
7. **Lyannoy M.O.** Physical rehabilitation of schoolchildren of grades I–IV with CP in order to correct motor disorders. In: Young sports science of Ukraine: Collection of scientific works. Vol.4. Lviv: LGIFK; 2000, pp. 275–277. (In Russ.).
8. **Osipov V.O., Chubukov A.S.** Elements of badminton in the physical rehabilitation of school-age children with the consequences of CP. In: XXIX scientific conference of MGAFK students, postgraduates and applicants: Abstracts. XIV issue. Malakhovka: MGAFK; 2005, pp. 197–200. (In Russ.).
9. **Berkutova I.Y.** The development of functional abilities of constitution children-invalid in the process of physical rehabilitation. Scientific notes of the P.F. Lesgaft university. 2008;(7):11–14. (In Russ.).
10. **Strelnikova I.V., Kononov K.M.** The influence of a special kinesiological complex on the psychomotor state of students with the consequences of CP studying in college. In: Modern technologies of sports medicine, physical rehabilitation and adaptive physical education: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Naberezhnye Chelny: Kama State Institute of Physical Culture; 2010, pp. 142–144. (In Russ.).
11. **Poteshkin A.V., Talamova I.G.** Effectiveness of the methodology of education of coordination abilities in students aged 10–11 with CP. Scientific notes of the P. F. Lesgaft University.

5. Conclusions

Thus, as a result of the formative pedagogical experiment, it was revealed that the level of indicators has increased, which indicates the effectiveness of the methodology developed by authors. Therefore, the sledge hockey can be recommended for wide application in the development of coordination, speed, and strength abilities in children aged 8–14 years with CP as an additional means of developing physical qualities in the implementation of an adaptive physical culture complex.

Вклад автора:

Капустин Александр Григорьевич — концептуализация и дизайн исследования, сбор данных, их анализ и интерпретация, подготовка статьи и ее рецензия с точки зрения значимого интеллектуального содержания.

2021;(4):365–372. (In Russ.). <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2021.4.p365-372>

12. **Semenova K.A., Tanyukhina E.I., Shestakov V.P., Starobina E.M., Nilova T.A., Dyskin A.A.** Comprehensive rehabilitation of children with CP. Moscow: Bimk-D Publ.; 2012. (In Russ.).

13. **Astakhov D.A., Kartashev V.P.** Prospects for the development of youth sledge hockey in Russia for the physical rehabilitation of children with cerebral palsy. In: Problems and prospects for the development of sports education, science and practice: Materials of the V intramural scientific conference of young scientists, Moscow, December 16, 2020 year. Moscow: Moscow Pedagogical State University; 2021. pp. 34–39. (In Russ.).

14. **Badrak K.A.** Hockey-sledge: historiography of the issue. Scientific notes of the P. F. Lesgaft University. 2015;(4):18–22. (In Russ.).

15. **Gaiduk A.A., Puchkov A.A.** Sledge hockey: prospects for development in the Tula region. In: Modern technologies in physical education and sports: materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation. Tula: Tula Production Printing Association; 2020, pp. 185–187. (In Russ.).

16. **Gaiduk A.A., Romanov V.A., Rudneva L.V.** Pedagogical conditions of the initial stage of training adolescents with damage to the musculoskeletal system in sledge hockey. In: Actual issues of physical culture and sports: mater. XXIV All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of Professor YT Revyakin (Tomsk, March 25–26, 2022). Tomsk: TPU; 2022, pp. 273–275. (In Russ.).

17. **Luria A.R.** Fundamentals of neuropsychology: a textbook for students of institutions of higher professional education studying in the field of Psychology. 8th ed. Moscow: Akademiya Publ.; 2013. (In Russ.).

18. **Bachina O.V., Korobova N.F.** Finger gymnastics with objects: determining the leading hand and developing writing skills in children 6–8 years old. Moscow: ARKTI Publ.; 2007. (In Russ.).

19. **Lomeyko V.F.** The development of physical qualities in physical education lessons in grades I–X. Minsk: Narodnaya Asveta Publ.; 1980. (In Russ.).

20. **Bodrova R.A., Zakamyrdina A.D., Delyan A.M., Karimova G.M., Vasilyeva L.F.** The effectiveness of active medical rehabilitation technologies among Paralympians engaged in playing sports. Sports medicine: research and practice. 2023;13(1):41–47. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.1.1>

Information about the author:

Alexander G. Kapustin, Ph.D. (Pedagogy), Associate Professor of the Department of Sports Disciplines and Adaptive Physical Education, Vyatka State University, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, 36 Moskovskaya St., Kirov, 610000, Kirov Region, Russia (usr11637@vyatsu.ru)

Информация об авторе:

Капустин Александр Григорьевич, к.п.н., доцент кафедры спортивных дисциплин и адаптивной физической культуры, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» Министерства науки и высшего образования РФ, Россия, 610000, Кировская область, г. Киров, ул. Московская, 36 (usr11637@vyatsu.ru)

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.1>

УДК: 616.1

Тип статьи: Оригинальное исследование / Original article



Рациональная классификация спортсменов высшего мастерства на основе структуры заболеваемости

А.В. Жолинский¹, Н.С. Гладышев¹, А.И. Кадыкова^{1,*}, Р.В. Деев^{1,2}

¹ ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Москва, Россия

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

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучение статистических данных о структуре заболеваний спортсменов высшего мастерства и выявление новых закономерностей их распространения.

Материалы и методы: анализ обезличенных медицинских данных 15 464 членов сборных команд России, проходивших углубленное медицинское обследование в клиниках Федерального медико-биологического агентства за период 2021–2023 годов. Данные включали различные антропометрические, физиологические и клинические параметры спортсменов.

Результаты: определены 6 классификационных кластеров видов спорта, основанных на анализе основных групп заболеваний, наиболее часто встречающихся у спортсменов высшего мастерства. В каждом кластере высокая частота встречаемости заболеваний специфична для определенных видов спорта.

Заключение: проанализирована структура заболеваемости спортсменов высшего мастерства и разработана классификация видов спорта на основании распространенности и схожести патологических состояний в различных видах спорта. Этот классификационный подход может быть основой для создания индивидуализированных программ профилактики и реабилитации, учитывающих специфические риски для здоровья, связанные с различными видами спорта.

Ключевые слова: спортивная медицина, спорт, профилактика, медико-биологическое сопровождение, углубленное медицинское обследование, классификация

Благодарности: Научное исследование проведено на основании выполнения Государственного задания «Изучение генетических маркеров, лимитирующих и определяющих успешность соревновательной деятельности, профилактика нежелательных последствий такой деятельности для жизни и здоровья спортсменов» (шифр: «МГИ-22»). Регистрационный номер НИОКТР: 122032300491-3.

Для цитирования: Жолинский А.В., Гладышев Н.С., Кадыкова А.И., Деев Р.В. Рациональная классификация болезней спортсменов высшего мастерства. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(3):14–25. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.1>

Поступила в редакцию: 01.10.2024

Принята к публикации: 01.12.2024

Online first: 20.12.2024

Опубликована: 04.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

Rational classification of top-level athletes based on morbidity patterns

Andrey V. Zholinsky¹, Nikita S. Gladyshev¹, Anastasia I. Kadykova^{1,*}, Roman V. Deev^{1,2}

¹ Federal Research and Clinical Center for Sports Medicine and Rehabilitation,
Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia

² Avtsyn Research Institute of Human Morphology of Petrovsky National Research Centre of Surgery,
Moscow, Russia

ABSTRACT

Purpose of the study: to study statistical data on the structure of diseases in participants of Russian national sports teams and to create a classification based on the prevalence of diseases in different sports.

Materials and methods: analysis of anonymized medical data of 15,464 participants of Russian national teams who underwent in-depth medical examination in the clinics of the Federal Medical and Biological Agency for the period 2021–2023. The data included various anthropometric, physiologic, and clinical characteristics of the athletes. Statistical processing and data visualization were performed using the R programming language.

Results: 6 classification clusters of sports were identified based on the analysis of the main groups of diseases most frequently encountered in top skill athletes. In each cluster, high incidence of diseases is specific to certain sports.

Conclusion: a classification of sports based on the prevalence of diseases in athletes of the national teams of the Russian Federation was developed. This classification approach can be the basis for the creation of individualized prevention and rehabilitation programs that take into account specific health risks associated with different sports.

Acknowledgements: The scientific research was carried out on the basis of fulfilment of the State task 'Study of genetic markers limiting and determining the success of competitive activity, prevention of undesirable consequences of such activity for life and health of athletes' (code: 'MGI-22'). Registration number of the R&D project: 122032300491-3.

Keywords: sports medicine, sport, prevention, medical and biological support, in-depth medical examination

For citation: Zholinskii A.B., Gladyshev N.C., Kadykova A.I., Deev R.B. Rational classification of diseases of high-level athletes. *Sportivnaya medicina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(3):14–25. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.1>

Received: 01 October 2024

Accepted: 01 December 2024

Online first: 20 December 2024

Published: 04 March 2025

*Corresponding author

1. Введение

Сохранение здоровья спортсменов высокой квалификации остается крайне актуальным в контексте их спортивного долголетия. Интенсивные и регулярные физические нагрузки способствуют развитию ряда функциональных и морфологических изменений в организме [1]. При срыве адаптационных процессов это ведет к широкому спектру изменений различных органов и систем, которые при отсутствии коррекции тренировочных и соревновательных нагрузок могут способствовать развитию патологических состояний. Понимание структуры заболеваемости в такой специфической группе, как спортсмены высшего мастерства, имеет ключевое значение для разработки эффективных стратегий профилактики и управления их здоровьем [2, 3].

Существует несколько подходов к классификации спортивных дисциплин, основанных на особенностях тренировочных нагрузок, направленности тренировочного процесса, преимущественном виде нагрузки (статической и динамической). Существуют различные способы классификации видов спорта. Один из них — Олимпийская классификация, которая основывается на международных правилах и включает в себя виды спорта, представленные на Олимпийских играх

[4]. Другой подход — классификация Mitchel и соавт., которая разделяет виды спорта на динамические и статические [5]. Третий способ — классификация Гендельсмана и Смирнова, основанная на схожести физиологии спортивных упражнений и специальных навыков спортсменов [6]. Четвертый подход — классификация Л. П. Матвеева [7, 8], которая учитывает особенности предмета состязания и характер двигательной активности. Также возможно классифицировать виды спорта по преимущественному энергообеспечению мышечной деятельности: аэробный, анаэробный лактатный, анаэробный креатинфосфатный [9]. Однако ни одна из этих классификаций не группирует виды спорта по рискам возникновения патологических состояний. Имеются попытки классифицировать спортивные дисциплины по риску возникновения ремоделирования миокарда и по характеру воздействия нагрузок на опорно-двигательный аппарат (ОДА) [10, 11]. Эти классификации связывают только одно патологическое состояние с регулярными физическими нагрузками и не оценивают структуру заболеваемости по многим нозологическим единицам в различных видах спорта. Группируя спортивные дисциплины по наиболее часто встречающимся патологическим состояниям, возможно разработать предупреждающие

программы возникновения этих состояний на доклинической стадии и разработать эффективные профилактические стратегии по управлению неблагоприятными исходами.

Цель исследования — изучение статистических данных о структуре заболеваний участников национальных спортивных команд России и выявление новых закономерностей их распространения.

2. Материалы и методы

Участниками исследования стали 15464 спортсмена сборных команд России, проходивших углубленное медицинское обследование (УМО) в 2021–2023 годах в клиниках Федерального медико-биологического агентства (ФМБА России). По результатам УМО было оценено распределение таких признаков, как пол, возраст, индекс массы тела (ИМТ), вид спорта и заболеваний, зашифрованных по Международной классификации болезней 10-го пересмотра (МКБ-10), перечисленных в сводном заключении. Всего в анализ включено 85 заболеваний, наиболее часто установленных в ходе проведения УМО (приложение 1).

Для каждого вида спорта рассчитаны частоты встречаемости заболеваний и стандартизованы относительно численности спортсменов. Виды спорта с численностью участников менее 30 ($n < 30$), а также заболевания, встречающиеся менее чем у 30 ($n < 30$) спортсменов исключены из анализа. Этот порог обоснован центральной предельной теоремой и эмпирическим правилом, согласно которым выборка размером 30 и более обеспечивает статистическую значимость и надежность результатов, минимизируя вариативность и повышая точность статистических оценок [12]. Данные по заболеваемости агрегированы и нормализованы по численности спортсменов в каждом виде спорта. Затем данные стандартизованы с использованием функции *scale*. Кластерный анализ выполнен с использованием расстояния Гауэра и метода Варда для выявления паттернов распространения заболеваний. Результаты визуализированы в виде тепловых карт с дендрограммами, построенных с помощью пакета *heatmap*. Анализ выполнен с использованием R (v. 4.3.3) и пакетов: *readxl* (v. 1.4.3, <https://github.com/tidyverse/readxl>), *dplyr* (v. 1.1.4, <https://github.com/tidyverse/dplyr>), *tidyr* (1.3.1, <https://github.com/tidyverse/tidyr>), *cluster* (v. 2.1.6, <https://svn.r-project.org/R-packages/trunk/cluster/>), *factoextra* (v. 1.0.7.), *dendextend* (v. 1.17.1, <https://www.r-statistics.com/tag/dendextend/>), *heatmap* (v. 1.0.12), *RColorBrewer* (v. 1.1–3).

Исследование выполнено в соответствии с этическими принципами, изложенными в Хельсинкской декларации, и одобрено Этическим комитетом ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины» ФМБА России (выписка № 2 от 24.10.22 г.). Параметры УМО, выгруженные из электронных баз, были деперсонифицированными.

3. Результаты

Структура выборки

Медианный возраст спортсменов, включенных в статистический анализ, составлял 21 год (Q1–Q3: 19–27 лет), рост — 174 см (Q1–Q3: 166,5–182,0 см). Также в выборке имелась половая диспропорция с преобладанием мужского пола (женщин — 6627; мужчин — 8837).

Общая структура заболеваемости по всем 85 нозологическим единицам представлена в табл. 1. Наиболее часто встречающимися заболеваниями являлись «биомеханическое нарушение неуточненное» (нарушение осанки по сколиотическому типу) — 11,8%, «плоская стопа [per planus] приобретенная» (двустороннее комбинированное плоскостопие 1–2-й ст.) — 11,6%, «смещенная носовая перегородка» (искривление носовой перегородки с умеренным нарушением дыхания) — 10,1%. Таким образом, лидирующие позиции по встречаемости занимали состояния, связанные с дисплазией соединительной ткани.

Наиболее распространенными заболеваниями органов системы кровообращения являлись «отклонения от нормы, выявленные при проведении функциональных исследований сердечно-сосудистой системы» (6,6%), «другие уточненные нарушения сердечного ритма» (3,7%), «пролапс [пролабирование] митрального клапана» (2,8%). Со стороны эндокринной системы и метаболизма самыми часто встречающимися отклонениями были «другие неспецифические отклонения от нормы содержания ферментов в сыворотке» (7,1%), «недостаточность железа» (5,1%), «нарушение обмена билирубина неуточненное» (2,3%), «другие болезни щитовидной железы, связанные с йодной недостаточностью, и сходные состояния» (2,0%).

Кластеризация видов спорта на основе частоты встречаемости заболеваний

Дендрограмма и тепловая карта (рис.) отображают структуру заболеваемости у спортсменов разных видов спорта, соотнесенных по количеству атлетов, имеющих различные заболевания, согласно Международной классификации болезней (МКБ-10). Дендрограмма иллюстрирует группировку различных видов спорта на основе схожести по числу случаев заболеваний среди спортсменов. Заболевания включены в кластеры на основе стандартизованной частоты их встречаемости в различных видах спорта. Патологические состояния, расположенные близко друг к другу на тепловой карте, демонстрируют схожие паттерны распространения. Кластеры получены на основе расстояния Гауэра и метода Варда для выявления паттернов распространения заболеваний. В каждом кластере высокая частота встречаемости заболеваний является специфичной для определенных видов спорта (табл. 2).

4. Обсуждение

Исследование структуры заболеваемости членов сборных команд Российской Федерации выявило

Таблица 1

Наиболее частые заболевания, встречающиеся у спортсменов, проходивших УМО в 2021–2023 гг. в медицинских учреждениях ФМБА России

Table 1

The most frequent diseases occurring in athletes who underwent in-depth medical examination in 2021–2023 in medical institutions of FMBA of Russia

МКБ-10	Заболевание	Доля (%)	Нижняя граница 95% ДИ	Верхняя граница 95% ДИ
M99.9	Биомеханическое нарушение неуточненное (нарушение осанки по сколиотическому типу)	11,83	11,52	12,15
M24.1	Плоская стопа [per planus] приобретенная (двустороннее комбинированное плоскостопие 1–2-й ст.)	11,62	11,31	11,93
J34.2	Смещенная носовая перегородка (искривление носовой перегородки с умеренным нарушением дыхания)	10,10	9,81	10,39
R74_R74.8	Другие неспецифические отклонения от нормы содержания ферментов в сыворотке	7,10	6,85	7,35
R94.3	Отклонения от нормы, выявленные при проведении функциональных исследований сердечно-сосудистой системы	6,61	6,37	6,85
E61.1	Недостаточность железа	5,08	4,86	5,29
I49.8	Другие уточненные нарушения сердечного ритма	3,69	3,50	3,87
M41.5	Прочие вторичные сколиозы	3,24	3,07	3,41
I34.1	Пролапс [пролабирование] митрального клапана	2,84	2,68	3,01
E80.7	Нарушение обмена билирубина неуточненное	2,26	2,12	2,41
E01.8	Другие болезни щитовидной железы, связанные с йодной недостаточностью, и сходные состояния	2,01	1,87	2,14
I86.1	Варикозное расширение вен мошонки	1,75	1,62	1,88
G90.9	Расстройство вегетативной [автономной] нервной системы неуточненное	1,74	1,62	1,87
M42.1	Остеохондроз позвоночника у взрослых	1,60	1,48	1,72
K07	Челюстно-лицевые аномалии [включая аномалии прикуса]	1,59	1,47	1,72
N28_N28.8	Другие уточненные болезни почек и мочеточника	1,59	1,47	1,71

значительные различия в частоте и типах заболеваний в зависимости от вида спорта. Эти данные подчеркивают необходимость индивидуализированного подхода к профилактике и управлению рисками заболеваний у спортсменов. Наличие пересекающихся нозологических форм в разных видах спорта позволило сгруппировать данные в шесть кластеров.

Для первой группы характерными являлись патологические состояния, указывающие на наличие заболеваний соединительной ткани, а именно такие отклонения в состоянии здоровья, как «фиброз простаты» (N42), «вальгусная деформация, не классифицированная в других рубриках» (M21.0), «варикозное расширение вен нижних конечностей без язвы или воспаления» (I83.9). Необходимо подчеркнуть, что перечисленные патологические состояния являются признаками недифференцированной дисплазии соединительной ткани, которые, согласно литературным данным, чаще встречаются у спортсменов (особенно в детско-юношеском спорте), чем в общей популяции [13, 14]. В МКБ-10 отсутствует такое заболевание, однако в МКБ-11 имеется шифр LD28.Z — «синдромы с вовлечением соединительной ткани в качестве основного признака, неуточненные»,

описывающий диспластический фенотип, который может дать преимущество в тех видах спорта, где требуется астеническое телосложение, повышенная гибкость или гипермобильность суставов, например в танцевальном спорте, фигурном катании, гимнастике, плавании [15]. В первую группу вошли виды спорта, где гибкость является важным тренируемым качеством, включая акробатический рок-н-ролл, альпинизм, спортивную акробатику. Однако в эту же группу вошли и спортсмены, специализирующиеся на единоборствах, у которых распространенность признаков недифференцированных дисплазий соединительной ткани ниже, чем в игровых видах спорта и плавании. Так, среди пловцов доля спортсменов с признаками недифференцированной дисплазии составила 66,7%, среди футболистов — 55,3%, а у атлетов, специализирующихся на единоборствах, — всего 20,7% [16]. Также для этого кластера характерна высокая частота встречаемости двух патологических состояний сердечно-сосудистой системы: «нарушение сердечного ритма неуточненное» (I49.9) и «гипертензивная [гипертоническая] болезнь с преимущественным поражением сердца без (застойной) сердечной недостаточности». Высокая представленность этих заболеваний,

Таблица 2

Виды спорта, сгруппированные в кластеры, основанные на схожей структуре заболеваемости

Table 2

Sports grouped into clusters based on similar morbidity patterns

Кластер	Виды спорта	Заболевания с высокой частотой встречаемости
1	Акробатический рок-н-ролл, альпинизм, американский футбол, армрестлинг, бильярдный спорт, боулинг, джиу-джитсу, каратэ, киокусинкай, подводный спорт, рукопашный бой, смешанное боевое единоборство (ММА), спортивная акробатика, тайский бокс, танцевальный спорт, хоккей с мячом	Другие болезни предстательной железы (фиброз простаты) (N42), вальгусная деформация, не классифицированная в других рубриках (M21.0), гипертензивная [гипертоническая] болезнь с преимущественным поражением сердца без (застойной) сердечной недостаточности (I11.9-I10), нарушение сердечного ритма неуточненное (I49.9), варикозное расширение вен нижних конечностей без язвы или воспаления (I83.9)
2	Бадминтон, бобслей, воднолыжный спорт, гольф, конный спорт, керлинг, настольный теннис, пулевая стрельба, санный спорт, сноуборд, спортивная гимнастика, спортивное ориентирование, стендовая стрельба, теннис, фехтование, фристайл	Биомеханическое нарушение неуточненное (нарушение осанки по сколиотическому типу) (M99.9), плоская стопа [ped planus] приобретенная (двустороннее комбинированное плоскостопие 2-й ст.) (M21.4), другие болезни щитовидной железы, связанные с йодной недостаточностью, и сходные состояния (E01.8), прочие вторичные сколиозы (M41.5), синдром Жильбера (E80.4)
3	Баскетбол, бокс, борьба на поясах, водное поло, волейбол, гандбол, гребля на байдарках и каноэ, гребной спорт, дзюдо, кикбоксинг, пауэрлифтинг, плавание, прыжки в воду, прыжки на батуте, регби, самбо, спортивная борьба, стрельба из лука, сумо, тхэквондо, тяжелая атлетика, ушу, футбол, хоккей, хоккей на траве	Другие неспецифические отклонения от нормы содержания ферментов в сыворотке (R74_R74.8), нарушение обмена веществ неуточненное (E88_E88.9), другие врожденные аномалии сердечных камер и соединений (Q20.8), кардиомиопатия при метаболических нарушениях (I43.1), преждевременная деполяризация желудочков (I49.3)
4	Бейсбол, гребной слалом, прыжки на лыжах с трамплина, роллер-спорт, синхронное плавание, скалолазание, софтбол, художественная гимнастика	Недостаточность железа (E61.1), дилатационная кардиомиопатия (I42), другие уточненные нарушения сердечного ритма (I49.8), преждевременная деполяризация желудочков (I49.3), фолликулярная киста яичника (N83.0)
5	Биатлон, горнолыжный спорт, конькобежный спорт, легкая атлетика, лыжные гонки	Синдром преждевременного возбуждения (I45.6), остеохондроз позвоночника у взрослых (M42.1), другая уточненная дегенерации межпозвоночного диска (M51.3), пролапс [пролабирование] митрального клапана (I34.1), другие врожденные аномалии сердечных камер и соединений (Q20.8)
6	Велосипедный спорт, лыжное двоеборье, парусный спорт, современное пятиборье, триатлон, фигурное катание на коньках, эстетическая гимнастика	Блокада правой ножки пучка (I45.0), другие, неуточненные кардиомиопатии (I42.8-I42.9), недостаточность магния (E61.2), синдром слабости синусового узла (I49.5), нерегулярные менструации неуточненные (N92.6)

вероятно, связана с гендерной диспропорцией в самом кластере (мужчин — 1318, женщин — 785): среднепопуляционно они чаще встречаются у мужчин, чем у женщин [17–21].

Для второго кластера характерны различные заболевания ОДА, в том числе «биомеханическое нарушение неуточненное» (нарушение осанки по сколиотическому типу, M99.9), «прочие вторичные сколиозы» (M41.5), «плоская стопа [ped planus] приобретенная» (двустороннее комбинированное плоскостопие 1–2-й ст.) (M21.4). Следует отметить, что преимущественно в эту группу входят виды спорта с асимметричной нагрузкой на ОДА, такие как бадминтон, теннис, фехтование. Считается, что такие виды спорта оказывают наиболее неблагоприятное воздействие на ОДА, так как тело подвергается длительное время асимметричной однонаправленной физической нагрузке, что способствует

формированию патологических изменений [22, 23]. Также во второй кластер вошли два метаболических нарушения, наиболее часто встречающихся среди перечисленных видов спорта: «другие болезни щитовидной железы, связанные с йодной недостаточностью, и сходные состояния» (E01.8), «синдром Жильбера» (E80.4). Распространенность синдрома Жильбера у спортсменов не превышает среднепопуляционную [24, 25], однако обращает внимание, что именно в определенных видах спорта он представлен наиболее часто. Возможно, в этих видах спорта наиболее выражена адаптация к повышенному окислительному стрессу, так как билирубин обладает сильными антиоксидантными свойствами, которые помогают удалять свободные радикалы и ингибировать окисление липидов [26].

Для третьего кластера характерны отклонения, отражающие метаболическую реакцию на интенсивную

физическую нагрузку, в том числе «другие неспецифические отклонения от нормы содержания ферментов в сыворотке» (R74_R74.8), «нарушение обмена веществ неуточненное» (E88_E88.9), «кардиомиопатия при метаболических нарушениях» (I43.1). Гиперферментемия при мышечной активности может свидетельствовать об энергетическом дисбалансе и служить маркером перетренированности спортсмена [27]. Третий кластер является самым многочисленным по количеству вошедших в него спортивных дисциплин и включает самые популярные игровые виды спорта, такие как хоккей и футбол, и фиксируемые изменения по данным УМО могут отражать ответ организма на предшествующую обследованию интенсивную нагрузку. Однако показано, что гиперферментемия покоя у спортсменов — один из первых признаков нарушения клеточной проницаемости и повреждения клеточных мембран и кардиомиопатия при метаболических нарушениях, — входящая в этот же кластер как часто встречающееся заболевание, может быть следствием длительной гиперферментемии [28].

Выделенный четвертый кластер характеризуется широкой распространенностью таких заболеваний сердечно-сосудистой системы, как «кардиомиопатия» (I42), «другие уточненные нарушения сердечного ритма» (I49.8) и «преждевременная деполяризация желудочков» (I49.3). Следует отметить, что виды спорта, вошедшие в данный кластер, обычно не считаются рисковыми с точки зрения формирования адаптационного «спортивного сердца» или кардиомиопатий. Традиционно к таким видам спорта относятся хоккей, плавание, футбол, велосипедный спорт и гребля [29, 30]. Выявленные новые закономерности, возможно, говорят о недооцененности распространенности заболеваний миокарда в некоторых видах спорта.

Для пятого кластера характерно наличие возрастзависимых заболеваний, таких как «остеохондроз позвоночника у взрослых» (M42.1), «другая уточненная дегенерация межпозвоночного диска» (M51.3). Следует отметить, что медиана возраста в этом кластере составила 17 лет (Q1: 16; Q3: 18), и выявленные патологические изменения свидетельствуют о длительной большой нагрузке на ОДА. Также в этой группе распространен «пролапс [пролабирование] митрального клапана» (I34.1), однако высокая распространенность данного состояния может быть связана с его гипердиагностикой [31].

Вклад авторов:

Жолинский Андрей Владимирович — концепция и дизайн публикации, написание первой версии текста, редактирование текста, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования, общая организация и координация работы.

Гладышев Никита Сергеевич — сбор данных, анализ и интерпретация данных, написание текста публикации.

Кадыкова Анастасия Игоревна — сбор данных, анализ и интерпретация данных, написание текста публикации.

Деев Роман Вадимович — редактирование текста, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Шестой выделенный кластер является самым разнообразным и включает как нарушения со стороны сердечно-сосудистой системы («блокада правой ножки пучка» (I45.0), «другие, неуточненные кардиомиопатии» (I42.8), «синдром слабости синусового узла» (I49.5)) и эндокринные отклонения («нерегулярный менструальный цикл» (N92.6)), так и метаболическую недостаточность («дефицит магния (E61.2)). Для фигурного катания на коньках и эстетической гимнастики характерно наличие синдрома «относительного дефицита энергии в спорте» (англ. Relative energy deficiency in sport, RED-S) [32]. Метаболические и репродуктивные нарушения — одни из лидирующих проявлений этого состояния [33]. Численность этого кластера наименьшая, и в него входят всего 7,8% спортсменов из всей выборки.

Выделенные группы спорта характеризуются четкими группами патологических изменений, так, для первого кластера лидирующими патологическими изменениями являются заболевания соединительной ткани, которые можно охарактеризовать как признаки дисплазии соединительной ткани, а для третьего — метаболические нарушения, вероятно, свидетельствующие о длительном перенапряжении как функционального, так и нефункционального характера. Результаты исследования показали, что в одну группу могут войти совершенно разные виды спорта по направленности тренировочно-соревновательной нагрузки, однако имеющих неочевидную схожесть в распространенности различных заболеваний. Полученные результаты позволяют разработать индивидуализированные программы профилактики и реабилитации, учитывающие специфические риски для здоровья, связанные с различными видами спорта.

5. Заключение

Проведен анализ структуры заболеваемости среди спортсменов высшего мастерства, в ходе которого выявлены закономерности в распространенности различных заболеваний.

Описанный классификационный подход может являться одним из методов управления рисками заболеваний спортсменов высшего мастерства и позволяет своевременно диагностировать патологические изменения, характерные для каждой группы. Это поможет в разработке целевых профилактических мер и улучшении здоровья спортсменов.

Authors' contribution:

Andrey V. Zholinsky — concept and design of the publication, writing the first draft of the text, editing the text, final approval of the article, overall organisation and coordination of the work.

Nikita S. Gladyshev — collecting data, analysing and interpreting data, writing the text of the publication.

Anastasia I. Kadykova — collecting data, analysing and interpreting data, writing the text of the publication.

Roman V. Deev — text editing, final approval of the article.

Заболевания, включенные в анализ и вынесенные в сводное заключение последнего УМО

Diseases included in the analysis, included in the summary report of the last in-depth medical examination

Код МКБ 10	Заболевание
Q25.0	Открытый артериальный проток
I25.8	Другие формы хронической ишемической болезни сердца
I70.0_170.1_170.2_170.8_170.9	Атеросклероз
Q20.8	Другие врожденные аномалии сердечных камер и соединений
Q21.8	Другие врожденные аномалии сердечной перегородки
Q21.1	Дефект предсердной перегородки
I34.1	Пролапс [пролабирование] митрального клапана
I35.1	Аортальная (клапанная) недостаточность
G90.9	Расстройство вегетативной [автономной] нервной системы неуточненное
R94.3	Отклонения от нормы, выявленные при проведении функциональных исследований сердечно-сосудистой системы
I42.0	Дилатационная кардиомиопатия
I42.8_142.9	Другие, неуточненные кардиомиопатии
I42	Кардиомиопатия
I42.2	Другая гипертрофическая кардиомиопатия
I71.0	Расслоение аорты (любой части)
I71.9	Аневризма аорты неуточненной локализации без упоминания о разрыве
I42.1	Обструктивная гипертрофическая кардиомиопатия
I43_143.8	Кардиомиопатия при болезнях, классифицированных в других рубриках
I43.1	Кардиомиопатия при метаболических нарушениях
I42.7	Кардиомиопатия, обусловленная воздействием лекарственных средств и других внешних факторов
I44.4	Блокада передней ветви левой ножки пучка
I45.8	Другие уточненные нарушения проводимости
I45.2	Двухпучковая блокада
I45.0	Блокада правой ножки пучка
I44.0	Предсердно-желудочковая блокада первой степени
I44.1	Предсердно-желудочковая блокада второй степени
Q25.7	Другие врожденные аномалии легочной артерии
I48	Фибрилляция и трепетание предсердий
R00.0	Синусовая тахикардия
I47.9	Пароксизмальная тахикардия неуточненная
I49.8	Другие уточненные нарушения сердечного ритма
I49.9	Нарушение сердечного ритма неуточненное
I49.5	Синдром слабости синусового узла
I49.3	Преждевременная деполяризация желудочков
I49.1	Преждевременная деполяризация предсердий
I49.4	Другая и неуточненная преждевременная деполяризация
I45.6	Синдром преждевременного возбуждения
I45.9	Нарушение проводимости неуточненное
I11.9_I10	Гипертензивная [гипертоническая] болезнь с преимущественным поражением сердца без (застойной) сердечной недостаточности
M21.4	Плоская стопа [ped planus] приобретенная (Двустороннее комбинированное плоскостопие да-2 ст.)
M99.9	Биомеханическое нарушение неуточненное (Нарушение осанки по сколиотическому типу)
J34.2	Смещенная носовая перегородка (Искривление носовой перегородки с умеренным нарушением дыхания)
M51.3	Другая уточненная дегенерации межпозвоночного диска
M41.5	Прочие вторичные сколиозы
M42.1	Остеохондроз позвоночника у взрослых
K42	Пупочная грыжа
K40	Паховая грыжа
M92	Другие юношеские остеохондрозы
M92.5	Юношеский остеохондроз большой и малой берцовых костей (Осгуда-Шлаггера)
M17	Гонартроз [артроз коленного сустава]
S83.5	Повреждение связок коленного сустава (ПКС)

Приложение. Продолжение

Annex. Continued

Код МКБ 10	Заболевание
M23.5	Хроническая нестабильность коленного сустава
M 84.4, M 84.1, M 84.3, S40–S49, S30–S39, S80–S89 S90–S99	Травмы и переломы
S83.7	Травма нескольких структур коленного сустава
K07	Челюстно-лицевые аномалии [включая аномалии прикуса]
I83.9	Варикозное расширение вен нижних конечностей без язвы или воспаления
I86.1	Варикозное расширение вен мошонки
M21.0	Вальгусная деформация, не классифицированная в других рубриках
N42	Другие болезни предстательной железы (Фиброз простаты)
N28_N28.8	Другие уточненные болезни почек и мочеточника
E06.3	Аутоиммунный тиреоидит
E01.0	Диффузный эндемический зоб, связанный с йодной недостаточностью
E03.9	Субклинический гипотиреоз
E01.8	Другие болезни щитовидной железы, связанные с йодной недостаточностью, и сходные состояния
E04.2	Нетоксический многоузловой зоб
E04.1	Нетоксический одноузловой зоб
N92.6	Нерегулярные менструации неуточненные
N91.0-N91.5	Отсутствие менструаций, скудные и редкие менструации
N60	Доброкачественная дисплазия молочной железы
N83.0	Фолликулярная киста яичника
N28.1_Q61_Q61.0	Киста почки
E28.2	Синдром поликистоза яичников
E22.1	Гиперпролактинемия
E80.4	Синдром Жильбера
E80.7	Нарушение обмена билирубина неуточненное
E61.1	Недостаточность железа
D50_D50.8_D50.9	Железodefицитная анемия
E61.2	Недостаточность магния
E78.0	Чистая гиперхолестеринемия
R79.8	Другие уточненные отклонения от нормы химического состава крови
R74_R74.8	Другие неспецифические отклонения от нормы содержания ферментов в сыворотке
E88_E88.9	Нарушение обмена веществ неуточненное
S06.0	Сотрясение головного мозга
E22.9	Гиперфункция гипофиза неуточненная
U07.1	Коронавирус

Литература

1. Pontarotti G., Mossio M., Pocheville A. The genotype-phenotype distinction: from Mendelian genetics to 21st century biology. *Genetica*. 2022;150(3-4):223–234. <https://doi.org/10.1007/s10709-022-00159-5>
2. Вершинин Е.Г., Гуро О.А., Гончарова А.А. Сравнительный анализ структуры заболеваемости спортсменов и лиц, занимающихся спортом, в г. Волгограде за 2010–2016 гг. *Вестник ВолГМУ*. 2017;64(4):58–62. [https://doi.org/10.19163/1994-9480-2017-4\(64\)-58-62](https://doi.org/10.19163/1994-9480-2017-4(64)-58-62)
3. Люгайло С. Эффективность реализации технологии интеграции специализированных программ по физической реабилитации в процесс подготовки юных спортсменов. *Физическое воспитание, спорт и культура здоровья в современном обществе*. 2015;(4):184–188.
4. IOC. Sports. Available at: <https://olympics.com/en/sports/>
5. Mitchell J.H., Haskell W., Snell P., Van Camp S.P. Task Force 8: classification of sports. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2005;45(8):1364–1367. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2005.02.015>
6. Гендельсман А.Б. Физиологические основы методики спортивной тренировки. Москва: Физкультура и спорт; 1970.
7. Матвеев Л.П. Теория и методика физической культуры (введение теорию физической культуры; общая теория и методика физического воспитания). 4 е изд. Москва: Спорт; 2021.
8. Жолинский А.В., Гришина Ж.В., Кадыкова А.И. и др. Подходы к классификации спортивных дисциплин с учетом их влияния на биохимический профиль спортсмена. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2022;12(2):82–95. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.2.7>
9. Волков Н.И., Волков А.Н. Физиологические критерии выносливости спортсменов. *Физиология человека*. 2004;30(4):103–113.
10. Niebauer J., Börjesson M., Carre F., Caselli S., Palatini P., Quattrini F., et al. Recommendations for participation in competitive sports of athletes with arterial hypertension: a position statement from the sports cardiology section of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). *Eur. Heart. J.* 2018;39(40):3664–3671. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy511>
11. Егоров Г.Е. Классификация видов спорта по характеру их влияния на опорно-двигательный аппарат спортсмена и некоторые рекомендации по рациональной ориентации детей в спорте. В: *Актуальные вопросы травматологии и ортопедии*: сб. Ленинград; 1983, с. 105–107.
12. Mascha E.J., Vetter T.R. Significance, errors, power, and sample size: the blocking and tackling of statistics. *Anesthesia & Analgesia*. 2018;126(2):691–698. <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000002741>
13. Иващенко О.Н., Налобина А.Н., Курч Н.М. и др. Постуральная устойчивость юных спортсменов с признаками недифференцированной дисплазии соединительной ткани, занимающихся сложнокоординационными видами спорта. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2017;7(1):29–37. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2017.1.29>
14. Тимохина В. Э., Мехдиева К. Р., Бляхман Ф. А. Дисплазия соединительной ткани как потенциальный фактор риска электрической нестабильности миокарда у молодых атлетов. *Человек. Спорт. Медицина*. 2019;19(4):125–132. <https://doi.org/10.14529/hsm190415>

References

1. Pontarotti G., Mossio M., Pocheville A. The genotype-phenotype distinction: from Mendelian genetics to 21st century biology. *Genetica*. 2022;150(3-4):223–234. <https://doi.org/10.1007/s10709-022-00159-5>
2. Vershinin E.G., Guro O.A., Goncharova A.A. Comparative analysis of the structure of morbidity rate in sportsmen and individuals engaged in sport activities in the Volgograd from the period of 2010 to 2016. *Journal of Volgograd State Medical University*. 2017;14(4):58–62. (In Russ.). [https://doi.org/10.19163/1994-9480-2017-4\(64\)-58-62](https://doi.org/10.19163/1994-9480-2017-4(64)-58-62)
3. Lyugailo S. The effectiveness of the implementation of the technology of integration of specialized programs for physical rehabilitation in the process of training young athletes. *Fizichne vikhovannya, sport i kul'tura zdorov'ya u suchasnomu suspil'stvi = Physical Education, Sports and Health in Modern Society*. 2015;(4):184–188 (In Russ.).
4. IOC. Sports. Available at: <https://olympics.com/en/sports/>
5. Mitchell J.H., Haskell W., Snell P., Van Camp S.P. Task Force 8: classification of sports. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2005;45(8):1364–1367. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2005.02.015>
6. Gendel'sman A.B. Physiological foundations of sports training methodology. Moscow: Fizkul'tura i sport Publ.; 1970. (In Russ.).
7. Matveev L.P. Theory and methodology of physical culture (introduction to the theory of physical culture; general theory and methodology of physical education). 4th ed. Moscow: Sport Publ.; 2021. (In Russ.).
8. Zholinsky A.V., Grishina Zh.V., Kadykova A.I., Makarova G.A., Deev R.V. Approaches to the classification of sports disciplines, taking into account their influence on the biochemical profile of an athlete. *Sports medicine: research and practice*. 2022;12(2):82–95. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.2.7>
9. Volkov N.I., Volkov A.N. Physiological criteria of endurance in athletes. *Human Physiology*. 2004;30(4):467–475. (In Russ.) <https://doi.org/10.1023/b:hump.0000036344.25201.fd>
10. Niebauer J., Börjesson M., Carre F., Caselli S., Palatini P., Quattrini F., et al. Recommendations for participation in competitive sports of athletes with arterial hypertension: a position statement from the sports cardiology section of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). *Eur. Heart. J.* 2018;39(40):3664–3671. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy511>
11. Egorov G.E. Classification of sports according to the nature of their influence on the athlete's musculoskeletal system and some recommendations for the rational orientation of children in sports. In: *Topical issues of traumatology and orthopedics*. Leningrad; 1983, pp. 105–107. (In Russ.).
12. Mascha E.J., Vetter T.R. Significance, errors, power, and sample size: the blocking and tackling of statistics. *Anesthesia & Analgesia*. 2018;126(2):691–698. <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000002741>
13. Ivashchenko O., Nalobina A., Kurch N., Dakuko A., Krivtsova L. Postural stability of the young athletes of coordination sports with signs of undifferentiated connective tissue dysplasia. *Sports medicine: research and practice*. 2017;7(1):29–37. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2017.1.29>
14. Timokhina V., Mekhdieva K., Blyakhman F. Connective tissue dysplasia as a potential risk factor for myocardial electric instability in young athletes. *Human Sport Medicine*. 2020;19(4):125–132. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm190415>

15. Steinberg N., Hershkovitz I., Zeev A., Rothschild B., Siev-Ner I. Joint Hypermobility and Joint Range of Motion in Young Dancers. *J. Clin. Rheumatol.* 2016;22(4):171–178. <https://doi.org/10.1097/RHU.0000000000000420>

16. Тимохина В. Э., Мехдиева К. Р., Бляхман Ф. А. Дисплазия соединительной ткани у юных и молодых спортсменов: обзор литературы. *Человек. Спорт. Медицина.* 2018;18(3):101–112. <https://doi.org/10.14529/hsm180310>

17. Walli-Attai M., Joseph P., Rosengren A., Chow C.K., Rangarajan S., Lear S.A., et al. Variations between women and men in risk factors, treatments, cardiovascular disease incidence, and death in 27 high-income, middle-income, and low-income countries (PURE): a prospective cohort study. *Lancet.* 2020;396(10244):97–109. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30543-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30543-2)

18. Balanova Yu.A., Shalnova S.A., Imaeva A.E. Kapustina A.V., Muromtseva G.A., Evstifeeva S.V., et al. Prevalence, Awareness, Treatment and Control of Hypertension in Russian Federation (Data of Observational ESSERF-2 Study). *Rational Pharmacotherapy in Cardiology.* 2019;15(4):450–466. <https://doi.org/10.20996/1819-6446-2019-15-4-450-466>

19. Cazzaniga W., Capogrosso P., Ventimiglia E., Pederzoli F., Boeri L., Frego N., et al. High Blood Pressure Is a Highly Prevalent but Unrecognised Condition in Primary Infertile Men: Results of a Cross-sectional Study. *Eur. Urol. Focus.* 2020;6(1):178–183. <https://doi.org/10.1016/j.euf.2018.07.030>

20. Echem C., Costa T.J.D., Oliveira V., Giglio Colli L., Landgraf M.A., Rodrigues S.F., et al. Mitochondrial DNA: A new driver for sex differences in spontaneous hypertension. *Pharmacol. Res.* 2019;144:142–150. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2019.04.008>

21. Комолятова В.Н., Беспорточный Д.А., Макаров Л.М., Киселева И.И., Аксенова Н.В. Распространенность артериальной гипертензии у юных элитных спортсменов с гипертоническим типом реакции на физическую нагрузку. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2023;13(4):5–11. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.4.5>

22. Седоченко С.В., Германов Г.Н., Сабирова И.А. Влияние вида спорта на особенности функциональных мышечных асимметрий у фехтовальщиков и теннисистов. *Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта.* 2015;(2):139–144.

23. Безуглов Э.Н., Хайтин В.Ю., Этемад О.А., Лебеденко Е.О., Гринченко А.П., Филимонова А.М. Актуальные классификации мышечных травм: преимущества и недостатки. *Спортивная медицина: наука и практика.* <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.3>

24. Найкина А.В., Хан А.В., Нетребина А.П., Цурская Н.А. Клиническая значимость доброкачественной гипербилирубинемии у спортсменов сборных команд России. В: Сборник материалов тезисов XIV международной научной конференции по вопросам состояния и перспективам развития медицины в спорте высших достижений «СпортМед-2019». Москва: Российская ассоциация по спортивной медицине и реабилитации больных и инвалидов; 2019, с. 115.

25. Горбунова О.Е., Панова Т.Н., Чернышева Е.Н. и др. Билирубин как маркер окислительного стресса у мужчин с ишемической болезнью сердца. *Вестник молодого ученого.* 2015;9(2):24–29.

26. Miazga D., Maziarczyk A., Surdacka L., Blicharz M., Bartosik-Zielińska D. Gilbert's syndrome as a protection against the development of other diseases. *Journal of Education, Health and Sport.* 2023;14(1):203–215. <https://doi.org/10.12775/jehs.2023.14.01.017>

15. Steinberg N., Hershkovitz I., Zeev A., Rothschild B., Siev-Ner I. Joint Hypermobility and Joint Range of Motion in Young Dancers. *J. Clin. Rheumatol.* 2016;22(4):171–178. <https://doi.org/10.1097/RHU.0000000000000420>

16. Timokhina V., Mekhdiyeva K., Blyakhman F. Connective tissue dysplasia in young athletes: literature review. *Human Sport Medicine.* 2018;18(3):101–112. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm180310>

17. Walli-Attai M., Joseph P., Rosengren A., Chow C.K., Rangarajan S., Lear S.A., et al. Variations between women and men in risk factors, treatments, cardiovascular disease incidence, and death in 27 high-income, middle-income, and low-income countries (PURE): a prospective cohort study. *Lancet.* 2020;396(10244):97–109. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30543-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30543-2)

18. Balanova Yu.A., Shalnova S.A., Imaeva A.E. Kapustina A.V., Muromtseva G.A., Evstifeeva S.V., et al. Prevalence, Awareness, Treatment and Control of Hypertension in Russian Federation (Data of Observational ESSERF-2 Study). *Rational Pharmacotherapy in Cardiology.* 2019;15(4):450–466. <https://doi.org/10.20996/1819-6446-2019-15-4-450-466>

19. Cazzaniga W., Capogrosso P., Ventimiglia E., Pederzoli F., Boeri L., Frego N., et al. High Blood Pressure Is a Highly Prevalent but Unrecognised Condition in Primary Infertile Men: Results of a Cross-sectional Study. *Eur. Urol. Focus.* 2020;6(1):178–183. <https://doi.org/10.1016/j.euf.2018.07.030>

20. Echem C., Costa T.J.D., Oliveira V., Giglio Colli L., Landgraf M.A., Rodrigues S.F., et al. Mitochondrial DNA: A new driver for sex differences in spontaneous hypertension. *Pharmacol. Res.* 2019;144:142–150. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2019.04.008>

21. Komoliatova V.N., Besportochinii D.A., Makarov L.M., Kiseleva I.I., Aksenova N.V. Prevalence of arterial hypertension in young elite athletes with a hypertensive type of response to physical activity. *Sports medicine: research and practice.* 2023;13(4):5–11. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.4.5>

22. Sedochenko S.V., Germanov G.N., Sabirova I.F. Influence of the sport on features of the functional muscular asymmetries at fencers and tennis players. *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta.* 2015;(2):139–144. (In Russ.).

23. Bezuglov E.N., Khaitin V.Yu., Etemad O.A., Lebedenko E.O., Grinchenko A.P., Filimonova A.M. Current classifications of muscle injuries: strengths and limitations. *Sports medicine: research and practice.* (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.3>

24. Naikina A.V., Khan A.V., Netrebina A.P., Tsurskaya N.A. Clinical significance of benign hyperbilirubinaemia in Russian national team athletes. In: Collection of materials of abstracts of the XIV International Scientific Conference on the state and prospects of development of medicine in high performance sports “SportMed-2019”. Moscow: Russian Association for Sports Medicine and Rehabilitation of Patients and Invalids; 2019, p. 115. (In Russ.).

25. Gorbunova O.E., Panova T.N., Chernysheva E.N., Skritskaya A.A. Bilirubin as a marker of oxidative stress in men with coronary heart disease. *Journal of young scientist.* 2015;9(2):24–29. (In Russ.).

26. Miazga D., Maziarczyk A., Surdacka L., Blicharz M., Bartosik-Zielińska D. Gilbert's syndrome as a protection against the development of other diseases. *Journal of Education, Health and Sport.* 2023;14(1):203–215. <https://doi.org/10.12775/jehs.2023.14.01.017>

27. **Гаврилова С.О.** Персонализированный подход в обосновании референтных интервалов биохимических маркеров перетренированности на примере гребцов-академистов. Прикладная спортивная наука. 2022;1(15):71–79.

28. **Kiss O., Babity M., Bogнар C.S., Skopal J., et al.** Resting levels of cardiac markers in athletes. *European Heart Journal*. 2020;41(2):ehaa946.2939. <https://doi.org/10.1093/ehjci/ehaa946.2939>

29. **Макаров Л. М.** Внезапная сердечная смерть в спорте: тенденции XXI века. Медицинский алфавит. 2017;2(31):51–57.

30. **Жолинский А.В., Кадькова А.И., Гладышев Н.С. и др.** Структура заболеваний системы кровообращения и их генетические предикторы у спортсменов с высокой интенсивностью тренировочной и соревновательной нагрузки. Спортивная медицина: наука и практика. 2023;13(4):12–26. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.4.9>

31. **Шарыкин А.С., Попова Н.Е., Бадтиева В.А., Шилыковская Е.В., Иванова Ю.М., Субботин П.А.** Проплапс митрального клапана у юных спортсменов. Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2014;59(6):40–45. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2014-59-6-9-16>

32. **Mountjoy M., Sundgot-Borgen J.K., Burke L.M., Ackerman K.E., Blauwet C., Constantini N., et al.** IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *Br. J. Sports Med.* 2018;52(11):687–697. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099193>

33. **Самойлов А.С., Жолинский А.В., Рылова Н.В., Большаков И.В.** Относительный дефицит энергии в спорте: современные подходы к диагностике, лечению и профилактике. Вопросы питания. 2022;91(3):32–41.

27. **Gavrilova S.O.** Personalized approach in substantiation of reference intervals of biochemical markers of overtraining on the example of rowers. *Prikladnaya sportivnaya nauka*. 2022;1(15):71–79. (In Russ.).

28. **Kiss O., Babity M., Bogнар C.S., Skopal J., et al.** Resting levels of cardiac markers in athletes. *European Heart Journal*. 2020;41(2):ehaa946.2939. <https://doi.org/10.1093/ehjci/ehaa946.2939>

29. **Makarov L.M.** Sudden cardiac death in sports: XXI century trends. *Medical alphabet*. 2017;2(31):51–57. (In Russ.).

30. **Zholinsky A.V., Kadykova A.I., Gladyshev N.S., Terekhov M.V., Ivashchkin A.A., Maksyutina V.V., et al.** Structure of circulatory system diseases and their genetic predictors in athletes with high intensity of training and competitive load. *Sports medicine: research and practice*. 2023;13(4):12–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.4.9>

31. **Sharykin A.S., Popova N.E., Badtieva V.A., Shilykovskaya E.V., Ivanova Yu.M., Subbotin P.A.** Mitral valve prolapse in young athletes. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii = Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2014;59(6):40-45. (In Russ.). <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2014-59-6-9-16>

32. **Mountjoy M., Sundgot-Borgen J.K., Burke L.M., Ackerman K.E., Blauwet C., Constantini N., et al.** IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *Br. J. Sports Med.* 2018;52(11):687–697. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099193>

33. **Samoilov A.S., Zholinsky A.V., Rylova N.V., Bolshakov I.V.** Relative energy deficiency in sport: modern approaches to diagnostics, treatment and prevention. *Problems of Nutrition*. 2022;91(3):32–41. (In Russ.).

Информация об авторах:

Жолинский Андрей Владимирович, к.м.н., директор ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Россия, 121059, г. Москва, ул. Б. Дорогомилловская, 5. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0267-9761> (+7 (499) 795-68-53; ZholinskiyAV@sportfmba.ru)

Гладышев Никита Сергеевич, младший научный сотрудник ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Россия, 121059, г. Москва, ул. Б. Дорогомилловская, 5. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2732-5676> (+7 (963) 346-55-57; GladyshevNS@sportfmba.ru)

Кадькова Анастасия Игоревна*, врач клинической лабораторной диагностики ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Россия, 121059, г. Москва, ул. Б. Дорогомилловская, 5. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2996-6194> (+7 (960) 878-26-17; KadykovaAI@sportfmba.ru)

Деев Роман Вадимович, к.м.н., доцент, ведущий научный сотрудник, ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Россия, 121059, г. Москва, ул. Б. Дорогомилловская, 5; первый заместитель директора НИИ морфологии человека имени академика А.П. Авцына ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского», Россия, 117418, г. Москва, ул. Цюрупы, 3. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8389-3841> (+7 (499) 795-68-53); DeevRV@sportfmba.ru)

Information about the authors:

Andrey V. Zholinsky, M.D., Ph.D. (Medicine), Director, Federal Scientific and Clinical Center for Sports Medicine and Rehabilitation of the Federal Medical and Biological Agency, 5 B. Dorogomilovskaya str., Moscow, 121059, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0267-9761> (+7 (499) 795-68-53; ZholinskiyAV@sportfmba.ru)

Nikita S. Gladyshev, junior researcher, Federal Scientific and Clinical Center for Sports Medicine and Rehabilitation of the Federal Medical and Biological Agency, 5 B. Dorogomilovskaya str., Moscow, 121059, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2732-5676> (+7 (963) 346-55-57; GladyshevNS@sportfmba.ru)

Anastasia I. Kadykova*, Doctor of Clinical Laboratory Diagnostics, Federal Scientific and Clinical Center for Sports Medicine and Rehabilitation of the Federal Medical and Biological Agency, 5 B. Dorogomilovskaya str., Moscow, 121059, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2996-6194> (+7 (960) 878-26-17; KadykovaAI@sportfmba.ru)

Roman V. Deev, M.D., Ph.D. (Medicine), Associate Professor, Leading Researcher, Federal Scientific and Clinical Center for Sports Medicine and Rehabilitation of the Federal Medical and Biological Agency, 5 B. Dorogomilovskaya str., Moscow, 121059, Russia; First Deputy Director of the Avtsyn Research Institute of Human Morphology of Petrovsky National Research Centre of Surgery, 3 Tsyurupy str., Moscow, 117418, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8389-3841> (+7 (499) 795-68-53); DeevRV@sportfmba.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.2>

УДК: 663.91.01+796.015.8

Тип статьи: Обзоры литературы / Articles Review



Effects of chocolate consumption on the health and performance of football players: A systematic review

Mohammad Mehdi Khaleghi^{1*}, Fatemeh Ahmadi¹, Martin Hofmeister²

¹ Persian Gulf University, Bushehr, Iran

² Consumer Centre of the German Federal State of Bavaria, Munich, Germany

ABSTRACT

Purpose of the study: Chocolate, renowned for its abundance of bioactive flavonoid compounds, is recognized as a delectable food option with purported benefits for both athletes and general population. Nevertheless, there is no consolidated overview detailing the effects of chocolate consumption specifically among football players. This review aims to elucidate the diverse impacts of chocolate consumption on football players.

Methods: A systematic search adhering to the Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines studies that met the inclusion criteria was conducted in the databases of Google Scholar, PubMed (MEDLINE), Scopus, Embase, and Web of Science to April 01, 2024. Forty-eight articles were retrieved, of which nine studies met the inclusion criteria.

Results: The findings of these studies indicate that chocolate consumption is associated with a decrease in diastolic blood pressure, mean blood pressure, plasma cholesterol, Low-density lipoprotein cholesterol, malondialdehyde, urate, platelet count, mean platelet volume, and platelet distribution width. It was found to reduce intestinal permeability as well as muscle damage biomarkers such as creatine kinase, lactate dehydrogenase. Furthermore, chocolate consumption was associated with an increase in vitamin E/cholesterol ratio, antioxidant power, mean daily exercise time, heart rate, time to fatigue, physical performance, and improvement in redox status.

Conclusion: Despite the limited number of studies in this area, small sample sizes, and the presence of limitations in each study, chocolate consumption has demonstrated the potential to enhance athletic performance and recovery in football players. However, further research is essential to fully understand the scope of these effects.

Keywords: chocolate, cocoa, cocoa powder, football, soccer

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

For citation: Khaleghi M., Ahmadi F., Hofmeister M. Effects of chocolate consumption on the health and performance of football players: A Systematic Review. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(3):26–34. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.2>

Received: 18 October 2024

Accepted: 06 December 2024

Online first: 20 January 2025

Published: 04 March 2025

*Corresponding author

Влияние потребления шоколада на здоровье и результативность футболистов: систематический обзор

М.М. Халеги^{1*}, Ф. Ахмади¹, М. Хофмейстер²

¹ Университет Персидского залива, Бушер, Иран

² Центр защиты прав потребителей федеральной земли Бавария, Мюнхен, Германия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: Шоколад, известный своим обилием биоактивных флавоноидных соединений, обладает предполагаемой пользой как для спортсменов, так и для общей популяции. Тем не менее не существует систематического обзора литературы, подробно описывающего влияние потребления шоколада, особенно среди футболистов. Целью этого обзора было проанализировать эффекты потребления шоколада на футболистов.

Материалы и методы: систематический поиск исследований, соответствующих критериям включения, в соответствии с рекомендациями Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses (PRISMA) проводился в базах данных Google Scholar, PubMed (MEDLINE), Scopus, Embase и Web of Science с момента их создания до 1 апреля 2024 г. Найдено 48 статей, 9 исследований из которых соответствовали критериям включения.

Результаты: Потребление шоколада связано со снижением диастолического артериального давления, среднего артериального давления, уровня холестерина в плазме, липопротеинов низкой плотности (ЛПНП-Х), малонового диальдегида, уратов, количества тромбоцитов, среднего объема тромбоцитов и ширины распределения тромбоцитов, а также снижением проницаемости кишечника. Было обнаружено снижение концентрации сывороточных маркеров повреждения мышц, таких как креатинкиназа, лактатдегидрогеназа. Кроме того, потребление шоколада было связано с увеличением антиоксидантной активности, среднего ежедневного времени упражнений, частоты сердечных сокращений, времени до утомления, физической работоспособности и улучшением окислительно-восстановительного статуса, соотношения витамина Е и холестерина.

Заключение: Несмотря на ограниченное количество исследований, небольшие размеры выборок и наличие ограничений в каждом исследовании потребление шоколада имеет потенциал для улучшения спортивных результатов и восстановления у футболистов. При этом необходимы дальнейшие исследования для полного понимания масштаба этих эффектов.

Ключевые слова: шоколад, какао, какао-порошок, футбол, соккер

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Халеги М.М., Ахмади Ф., Хофмейстер М. Влияние потребления шоколада на здоровье и результативность футболистов: систематический обзор. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(3):26–34. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.2>

Поступила в редакцию: 18.10.2024

Принята к публикации: 06.12.2024

Online first: 20.01.2025

Опубликована: 04.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

1. Introduction

Football (soccer) is the most globally renowned sport, characterized by athletes executing rapid movements, such as high-speed sprints, quick directional shifts, leaps, and numerous tackles [1]. Furthermore, players main focus is maintaining possession of the ball while strategically positioning it on the field to secure victories [2, 3]. After engaging in these activities, football players require active recovery periods or passive rest to restore energy during competitive periods [4]. One crucial aspect of athletes' training and recovery periods, particularly for football players, involves adhering to a suitable diet and consuming appropriate foods. Proper nutrition enhances physical performance and supports the achievement of athletic goals [5, 6, 7].

Chocolate is widely regarded as a popular dietary choice among athletes, including football players due to its favorable taste and perceived benefits. These benefits include improving the recovery process, enhancing aerobic, anaerobic, and strength metrics [8–10] with improving follistatin/myostatin ratio, leptin level, body fat percentage, body fat composition

[11], as well as decreased muscle soreness and intestinal permeability [12]. Pieterse et al [13] discovered that Ironman athletes experienced reductions in heart rate (HR), systolic blood pressure, and pH after consuming low-fat chocolate-flavored milk, highlighting its potential as an oral recovery solution for extreme endurance athletes. Similarly, Kocakulak et al demonstrated that consuming dark chocolate mitigated oxidative stress markers among high-intensity kickboxing athletes [14].

Furthermore, several studies conducted on non-athletes also revealed favorable effects of chocolate consumption. These effects include improvements in mitochondrial COX activity (cytochrome c oxidase), capillary density, leg muscle perfusion, central nucleus [15], cognitive performance and endurance in hypoxic conditions [16], body mass, waist-to-hip ratio, fat mass, high-sensitivity C-reactive protein (hs-CRP), Tumor necrosis factor-alpha (TNF- α), Interleukin-6 (IL-6), leptin, resistin, Retinol-binding protein-4 (RBP-4), Monocyte chemoattractant protein-1 (MCP-1), irisin, adiponectin concentrations [17], and total antioxidant capacity (TAC) [18].

Despite numerous studies elucidating the diverse effects of chocolate intake among athletes and general population, a comprehensive synthesis of its specific influence on football players remains lacking. Thus, the objective of this systematic review is to analyze the existing evidence on the varied effects of chocolate consumption among football players.

2. Materials and methods

2.1. Protocol and registration

The systematic review adhered to the guidelines outlined in the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) [19, 20] and ethical guidelines in sports and exercise science research [21]. Furthermore, the systematic review was registered in the international prospective systematic review database under the registration number CRD42024539612.

2.2. Data Sources and Search Strategies

This research was conducted on April 1, 2024, by searching international databases, including Google Scholar, PubMed (MEDLINE), Scopus, Embase, and Web of Science. Following the use of the keywords (“Football”

OR “soccer” OR “American Football”) and (“Chocolate*” OR “Cocoa Powder*”), without applying language and publication year restrictions, finally, 48 articles were obtained for review. For example, the Scopus search strategy is presented in Table 1.

2.3. Study selection

Initially, all retrieved titles and abstracts were evaluated. Duplicates were identified and manually removed. Subsequently, the remaining articles were screened based on their titles and abstracts, and relevant articles were selected. The search for published studies was then independently conducted by two authors (MMK and FA), and any discrepancies were resolved through discussion among the remaining researchers.

2.4. Data extraction and quality assessment

Following the screening process, relevant data were extracted from eligible studies using a predefined extraction template. This template included information such as author names, titles, publication years, participant demographics, intervention details, study design, and research findings. The quality of the study was evaluated for potential biases related

Table 1

Scopus search strategy

Таблица 1

Стратегия поиска в Scopus

Database	Search strategy
Scopus	(TITLE-ABS (“football” OR “American Football” OR “soccer”)) AND (TITLE-ABS (“Chocolate*” OR “Cocoa Powder*”)).

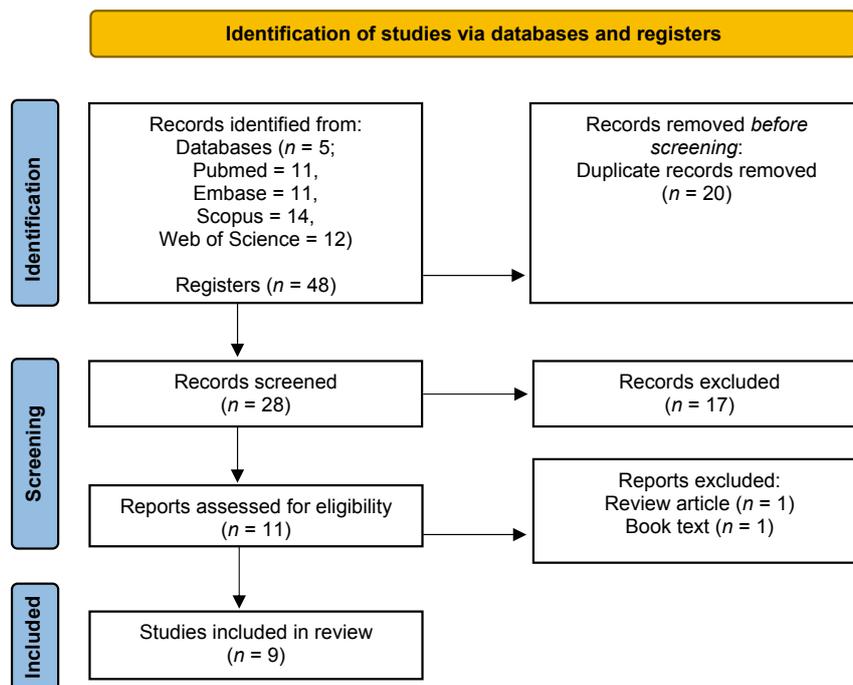


Fig. 1. Study Selection Flowchart for Inclusion in Systematic Review

Рис. 1. Схема отбора исследований для включения в систематический обзор

to randomization, blinding, and outcome assessment, utilizing the NIH Study Quality Assessment Tool for Controlled Intervention Studies [22].

3. Results

3.1. Search Selection and Inclusion of Publications

A total of 48 articles were identified through searches across five electronic databases. Upon transfer to the bibliography management software (Endnote), duplicates were automatically removed, resulting in 20 articles being eliminated. Subsequently, the titles, abstracts, and full texts of the remaining 28 articles were evaluated, leading to the exclusion of 19 articles that did not align with the research objectives, were review articles, or were part of a book. Finally, the remaining nine articles underwent comprehensive analysis and were included in this study (fig. 1). The process of article selection from the databases is illustrated in a flowchart following the PRISMA diagram.

3.2. Characterization of Studies

A total of 160 football players (8 women and 152 men) were included in this study. Eight studies only included men [12, 23–29], and one study [30] included both men and women. Three studies were conducted across European countries: Italy [12, 27] and Spain [26]; Five studies were conducted in the Americas: USA [24, 28, 30], Argentina [23], and Brazil [29]; and one article was also conducted in Asia (Iran) [25] (Table 2).

The articles were published in various academic journals, including the Journal of the International Society of Sports Nutrition (2 articles) [24, 29], Journal of Immunology Research [23], The Journal of Strength and Conditioning Research [30], British Journal of Sports Medicine [25], The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness [26], Oxidative Medicine and Cellular Longevity [27], Nutrition [28], and Nutrients [12] (one article each).

Chocolate was consumed in different forms: chocolate milk [23, 24, 28–30], chocolate butter [23], chocolate solution [25, 26], and dark chocolate [12, 27] (Table 2).

3.3. Outcome Measurement

Studies have examined the impact of chocolate consumption on various factors associated with the risk of vascular disease, oxidative stress, and physical activity (including systolic, diastolic, mean blood pressure, plasma cholesterol levels, Low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) levels, malondialdehyde levels, urate activity, lactate dehydrogenase (LDH) levels and the ratio of vitamin E to cholesterol) [23]. Other parameters studied include serum creatine kinase (CK) levels, myoglobin (Mb) levels, muscle pain, fatigue rating, and isometric quadriceps strength, Maximal Voluntary Contraction (MVC) [24]. In addition, research has explored the effects on body recovery level [28, 30]; Platelet factors (platelet count (Plt), mean platelet volume (MPV), and platelet distribution width (PDW)) [25]; markers of muscle damage, oxidative stress and, physical fitness [26–28]; Sensory

acceptance and digestive complaints [29]; and the rate of intestinal permeability and use [12].

4. Discussion

This review aimed to systematically evaluate studies examining the impact of chocolate consumption on oxidative stress, muscle damage, hemostatic, biochemical, hematological, and physiological changes in football players. Research indicates that the consumption of various forms of chocolate, such as chocolate milk, chocolate butter, chocolate drinks, and dark chocolate, can positively influence the physiological conditions of football players. Despite methodological differences among the studies, the results from all nine studies that met the inclusion criteria for this systematic review consistently showed that consuming chocolate in various doses can enhance muscle recovery, reduce oxidative stress, and improve athletic performance in football players.

Football is a demanding sport characterized by intense physical exercises and movements that engage various muscle groups, inevitably leading to oxidative stress and muscle damage [31]. Increased training or competition volume, when not paired with adequate recovery, can result in non-functional overreaching (NFOR). This condition is associated with reduced performance and a higher incidence of injuries, often accompanied by elevated inflammatory markers [32]. To mitigate these effects, appropriate nutritional strategies should be implemented to reduce the levels of these inflammatory markers.

Chocolate, which is rich in flavonoids and polyphenols, can effectively reduce oxidative stress and muscle damage induced by exercise because of its potent antioxidant properties [33, 34]. In this regard, studies conducted by Fraga et al. [23], Gilson et al. [24], González-Garrido et al. [26], and Cavarretta et al. [27] on football players have confirmed that chocolate consumption can enhance antioxidant capacity, thereby reducing muscle damage biomarkers such as CK and LDH, which subsequently leads to improved athletic performance. Increased endurance and heart rate observed in football players [24, 30] are additional effects of chocolate consumption. These effects are likely due to the role of antioxidants in preventing and accelerating recovery from exercise-induced fatigue [35].

Furthermore, it has been observed that following a match/training session, football athletes experience alterations in homeostatic, biochemical, and hematological parameters, which may arise from the intensity, duration, and stress associated with the exercise or competition [36, 37]. Consumption of various foods can also lead to similar changes in individuals. Studies have shown that chocolate consumption by football athletes can reduce diastolic blood pressure, mean blood pressure, plasma cholesterol, LDL cholesterol, malondialdehyde, urate activity, and LDH, as well as increase vitamin E/cholesterol [23, 25].

Milk and chocolate milk, which contain carbohydrates, protein, and other beneficial nutrients simultaneously, are popular among adults [30, 38] and adolescent athletes [40]

Table 2

Summary of the included studies

Таблица 2

Резюме включенных исследований

Authors (year)	Population (age and sex)	Region	Study design	Supplementation protocol (type, dose, and duration)	Type of exercise	Main results
Fraga et al. (2005) [23]	28 young male soccer players (18–20 years)	Argentina	Randomized cross-over study	A flavanol-containing milk chocolate (FCMC); 105 g (168 mg of flavanols)/day OR cocoa butter chocolate (CBC); 105 g (< 5 mg of flavanols)/day 14 days	Trained at least twice a week, at least for the past two years (before and during the study period, played in at least one 90-min-match per week)	Consumption of FCMC: decrease in diastolic blood pressure, mean blood pressure, plasma cholesterol, LDL-cholesterol, malondialdehyde, urate, and lactate dehydrogenase (LDH) activity, and an increase in vitamin E/cholesterol. No relevant changes in these variables were associated with CBC consumption. No changes in the plasma levels of (-)-epicatechin were observed following the analysis of fasting blood samples
Gilson et al. (2010) [24]	13 male soccer players (Mean age = 19.5 ± 0.3 years)	United States	Randomized cross-over study	Isocaloric chocolate milk (CM) (504 kcal; 84 g CHO; 28 g Pro; 7 g Fat), after each ITD 4 days	One week of normal 'baseline' training followed by four days of increased training duration (ITD)	Increases in mean daily exercise time and heart rate (HR) between baseline exercise and ITD, with no difference between treatments. No treatment*time effects were observed for myoglobin (Mb), muscle soreness, fatigue rating, and Maximal Voluntary Contraction (MVC). Decreased serum creatine kinase (CK)
Spaccarotella and Andzel (2011) [30]	13 athletes (8 women, 5 men) (mean age = 19.5 ± 1.1 years)	United States	Randomized cross-over study	Low-fat chocolate milk 1 g carbohydrate per kg or mean volume of 615 ± 101 ml On both days, the beverages were consumed immediately after the first practice and again 2 hours later	Preseason practice sessions for soccer	No significant differences in run time were reported for either group For men only, there was a trend of increased time to fatigue with chocolate milk compared with carbohydrate-electrolyte beverage
Soleimani et al. (2013) [25]	20 healthy male soccer players (Mean age = 22 ± 1 years)	Iran	Semi-experimental study	One dose of cocoa solution (18.75 g cocoa powder in 300 ml 4 % sucrose solution)	Bruse Test	Despite the significant increase in platelet count, MPV, and PDW after the Bruse test, cocoa consumption 2 h before the test decreased these values significantly
González-Garrido et al. (2017) [26]	15 professional male soccer players (15–18 years old)	Spain	Intervention study with pre/post-design	Cocoa (0.375 g/kg body mass in 300 mL water for 7 days [average, 25.1 g of cocoa per day])	Trained five days a week (before and during the study) and played at least one 90-min match per week in the Mexican Football Federation	Decreased muscle damage biomarkers of CK and LDH. Modified redox status by decreasing oxidative damage and increasing the total antioxidant capacity and GSH-Px activity. Increase in physical performance

Table 2. Continuation
Таблица 2. Продолжение

Authors (year)	Population (age and sex)	Region	Study design	Supplementation protocol (type, dose, and duration)	Type of exercise	Main results
Cavarretta et al. (2018) [27]	24 male elite football players (mean age = 17.2 ± 0.7 years)	Italy	Randomized Controlled Study, double-blind	Dark Chocolate/day (40 g; 20 g every 12 h) 30 days	Intensive physical exercise	Increased antioxidant power Reduction in muscle damage markers (CK and LDH)
de Carvalho et al. (2019) [28]	13 male collegiate rugby players (18–26 years)	United States	Randomized Controlled Study, double-blind	Chocolate milk (CHOC) or chocolate milk with additional cocoa flavanols (CocoaCHOC) (1 g/carbohydrate/kg/day; immediately post- and 2-h after rugby practice) 7 days	Drop jump protocol on day 5 of the intervention	No changes were observed between the groups over time for isometric torque, vertical jump performance, and yo-yo testing between trials. No interaction was found in Urinary markers of oxidative stress (isoprostanes) levels between the trials. No main effect (treatment × time) was observed for Urinary markers of oxidative stress (isoprostanes). Although not significant, the Cocoa-CHOC group ran 97 m further than the CHOC group in the yo-yo test
da Silva et al. (2021) [29]	10 male football players (mean age = 23 ± 2 years)	Brazil	Randomized Controlled Study	Low-fat, lactose-free, and leucine-enriched chocolate cow milk prototype (CML) (~ 630 mL) in aliquots at three separate moments: 50% at time 0, 30% at 45 min, and 20% at 75 min. (drink the entire offered volume quota in 5 min)	A 90-min football match simulation protocol (FMP)	Improvement in Product Acceptability Index and sensorial acceptability
Nocella et al. (2023) [12]	24 young elite male football players (Mean age = 17.2 ± 0.7 years)	Italy	Randomized Controlled Study	Dark chocolate (40 g; 20 g every 12 h) 30 days	Intensive physical exercise	Decreased intestinal permeability. Levels of LPS, zonulin, and occludin did not change

Abbreviations: FCMC: A flavanol-containing milk chocolate; CBC: Cocoa butter chocolate; **m:** meter; **min:** minute; **h:** hour; **g:** Gram; **mg:** Milligram; **ml:** milliliter; **kg:** Kilogram; **LDL:** Low-density lipoprotein; **LDH:** Lactate dehydrogenase; **CM:** Chocolate milk; **ITD:** Increased training duration; **HR:** Heart rate; **Mb:** Myoglobin; **MVC:** Maximal Voluntary Contraction; **CK:** Creatine kinase; **MPV:** Mean platelet volume; **PDW:** Platelet distribution width; **CHOC:** Chocolate milk; **CocoaCHOC:** Chocolate milk with additional cocoa flavanols; **CML:** Leucine-enriched chocolate cow milk prototype; **FMP:** Football match simulation protocol; **LPS:** Lipopolysaccharide.

are likely due to their combination of taste and convenience. However, lactose intolerance, gastrointestinal discomfort, and reduced appetite resulting from high-intensity training can prevent some athletes from benefiting from these valuable beverages [29, 39]. In their study, da Silva et al. [29] found that football players who consumed chocolate as a sports drink exhibited improved product acceptance and favorable sensory acceptance. This outcome appears to be attributed to the variety of chocolate flavors [40] and the minimal occurrence of gastrointestinal discomfort reported with this supplement [41].

Although proper nutrition and dietary supplements can help prevent cell damage and increased intestinal permeability caused by exercise, the consumption of various supplements, such as antioxidants, has demonstrated ambiguous findings [42–44]. Furthermore, few studies have reported the effects of polyphenol supplements on exercise-induced intestinal dysfunction [45, 46]. Therefore, additional research is necessary to justify the incorporation of any supplement into an athlete's nutrition program. For instance, Nocella et al. demonstrated that chocolate consumption by soccer players reduced intestinal permeability

[12]. This effect is likely due to the polyphenols in chocolate, which can modulate the intestinal microbiota, reduce oxidative stress, improve inflammatory status, and enhance intestinal barrier function [47].

Hence, it appears that various chocolate formats can enhance the physical fitness of football players by mitigating and averting muscle damage. Consequently, there is a need to underscore the significance of incorporating chocolate into prevailing sports supplement regimens to augment the performance caliber of football athletes. By enhancing players' physiological states, chocolate can amplify their athletic prowess and overall well-being during both training sessions and competitive events.

This study has certain limitations, including small sample sizes and variations in participant characteristics such as age and gender, as well as differences in the type, dosage, and

Abbreviations

PRISMA: Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses; **LDL-C:** Low-density lipoprotein cholesterol; **MPV:** Mean platelet volume; **PDW:** Platelet distribution width; **CK:** Creatine kinase; **LDH:** Lactate dehydrogenase; **HR:** Heart rate; **hs-CRP:** High-sensitivity C-reactive protein; **TNF- α :** Tumor necrosis factor-alpha; **IL-6:** Interleukin-6; **RBP-4:** Retinol-binding protein-4; **MCP-1:** Monocyte chemoattractant protein-1; **TAC:** Total antioxidant capacity; **Mb:** Myoglobin; **MVC:** Maximal Voluntary

Authors' contribution

Mohammad Mehdi Khaleghi — conceptualization, methodology, investigation, data collection and interpretation, writing — original draft, writing — editing, visualization, project administration, and formal analysis.

Fatemeh Ahmadi — conceptualization, methodology, investigation, writing — original draft, writing — editing, visualization, project administration, and formal analysis.

Martin Hofmeister — conceptualization, methodology, investigation, writing — original draft, writing — editing, visualization, project administration, and formal analysis.

References

1. **Hulteen R.M., Smith J., Morgan P., Barnett L., Hallal P., Colyvas K., Lubans D.** Global participation in sport and leisure-time physical activities: A systematic review and meta-analysis. *Prev. Med.* 2017;95:14–25. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2016.11.027>
2. **Krustrup P., Aagaard P., Nybo L., Petersen J., Mohr M., Bangsbo J.** Recreational football as a health promoting activity: a topical review. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2010;20:1–13. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01108.x>
3. **Faude O., Rößler R., Junge A.** Football injuries in children and adolescent players: are there clues for prevention? *Sports Med.* 2013;43:819–837. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0061-x>
4. **Jeong T.-S., Reilly T., Morton J., Bae S.W., Drust B.** Quantification of the physiological loading of one week of “pre-season” and one week of “in-season” training in professional soccer players.

duration of chocolate interventions and the outcome measures assessed in the included studies. These factors limit the generalizability of the findings. Therefore, future research should focus on standardizing participant demographics (with larger and more diverse samples), intervention types, dosages, durations, and performance, clinical, and body outcome measures, to achieve more robust and definitive results.

5. Conclusion

Based on the available evidence, this systematic review suggests that chocolate consumption can lead to favorable physiological changes during various phases of training and competition in football players. However, further research is recommended to explore the effects of chocolate consumption on different physiological conditions of football players and to uncover additional dimensions of this relationship.

Contraction; **Plt:** Platelet count; **FMC:** A flavanol-containing milk chocolate; **CBC:** Cocoa butter chocolate; **m:** meter; **min:** minute; **h:** hour; **g:** Gram; **mg:** Milligram; **ml:** milliliter; **kg:** Kilogram; **CM:** Chocolate milk; **ITD:** Increased training duration; **CHOC:** Chocolate milk; **CocoaCHOC:** Chocolate milk with additional cocoa flavanols; **CML:** Leucine-enriched chocolate cow milk prototype; **FMP:** Football match simulation protocol; **LPS:** Lipopolysaccharide; **NFOR:** Non-functional overreaching.

Вклад авторов:

Мохаммад Мехди Халеги — концептуализация, методология исследования, сбор и интерпретация данных, написание первой версии рукописи, редактирование, визуализация, администрирование проекта и формальный анализ.

Фатемех Ахмади — концептуализация, методология исследования, сбор и интерпретация данных, написание первой версии рукописи, редактирование, визуализация, администрирование проекта и формальный анализ.

Мартин Хофмайстер — концептуализация, методология, анализ литературных данных, написание первой версии рукописи, редактирование, визуализация, администрирование проекта и формальный анализ.

J. Sports Sci. 2011;29(11):1161–1166. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.583671>

5. **Morgado M.C., Sousa M., Coelho A.B., Vale S., Costa J.A., Seabra A.** Effects of “Football and Nutrition for Health” program on body composition, physical fitness, eating behaviours, nutritional knowledge, and psychological status among 7 to 10 years school children. *Front. Pediatr.* 2023.11:1251053. <https://doi.org/10.3389/fped.2023.1251053>

6. **Baranauskas M., Kupčiūnaitė I., Stukas R.** Dietary Intake of Protein and Essential Amino Acids for Sustainable Muscle Development in Elite Male Athletes. *Nutrients.* 2023;15(18):4003. <https://doi.org/10.3390/nu15184003>

7. **Heaton L.E., Davis J.K., Rawson E.S., Nuccio R.P., Wirtard O.C., Stein K.W., et al.** Selected in-season nutritional strategies to enhance recovery for team sport athletes: a practical overview. *Sports Med.* 2017;47:2201–2218. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0759-2>

8. **Molaeikhaletabadi M., Bagheri R., Hemmatinafar M., Nemati J., Wong A., Nordvall M., et al.** Short-Term Effects of Low-Fat Chocolate Milk on Delayed Onset Muscle Soreness and Performance in Players on a Women's University Badminton Team. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022;19(6):3677. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063677>
9. **Born K.A., Dooley E.E., Cheshire P.A., McGill L.E., Cosgrove J.M., Ivy J.L., et al.** Chocolate Milk versus carbohydrate supplements in adolescent athletes: a field based study. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2019;16(1):6. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0272-0>
10. **Wan H.Y., Stickford J.L., Dawkins E.J., Lindeman A.K., Stager J.M.** Acute modulation in dietary behavior following glycogen depletion and postexercise supplementation in trained cyclists. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2018;43(12):1326–1333. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0152>
11. **Ángel García-Merino J., Moreno-Pérez D., de Lucas B., Montalvo-Lominchar M.G., Muñoz E., Sánchez L., et al.** Chronic flavanol-rich cocoa powder supplementation reduces body fat mass in endurance athletes by modifying the follistatin/myostatin ratio and leptin levels. *Food Funct.* 2020;11(4):3441–3450. <https://doi.org/10.1039/d0fo00246a>
12. **Nocella C., Cavarretta E., Fossati C., Pigozzi F., Quaranta F., Peruzzi M., et al.** Dark Chocolate Intake Positively Modulates Gut Permeability in Elite Football Athletes: A Randomized Controlled Study. *Nutrients*, 2023;15(19):4203 <https://doi.org/10.3390/nu15194203>
13. **Pieterse L., van Rensburg D.C.J., van Rensburg A.J., Grant C.C., Fletcher L.** Comparison of low-fat chocolate flavoured milk to the standard practice of care as a recovery intervention in Ironman athletes: A randomised control trial. *African Journal for Physical Activity and Health Sciences (AJPHES)*. 2022;28(3):203–217. <https://doi.org/10.37597/ajphes.2022.28.3.2>
14. **Kocakulak N.A., Karakuş M., Akkurt S., Özdemir N., Koca F.** The Effect of Dark Chocolate on Oxidative Stress Parameters After High-Intensity Kickboxing Training. *Spor Bilimleri Araştırmaları Dergisi*. 2023;8(3):473–485. <https://doi.org/10.25307/jssr.1210569>
15. **McDermott M.M., Criqui M.H., Domanchuk K., Ferrucci L., Guralnik J.M., Kibbe M.R., et al.** Cocoa to Improve Walking Performance in Older People With Peripheral Artery Disease: The COCOA-PAD Pilot Randomized Clinical Trial. *Circ. Res.* 2020;126(5):589–599. <https://doi.org/10.1161/circresaha.119.315600>
16. **Banaei P., Tadibi V., Amiri E., Machado D.G.** da S. Concomitant dual-site tDCS and dark chocolate improve cognitive and endurance performance following cognitive effort under hypoxia: a randomized controlled trial. *Sci. Rep.* 2023;13(1):16473. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43568-y>
17. **Eskandari M., Hooshmand Moghadam B., Bagheri R., Ashtary-Larky D., Eskandari E., Nordvall M., et al.** Effects of Interval Jump Rope Exercise Combined with Dark Chocolate Supplementation on Inflammatory Adipokine, Cytokine Concentrations, and Body Composition in Obese Adolescent Boys. *Nutrients*. 2020;12(10):3011. <https://doi.org/10.3390/nu12103011>
18. **Fakhari M., Fakhari M., BamBaeichi E.** The effects of pilates and flavanol-rich dark chocolate consumption on the total antioxidant capacity, glycemic control and BMI in diabetic females with neuropathy complications. *J. Bodyw. Mov. Ther.* 2021;26:294–299. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2020.11.020>
19. **Liberati A., Altman D.G., Tetzlaff J., Mulrow C., Gøtzsche P.C., Ioannidis J.P.A.** The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: Explanation and elaboration. *PLoS medicine*. 2009;6(7):e1000100. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>
20. **Page M., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., Boutron I., Hoffmann T.C., Mulrow C.D., et al.** The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
21. **Harriss D., MacSween A., Atkinson G.** Ethical standards in sport and exercise science research: 2020 update. *Int. J. Sports Med.* 2019;40(13):813–817. <https://doi.org/10.1055/a-1015-3123>
22. National Heart, Lung, and Blood Institute. Quality Assessment of Controlled Intervention Studies [internet]. Available at: <https://www.nhlbi.nih.gov/health-topics/study-quality-assessment-tools>. 2021.
23. **Fraga C.G., Actis-Goretta L., Ottaviani J.I., Carrasquedo F., Lotito S.B., Lazarus S., et al.** Regular consumption of a flavanol-rich chocolate can improve oxidant stress in young soccer players. *Clin. Dev. Immunol.* 2005;12(1):11–17. <https://doi.org/10.1080/10446670410001722159>
24. **Gilson S.F., Saunders M.J., Moran C.W., Moore R.W., Womack C.J., Todd M.K.** Effects of chocolate milk consumption on markers of muscle recovery following soccer training: a randomized cross-over study. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2010;7(1):19. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-7-19>
25. **Soleimani M., Amini A., Ahmadi A., Atashak S., Mehdivand A., Kawari E., Shamsoddini A.R., Bazgir B.** Effect of short-term supplementation of cocoa on platelet factors (Plt, MPV, PDW) of athlete male's blood after an exhaustive aerobic exercise. *Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences*. 2013;18(4):18–27.
26. **González-Garrido J.A., García-Sánchez J.R., Garrido-Llanos S., Olivares-Corichi I.M.** An association of cocoa consumption with improved physical fitness and decreased muscle damage and oxidative stress in athletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness*. 2017;57(4):441–447. <https://doi.org/10.23736/s0022-4707.16.06032-1>
27. **Cavarretta E., Peruzzi M., Del Vescovo R., Di Pilla F., Gobbi G., Serdoz A., et al.** Dark Chocolate Intake Positively Modulates Redox Status and Markers of Muscular Damage in Elite Football Athletes: A Randomized Controlled Study. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2018;2018:4061901. <https://doi.org/10.1155/2018/4061901>
28. **de Carvalho F.G., Fisher M.G., Thornley T.T., Roemer K., Pritchett R., Freitas E.C. de, et al.** Cocoa flavanol effects on markers of oxidative stress and recovery after muscle damage protocol in elite rugby players. *Nutrition*. 2019;62:47–51. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2018.10.035>
29. **da Silva C.D., de Oliveira D.R., Perrone Í.T., Fonseca C.H., Garcia E.S.** Low-fat, lactose-free and leucine-enriched chocolate cow milk prototype: A preliminary study on sensorial acceptability and gastrointestinal complaints following exhaustive exercise. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2021;18(1):14. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00406-0>
30. **Spaccarotella K.J., Andzel W.D.** The effects of low fat chocolate milk on postexercise recovery in collegiate athletes. *J. Strength Cond. Res.* 2011;25(12):3456–3460. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3182163071>
31. **Ekstrand J., Hägglund M., Waldén M.** Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am. J. Sports Med.* 2011;39(6):1226–1232. <https://doi.org/10.1177/0363546510395879>
32. **Nobari H., Kargarfard M., Minasian V., Cholewa J.M., Pérez-Gómez J.** The effects of 14-week betaine supplementation on endocrine markers, body composition and anthropometrics in professional youth soccer players: A double blind, randomized, placebo-controlled trial. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2021;18(1):20. <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00417-5>

33. Andújar I., Recio M.C., Giner R.M., Ríos J.L. Cocoa polyphenols and their potential benefits for human health. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2012;2012:906252. <https://doi.org/10.1155/2012/906252>
34. González-Garrido J.A., García-Sánchez J.R., Garrido-Llanos S., Olivares-Corichi I.M. An association of cocoa consumption with improved physical fitness and decreased muscle damage and oxidative stress in athletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2015;57(4):441–447. <https://doi.org/10.23736/s0022-4707.16.06032-1>
35. Moir H.J., Maciejczyk M., Maciejczyk M., Aidar F.J., Arazi H. Editorial: Exercise-induced oxidative stress and the role of antioxidants in sport and exercise. *Front. Sports Act. Living.* 2023;5:1269826. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1269826>
36. Banfi G., Morelli P. Relation between values of haemoglobin, erythrocytes and reticulocytes and body mass index in elite athletes of different sports disciplines. *Int. J. Lab. Hematol.* 2007;29(6):484–485. <https://doi.org/10.1111/j.1751-553X.2007.00908.x>
37. Díaz Martínez A.E., Alcaide Martín M.J., González-Gross M. Basal values of biochemical and hematological parameters in elite athletes. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022;19(5):3059. <https://doi.org/10.3390/ijerph19053059>
38. Ferguson-Stegall L., McCleave E.L., Ding Z., Doerner P.G., Wang B., Liao Y.H., et al. Postexercise carbohydrate-protein supplementation improves subsequent exercise performance and intracellular signaling for protein synthesis. *J. Strength Cond. Res.* 2011;25(5):1210–1224. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e318212db21>
39. Hazell T.J., Islam H., Townsend L.K., Schmale M.S., Copeland J.L. Effects of exercise intensity on plasma concentrations of appetite-regulating hormones: Potential mechanisms. *Appetite.* 2016;98:80–88. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.12.016>
40. Zhou Y., Tse C.-S. Sweet taste brings happiness, but happiness does not taste sweet: The unidirectionality of taste-emotion metaphoric association. *Journal of Cognitive Psychology.* 2022;34(3):339–361. <https://doi.org/10.1080/20445911.2021.2020797>
41. Jeukendrup A., Vet-Joop K., Sturk A., Stegen Jhjc., Senden J., Saris Whm., et al. Relationship between gastro-intestinal complaints and endotoxaemia, cytokine release and the acute-phase reaction during and after a long-distance triathlon in highly trained men. *Clin. Sci.* 2000;98(1):47–55. <https://doi.org/10.1042/cs19990258>
42. Buchman A.L., Killip D., Ou C.N., Rognerud C.L., Pownall H., Dennis K., et al. Short-term vitamin E supplementation before marathon running: a placebo-controlled trial. *Nutrition.* 1999;15(4):278–283. [https://doi.org/10.1016/s0899-9007\(99\)00005-2](https://doi.org/10.1016/s0899-9007(99)00005-2)
43. Szymanski M.C., Gillum T.L., Gould L.M., Morin D.S., Kuennen M.R. Short-term dietary curcumin supplementation reduces gastrointestinal barrier damage and physiological strain responses during exertional heat stress. *J. Appl. Physiol.* 2018;124(2):330–340. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00515.2017>
44. Rodríguez-Daza M.C., Pulido-Mateos E.C., Lupien-Meilleur J., Guyonnet D., Desjardins Y., Roy D. Polyphenol-mediated gut microbiota modulation: Toward prebiotics and further. *Front. Nutr.* 2021;8:689456. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.689456>
45. Nieman D.C., Gillitt N.D., Knab A.M., Shanely R.A., Pappan K.L., Jin F., et al. Influence of a polyphenol-enriched protein powder on exercise-induced inflammation and oxidative stress in athletes: a randomized trial using a metabolomics approach. *Plos one.* 2013;8(8):e72215. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072215>
46. Xu Z., Sun X., Ding B., Zi M., Ma Y. Resveratrol attenuated high intensity exercise training-induced inflammation and ferroptosis via Nrf2/FTH1/GPX4 pathway in intestine of mice. *Turk. J. Med. Sci.* 2023;53(2):446–454. <https://doi.org/10.55730/1300-0144.5604>
47. Niwano Y., Kohzaki H., Shirato M., Shishido S., Nakamura K. Putative mechanisms underlying the beneficial effects of polyphenols in murine models of metabolic disorders in relation to gut microbiota. *Curr. Issues Mol. Biol.* 2022;44(3):1353–1375. <https://doi.org/10.3390/cimb44030091>

Information about the authors:

Mohammad Mehdi Khaleghi*, M.Sc., Student, Department of Sport Science, School of Literature and Humanities, Persian Gulf University; Researcher, Persian Gulf Sports, Nutrition and Wellness Research and Technology Group, School of Literature and Humanities, Iran, Bushehr, Persian Gulf Street. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7026-9019> (khaleghii1379@gmail.com)

Fatemeh Ahmadi, Ph.D., Researcher, Department of Sport Science; Researcher, Persian Gulf Sports, Nutrition and Wellness Research and Technology Group, School of Literature and Humanities, Persian Gulf University, Iran, Bushehr, Persian Gulf Street. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0163-7807> (F.ahmadi@mehr.pgu.ac.ir)

Martin Hofmeister, PhD, Nutrition Scientist, Department Food and Nutrition, Consumer Centre of the German Federal State of Bavaria; Germany, D-80336, Munich, Schwantalerstrasse, 28. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0693-7887> (hofmeister@vzbayern.de)

Информация об авторах:

Мохаммад Мехди Халегхи*, магистр наук, студент кафедры спортивных наук, факультет литературы и гуманитарных наук; научный сотрудник, группа исследований и технологий в области спорта, питания и здорового образа жизни, Школа литературы и гуманитарных наук, Университет Персидского залива, Иран, 7516913817, Бушер, улица Персидского залива. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7026-9019> (khaleghii1379@gmail.com)

Фатемех Ахмади, доктор философии, научный сотрудник, факультет спортивных наук; научный сотрудник, группа исследований и технологий в области спорта, питания и здорового образа жизни, Школа литературы и гуманитарных наук, Университет Персидского залива, Иран, 7516913817, Бушер, улица Персидского залива. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0163-7807> (F.ahmadi@mehr.pgu.ac.ir)

Мартин Хофмайстер, доктор философии, ученый-диетолог, Департамент продовольствия и питания, Потребительский центр федеральной земли Бавария, Германия, D-80336, Мюнхен, Шванталерштрассе, 28. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0693-7887> (hofmeister@vzbayern.de)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Эффект однократного применения высоких доз кофеина на время зрительной реакции юных элитных футболистов в покое и на фоне физической нагрузки разной интенсивности

Т.М. Вахидов^{1,*}, Е.С. Капралова², Г.И. Малякин¹, Е.Д. Королева¹, Д.С. Баранова², Э.Н. Безуглов¹

¹ Лаборатория спорта высших достижений, ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

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

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучить влияние однократного применения высокой дозы кофеина на время зрительной реакции (ВЗР) у юных элитных футболистов в покое, а также на фоне физической нагрузки разной интенсивности.

Материалы и методы: В двойном слепом плацебо-контролируемом рандомизированном исследовании со сбалансированным дизайном приняли участие 54 футболиста одной из ведущей российской футбольной академии в возрасте от 15 до 17 лет ($n = 54$, возраст — $15,9 \pm 0,8$ года, рост — $180 \pm 8,3$ см, масса — $69,5 \pm 8,8$ кг, ИМТ — $21,4 \pm 1,4$ кг/м²). Все участники после стандартизированной разминки выполнили батарею тестов, включающую спринт 30 метров, прыжок с противодвижением, бег со сменой направления, Т-тест, дриблинг, а также тест на способность к повторным спринтам.

За 60 минут до измерения ВЗР все участники получили кофеин в дозе 400 мг, представленный как кофеин или плацебо, либо плацебо, представленное как плацебо или кофеин. ВЗР была измерена четыре раза: до применения кофеина, через 60 минут после его применения (перед разминкой), после разминки и после окончания последнего теста.

Результаты: Не было обнаружено значимого влияния кофеина на ВЗР после его применения ни в одной из групп ($p > 0,05$). При анализе изменений времени зрительной реакции в течение всего процесса тестирования, начиная с измерения перед разминкой заканчивая измерением после его окончания, значимой разницы ни в одной из групп обнаружено не было ($p > 0,01$).

Заключение: Однократное пероральное употребление кофеина в дозе 400 мг и убеждение в том, что он употребляется, не влияют на время зрительной реакции у юных элитных футболистов ни в покое, ни после окончания физической нагрузки максимальной интенсивности.

Ключевые слова: кофеин, время зрительной реакции, юные атлеты, футбол

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Вахидов Т.М., Капралова Е.С., Малякин Г.И., Королева Е.Д., Баранова Д.С., Безуглов Э.Н. Эффект однократного применения высоких доз кофеина на скорость зрительной реакции юных элитных футболистов в покое и на фоне физической нагрузки разной интенсивности. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(3):35–45. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.7>

Поступила в редакцию: 19.10.2024

Принята к публикации: 19.11.2024

Online first: 05.12.2024

Опубликована: 04.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

The effect of a single high dose of caffeine on the visual reaction time of young elite soccer players at rest and during varying intensities of physical activity

Timur M. Vakhidov^{1*}, Elizaveta S. Kapralova², Georgiy I. Malyakin¹, Egana D. Koroleva¹,
Daria S. Baranova², Eduard N. Bezuglov¹

¹ High Performance Sports Laboratory, Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

² Sklifosovskiy Institute of Clinical Medicine Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

Aim: To examine the effect of a single high dose of caffeine on visual reaction time (VRT) in young elite soccer players at rest and under different intensity physical exercise conditions.

Materials and methods: In a double-blind, placebo-controlled randomized study with a balanced design, 54 soccer players from one of the leading Russian soccer academies, aged 15 to 17 years ($n = 54$, age — 15.9 ± 0.8 years, height — 180 ± 8.3 cm, weight — 69.5 ± 8.8 kg, BMI — 21.4 ± 1.4 kg/m²), participated. After a standardized warm-up, all participants completed a battery of tests, including a 30-meter sprint, countermovement jump, change-of-direction running, T-test, dribbling, and repeated sprint ability test.

Sixty minutes before VRT measurement, all participants received either 400 mg of caffeine, presented as caffeine or placebo, or placebo, presented as placebo or caffeine. VRT was measured four times: before caffeine intake, 60 minutes after intake (before warm-up), after the warm-up, and after completing the last test.

Results: No significant effect of caffeine on VRT was found after its administration in any of the groups ($p > 0.05$). When analyzing the changes in VRT throughout the testing process, from measurements taken before the warm-up to those taken after its completion, no significant differences were observed in any of the groups ($p > 0.01$).

Conclusion: A single oral intake of 400 mg of caffeine, and the belief that it was consumed, does not affect visual reaction time in young elite soccer players either at rest or after maximal intensity physical exercise.

Keywords: caffeine, visual reaction time, young athletes, soccer

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

For citation: Vakhidov T.M., Kapralova E.S., Malyakin G.I., Koroleva E.D., Baranova D.S., Bezuglov E.N. The effect of a single high dose of caffeine on the visual reaction time of young elite soccer players at rest and during varying intensities of physical activity. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(3):35–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.7>

Received: 19 October 2024

Accepted: 19 November 2024

Online first: 05 December 2024

Published: 04 March 2025

*Corresponding author

1. Введение

Кофеин является эргогенной субстанцией, в отношении применения которого было проведено большое количество исследований, подтверждающих эффективность и безопасность его использования в рекомендуемых дозах [1]. В связи с легальным статусом и доказанной эффективностью его применение в настоящее время приобрело широкую распространенность в различных видах спорта, включая футбол, легкую атлетику, велоспорт и фехтование [2, 3]. Эргогенные эффекты кофеина, важные для спортсменов самого разного уровня, проявляются его доказанным позитивным влиянием на переносимость нагрузки, мышечную силу, выносливость, метаболические процессы и перцептивно-когнитивные навыки [4–9].

Перцептивные навыки, то есть способность к использованию воспринимаемой (например, визуальной, слуховой) и контекстной (тенденция к передвижению и действиям соперника) информации для быстрого осуществления оптимального действия, оказывают

значительное влияние на успешность в элитном спорте [9, 10]. Наиболее важной для спортсменов разных видов спорта является информация, воспринимаемая посредством зрительного анализатора, в связи с чем в последнее время наблюдается значительный интерес к изучению различным аспектам его функционирования в условиях тренировок и соревнований, в том числе к спортивному видению [11]. К основным элементам спортивного видения можно отнести центральное и периферическое зрение, стереопсис, а также ВЗР [11–14]. Ранее было продемонстрировано, что ВЗР спортсменов значительно лучше по сравнению с участниками, не имеющими спортивного опыта [15, 16]. По данным Sillero и соавт., время зрительной реакции (ВЗР) у молодых элитных баскетболистов в возрасте 11–13 лет сопоставима с таковыми показателями для взрослых представителей общей популяции [17]. Показатели ВЗР также демонстрируют значимые различия при сравнении элитных и субэлитных спортсменов, например в американском футболе и бадминтоне

[18, 19]. При этом включение в тренировочную программу упражнений, способствующих развитию и улучшению перцептивных навыков спортсмена, способно положительно повлиять на показатели физических качеств и специфических навыков [20]. Также в ряде исследований было продемонстрировано, что ухудшение нейрокогнитивных показателей (в том числе ВЗР) может обуславливать потерю нейромышечного контроля, увеличение количества координационных ошибок и, как следствие, повышать риск травматизма среди спортсменов [21, 22]. При этом данные об изменении ВЗР во время физической нагрузки разной интенсивности противоречивы. Так, в исследовании Pavelka и соавт. было продемонстрировано значимое снижение ВЗР у бойцов смешанных единоборств на фоне острого нервно-мышечного утомления, вызванного тридцатисекундным тестом Вингейта [23]. В то же время в исследовании Davranche и соавт. было обнаружено значимое улучшение показателей ВЗР у спортсменов разных видов спорта после субмаксимальной нагрузки на велоэргометрии (90 % от вентиляционного порога) [24]. При этом Tsorbatzoudis и соавт. не обнаружили значимого изменения ВЗР у высокотренированных велосипедистов и студентов колледжа после выполнения пятиминутного теста на велоэргометре вне зависимости от мощности и тренировочного статуса участников [25].

Основными методами изучения ВЗР являются нейрокогнитивные компьютерные тестирования, во время проведения которых необходимо совершить клик по компьютерной мыши (джойстику или иному средству передачи сигнала) как можно быстрее после появившегося на экране сигнала [26]. Также возможно использование более простых методов, например ловля мяча или линейки, брошенных в вертикальной плоскости, или специальных интерактивных установок, в основе которых находится быстрое касание определенной частью тела промаркированной зоны после появившегося сигнала (например, Fitlight system) [27, 28].

В настоящее время существует дефицит исследований, в которых оценивалось влияние однократного применения кофеина на время зрительной реакции элитных футболистов различного возраста. В связи с этим изучение влияния на ВЗР употребления кофеина и эффекта ожидания от его применения представляет практический интерес для спортивных врачей, тренеров и спортсменов.

2. Материалы и методы

Участники

В рандомизированном плацебо-контролируемом исследовании с использованием дизайна сбалансированного плацебо приняли участие 60 юных элитных футболистов трех команд старших возрастов (U15–U17) ведущей футбольной академии России. 54 футболиста

((Mean \pm SD) возраст — 15,93 \pm 0,8 года, рост — 180 \pm 8,3 см, масса — 69,5 \pm 8,8 кг, ИМТ — 21,4 \pm 1,4 кг/м², степень соматического созревания — 98,1 \pm 1,9%) завершили исследование согласно протоколу. Все участники удовлетворяли критериям включения, и среди них было 48 полевых игроков и 6 вратарей.

Критерии включения и исключения

Критериями включения были участие в регулярных тренировках по футболу в течение не менее 6 лет, постоянное членство в организованных футбольных командах высокого уровня и опыт участия в тестах, используемых в исследовании.

Критерии исключения были следующими:

- наличие травм и заболеваний, обуславливающих пропуск более трех тренировочных занятий в течение трех месяцев до момента проведения исследования;
- отказ от участия в исследовании на любом из его этапов;
- оценка уровня тревожности выше 10 баллов (согласно опроснику генерализованного тревожного расстройства — 7);
- получение травмы, не позволяющей полноценно закончить участие в исследовании;
- аллергические реакции, связанные с использованием кофеина как в анамнезе, так и во время исследования;
- употребление лекарственных субстанций, потенциально влияющих на фармакокинетику/динамику кофеина, в течение 24 часов до начала исследования;
- прием иных эргогенных субстанций за 48 часов до начала исследования;
- курение и применение психоактивных веществ в течение 72 часов до начала исследования;
- нарушение цветовосприятия и иные верифицированные нарушения зрения.

Распределение участников на группы

При помощи блоковой рандомизации со стратификацией по возрасту и позиции на поле (полевой игрок или вратарь) участники были разделены на 4 группы:

- группа 1 ($n = 14$) — caf/caf: говорили, что дается кофеин — участники получали кофеин;
- группа 2 ($n = 12$) — caf/pla: говорили, что дается кофеин — участники получали плацебо;
- группа 3 ($n = 15$) — pla/pla: говорили, что дается плацебо — участники получали плацебо;
- группа 4 ($n = 13$) — pla/caf: говорили, что дается плацебо — участники получали кофеин.

Несмотря на то, что рандомизационный план подразумевал распределение 60 субъектов в 4 группы (по 15 в каждой), на этапе скрининга выбыло 6 субъектов. Рандомизация проводилась внутри страт, поэтому итоговое количество субъектов в группах оказалось различным, а замена дублерами не предусматривалась ввиду специфики ограниченной популяции (высокотренированные спортсмены — члены одного клуба).

Экспериментальный дизайн*Условия проведения тестирования*

За неделю до начала исследования все участники были ознакомлены с правилами выполнения теста на ВЗР и провели пробное тестирование.

В день исследования каждый участник получал кофеин, представленный как кофеин или плацебо, либо плацебо, представленное как плацебо или кофеин. Со всеми тестами, входящих в состав протокола высокоинтенсивной нагрузки, испытуемые были знакомы и выполняли их не менее двух раз в течение шести месяцев до исследования.

Все тесты выполнялись с 11:00 до 14:00 в закрытом помещении (температура 21–23 °С, влажность воздуха — 45–50%) на искусственном футбольном покрытии, привычном спортсменам. Участники были одеты в свою привычную тренировочную одежду (труссы, футболка и бутсы).

За 48 часов до тестирования у участников не было интенсивных тренировок (было два дня отдыха или один день отдыха и один день легкой тренировки) и их просили воздержаться от применения кофеинсодержащих продуктов и любых эрогенных средств. Всем участникам было рекомендовано придерживаться своего обычного режима питания, который включал стандартный завтрак не менее чем за 3 часа до начала тестирования. Никто из участников не употреблял в течение 48 часов до исследования никотин, психотропные препараты или иные лекарства, способные повлиять на фармакокинетику и фармакодинамику кофеина.

По прибытии все участники заполнили опросник на выявление генерализованного тревожного расстройства (ГТР-7) и анкету привычного потребления кофеина (caffeine consumption questionnaire-revised, CCQ-r). Перед заполнением опросников всем участникам был проведен инструктаж о правилах заполнения анкет, а во время заполнения рядом с участником находился координатор, который контролировал корректность заполнения. После чего всем участникам выполнили измерения антропометрических параметров (роста и массы).

Выполнение первого теста на ВЗР (до употребления кофеина) происходило в порядке очереди по группам из четырех человек с периодичностью 20 минут. Сразу после выполнения первого теста на ВЗР группа участников получала две капсулы, содержащие кофеин в дозе 400 мг или плацебо. Спустя 60 минут после употребления капсул группа участников выполняла второе тестирование на ВЗР и приступала к выполнению разминки. После окончания разминки группа участников повторно выполняла тест на ВЗР и переходила к выполнению батареи тестирования, через пять минут после окончания которой снова выполняли тест на ВЗР.

Измерение антропометрических данных и оценка степени соматического созревания

Для измерения роста участников использовался переносной стадиометр модели Seca-217 (производства

компании Seca, Германия), расположенный на твердой плоской поверхности. Оценка роста участников производилась в строгом соответствии с правилами Международного общества кинантропометрии специалистом, прошедшим специальное обучение.

Для измерения массы использовались напольные весы модели Seca-813 (производства компании Seca, Германия). Измерение массы участников производилось в шортах и футболке без обуви в одно и то же время суток.

Рост биологических родителей для последующего использования его в формуле Хамиса — Роше был определен заранее путем телефонного опроса или при личной встрече.

Протокол разминки

В качестве разминки использовалась программа FIFA 11+, которая выполнялась на футбольном поле под контролем тренера. Длительность разминки составляла 12–15 минут. Для минимизации риска сохранения острого мышечного утомления между окончанием разминки и началом выполнения протокола высокоинтенсивной нагрузки проходило не менее 3 минут.

Батарея тестирования

Протокол высокоинтенсивной физической нагрузки состоял из батареи тестов физических качеств и специфических навыков и включал спринт 30 метров, прыжок с противодвижением, бег со сменой направления, Т-тест, дриблинг, тест на способность к повторным спринтам.

Отдых между используемыми тестами составлял 180 секунд. Линейный спринт и скоростной дриблинг выполнялись дважды, отдых между подходами составлял 120 секунд. Вертикальный прыжок с противодвижением был представлен тремя последовательными прыжками. При проведении тестирования на способность к повторным ускорениям участники выполняли 6 ускорений по 40 метров с максимальным усилием (два линейных отрезка по 20 метров, между которыми осуществляется разворот на 180 градусов). После окончания каждого из ускорений участники медленным шагом возвращались к стартовой линии и готовились к следующему ускорению — время восстановления составляло 20 секунд. Именно данная разновидность этих тестов является максимально приближенной к параметрам соревновательной игры, включая изменение направления движения, уровень лактата, время восстановления и дистанцию спринта [29].

Участники были проинструктированы о необходимости выполнения всех тестов на футбольном поле с максимальным усилием, и во время этих тестов вербального сопровождения со стороны координаторов исследования и тренеров не осуществлялось.

Определение степени соматического созревания

Для определения степени соматического созревания использовался процент от прогнозируемого роста

взрослого человека по формуле Хамиса — Роше, который часто используется в практике работы ведущих спортивных организаций [30].

Оценка уровня тревожности

Для оценки уровня тревожности использовался опросник «ГТР-7», валидизированный для применения на территории России [31].

Оценка привычного потребления кофеина

Для оценки привычного употребления кофеина использовалась анкета CCQ-R [32], ранее используемая в исследовании с участием студентов, ведущих активный образ жизни [33]. Опросник был переведен на русский язык профессиональным переводчиком и адаптирован для использования участниками исследования, постоянно проживающими в России.

Измерение времени зрительной реакции

Для оценки времени зрительной реакции использовался Reaction time test (доступный на онлайн платформе <https://humanbenchmark.com/tests/reactiontime>). Во время проведения теста участник должен был максимально быстро нажать (кликнуть) компьютерную мышь после изменения цвета на дисплее монитора. Данный способ оценки времени зрительной реакции ранее использовался в исследованиях с участием футболистов [34]. Тестирование производилось на ноутбуке с 14-дюймовым экраном и разрешением 1920 × 1080p «Swift SF314–57» (компании Acer, Тайвань).

В день исследования всем участникам был повторно проведен инструктаж и дана возможность осуществить три пробных попытки перед первым тестированием. Участник занимал положение сидя за столом перед раскрытым ноутбуком, на котором было запущено начальное окно тестирования, рабочая рука участника находилась на компьютерной мыши, а указательный палец этой руки лежал на кнопке мыши. По готовности участник совершал нажатие пальцем на кнопку мыши, тем самым запускал тестирование. После начала тестирования на мониторе появлялся красный прямоугольник, который через неопределенное время менялся на зеленый, именно после этого как можно скорее необходимо было совершить повторное нажатие на кнопку мыши, после чего на экране появлялся результат данной попытки, измеряемая в миллисекундах. В течение всего времени тестирования участник не убирал руку с компьютерной мыши, а палец этой руки находился на кнопке мыши. Во время выполнения попыток, которые шли в зачет, за столом с участником сидел координатор, который следил за правилом выполнения тестирования и записывал результаты. Время, через которое менялся цвет прямоугольника, не было стандартизировано, поэтому быть готовым к данному изменению было невозможно. Показатель ВЗР рассчитывался как среднее время четырех попыток.

Время зрительной реакции измерялась по прибытии участников (ВЗР₁), спустя 60 минут после употребления

кофеина (перед выполнением разминки) (ВЗР₂), после выполнения разминки (ВЗР₃) и спустя 5 минут после окончания последнего теста (ВЗР₄).

Вмешательство

Использовались капсулы белого цвета продолговатой формы, каждая из которых содержала или 200 мг кофеина или плацебо (крахмал), предоставленные фармацевтическим предприятием ЗАО «Эвалар». Капсулы выглядели идентично и не отличались цветом, формой или вкусом. Качественный и количественный состав капсул был проверен методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с ультрафиолетовой детекцией (HPLC-UV) в независимой лаборатории.

Перед предоставлением капсул участникам, они согласно плану ослепления были пересыпаны из банок производителя в четыре одинаковые банки, из которых две были пронумерованы и подписаны, как «кофеин», и две как «плацебо» в соответствии с тем, что говорилось группе в момент дачи, что было необходимо для упрощения процедуры обмана испытуемых. Из данных банок координатор, не зная о том, что выдает, ориентируясь только на номер банки, выдавал капсулы в соответствии со списком рандомизации, в котором были указаны идентификационные данные участники и номер банки, из которой он получает. Момент выдачи капсул сопровождался фразами от координатора: «Вы получаете кофеин» или «Вы получаете плацебо» в соответствии с тем, что было написано на банке, из которой он выдал исследуемый препарат. Принимаемые капсулы запивались 150 мл чистой воды.

Каждому участнику был выдан по 2 капсулы — всего 400 мг, что составило $5,77 \pm 0,79$ (min-max: 4,24–8,64) мг/кг массы тела участников. Значимых межгрупповых различий в отношении данного показателя обнаружено не было.

Статистический анализ

Статистический анализ проводился в программе Jamovi 2.2.5, а также при помощи пакета Microsoft Excel. Для оценки нормальности распределения переменных использовался критерий Шапиро — Уилка. Все значения имели нормальное распределение и были описаны с помощью среднего значения и стандартного отклонения.

Для анализа распределения игроков по возрасту, позиции на поле, степени биологического созревания, потребления кофеина, выраженности тревожности в четырех изучаемых группах применялся частотный анализ.

Для сравнения показателей до и после приема кофеина/плацебо между четырьмя группами применялся анализ ANOVA в случае нормально распределенных переменных и критерий Крускала — Уоллеса — при распределении, отличном от нормального.

Для сравнения показателей внутри каждой группы до и после приема кофеина/плацебо использовался одновыборочный T-критерий Стьюдента.

Таблица 1

Антропометрические данные и ВЗР₁ участников исследования (Mean ± SD)

Table 1

Anthropometric data and VRT₁ of study participants (Mean ± SD)

Показатель Parameter	Все участники All participants (n = 54)	Группа 1 Group 1 (n = 14)	Группа 2 Group 2 (n = 12)	Группа 3 Group 3 (n = 15)	Группа 4 Group 4 (n = 13)	p
Возраст (лет), Age (years)	15,93 ± 0,8	15,9 ± 0,829	15,9 ± 0,793	15,9 ± 0,834	16,0 ± 0,816	0,981
Степень созревания (%), Maturation degree (%)	98 ± 1,9	98,2 ± 2,0	97 ± 2,5	98,5 ± 1,5	98,1 ± 1,6	0,818
Рост (см), Height (cm)	180 ± 8,3	181 ± 6,7	181 ± 13,6	179 ± 5,5	179 ± 6,5	0,846
Масса (кг), Weight(kg)	69,5 ± 8,8	70,2 ± 7,4	71,5 ± 14,0	68,7 ± 6,7	66,7 ± 6,6	0,554
ИМТ (кг/м ²), BMI (kg/m ²)	19,2 ± 1,7	21,5 ± 1,4	21,6 ± 1,6	21,4 ± 1,4	20,8 ± 1,2	0,450
ВЗР ₁ (мс), VRT ₁ (ms)	248,7 ± 20,7	251 ± 21,0	253 ± 26,3	243 ± 17,8	249 ± 18,8	0,620

Примечание: В таблице представлены результаты межгруппового сравнения с использованием анализа ANOVA. Результаты считались значимыми при $p < 0,05$.

Note: The table shows the results of the intergroup comparison using ANOVA analysis. Results were considered significant at ($p < 0,05$).

Соответствие принципам этики

Данное исследование проводилось в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации об этических принципах проведения биомедицинских исследований. Исследование проведено в соответствии с разрешением Локального этического комитета Сеченовского университета (№ 05–2, от 10.03.2021 г.). Все участники, включенные в исследование, и их представители дали письменное информированное согласие на участие в работе.

3. Результаты

Участники всех четырех групп не имели статистически значимых различий по возрасту, массе тела, росту, ИМТ и степени соматического созревания (табл. 1), а также по уровню привычного потребления кофеина ($p = 0,108$) и уровню тревожности ($p = 0,875$). При этом потребление кофеина и уровень тревожности среди всех участников составили (Mediana; IQR; min—max) — 53,5; 42,5; 0–339 мг в сутки и 1; 2; 0–8 баллов (соответственно). Средние значения ВЗР участников по прибытии

(ВЗР₁) также не имели статистически значимых различий между группами ($p = 0,620$).

Влияние однократного применения 400 мг кофеина на время зрительной реакции

При анализе показателей времени зрительной реакции до и после применения кофеина (ВЗР₁ — ВЗР₂) ни в одной из групп не было обнаружено статистически значимых изменений (табл. 2).

При анализе изменений времени зрительной реакции в течение всего процесса тестирования, начиная с измерения перед разминкой (ВЗР₂) и заканчивая измерением после его окончания (ВЗР₄), с использованием значимой разницы ни в одной из групп обнаружено не было (табл. 3–6).

4. Обсуждение

В результате проведенного исследования было продемонстрировано, что однократное употребление кофеина в дозировке 400 мг не влияет на значения показателя ВЗР ни в покое, ни на фоне физической нагрузки разной интенсивности. Необходимо отметить, что среди

Таблица 2

Изменение ВЗР после однократного применения 400 мг кофеина (Mean ± SD)

Table 2

Change in VRT after a single 400 mg caffeine ingestion (Mean ± SD)

Показатель Parameter	Группа 1 Group 1 (n = 14)	Группа 2 Group 2 (n = 12)	Группа 3 Group 3 (n = 15)	Группа 4 Group 4 (n = 13)
ВЗР ₁ (мс), VRT ₁ (ms)	251 ± 21,0	253 ± 26,3	243 ± 17,8	249 ± 18,8
ВЗР ₂ (мс), VRT ₂ (ms)	242 ± 19,4	240 ± 15,6	244 ± 17,3	242 ± 14,7
p	0,280	0,181	0,829	0,271

Примечание: Результаты считались значимыми при $p < 0,05$.

Note: Results were considered significant at ($p < 0,05$).

участников группы, которые употребляли плацебо, представленное как кофеин, также не было обнаружено статистически значимых изменений ВЗР. При этом важно понимать, что подавляющее большинство участников не имели позитивного опыта использования кофеина

в качестве эргогенной субстанции перед тренировками и играми, а этот фактор может играть ключевую роль в развитии эффекта плацебо [35, 36]. Также стоит отметить, что все участники исследования имели низкий уровень тревожности, а сформированные группы были

Таблица 3

Изменение ВЗР в процессе тестирования в группе 1

Table 3

Change of VRT during testing in group 1

Группа 1 / Group 1 (n = 14)	ВЗР ₂ , VRT ₂	ВЗР ₃ , VRT ₃	ВЗР ₄ , VRT ₄
ВЗР ₂ , VRT ₂	-	0,62	0,32
ВЗР ₃ , VRT ₃		-	0,75
ВЗР ₄ , VRT ₄			-

Таблица 4

Изменение ВЗР в процессе тестирования в группе 2

Table 4

Change of VRT during testing in group 2

Группа 2 / Group 2 (n = 12)	ВЗР ₂ , VRT ₂	ВЗР ₃ , VRT ₃	ВЗР ₄ , VRT ₄
ВЗР ₂ , VRT ₂	-	0,37	0,95
ВЗР ₃ , VRT ₃		-	0,34
ВЗР ₄ , VRT ₄			-

Таблица 5

Изменение ВЗР в процессе тестирования в группе 3

Table 5

Change of VRT during testing in group 3

Группа 3 / Group 3 (n = 15)	ВЗР ₂ , VRT ₂	ВЗР ₃ , VRT ₃	ВЗР ₄ , VRT ₄
ВЗР ₂ , VRT ₂	-	0,11	0,18
ВЗР ₃ , VRT ₃		-	0,89
ВЗР ₄ , VRT ₄			-

Таблица 6

Изменение ВЗР в процессе тестирования в группе 4

Table 6

Change of VRT during testing in group 4

Группа 4 / Group 4 (n = 13)	ВЗР ₂ , VRT ₂	ВЗР ₃ , VRT ₃	ВЗР ₄ , VRT ₄
ВЗР ₂ , VRT ₂	-	0,87	0,39
ВЗР ₃ , VRT ₃		-	0,55
ВЗР ₄ , VRT ₄			-

Примечание: В таблице указаны результаты одновыборочного T-критерия Стьюдента. Результаты считались значимыми при $p < 0,01$ ввиду применения поправки Бонферрони.

Note: The table shows the results of the one-sample Student's *t*-test. Results were considered significant at $p < 0.01$ due to the application of the Bonferroni correction.

сопоставимы по данному показателю, так как уровень тревожности может оказывать значимое влияние на ВЗР у юных футболистов [37].

Учитывая, что данное исследование, вероятнее всего, является первым с участием юных элитных футболистов, сравнить его результаты с другими не представляется возможным. Однако существуют исследования, в которых оценивалось влияние кофеинсодержащих комплексов на ВЗР у военнослужащих, элитных боксеров и кроссфитеров любительского уровня [8, 38, 39]. В исследовании Lieberman и соавт. с участием молодых солдат было продемонстрировано, что однократное применение 200 и 300 мг кофеина за час до начала тестирования значительно улучшает время зрительной реакции на выбор. Причем данный эффект наблюдался и через восемь часов после употребления [8]. Но необходимо отметить, что в этом исследовании эффект кофеина оценивался на фоне 72-часовой депривации сна, что является практически невозможным в спорте [8]. При этом в исследовании Ozan и соавт. однократное применение кофеина в дозировке 6 мг/кг за 60 минут до начала разминки с последующим анаэробным тестом Вингейта, тестом на баланс и ловкость не оказало значимого влияния на ВЗР у элитных молодых боксеров после окончания физического тестирования [38]. Однако при совместном употреблении кофеина с тремя граммами таурина наблюдалось статистически значимое улучшение ВЗР [38]. В то же время в исследовании Głównka и соавт. с участием кроссфитеров в возрасте $35,4 \pm 6,5$ года однократное применение кофеина в дозировке 6 мг/кг за 65 минут до начала тестирования значительно улучшило ВЗР [39]. Причем данный эффект наблюдался только перед началом тестирования — после его окончания влияние кофеина на ВЗР обнаружено не было, так же как и не было обнаружено значимых изменений ВЗР при употреблении кофеина в дозировках 3 и 9 мг/кг [39].

Кофеин оказывает влияние на ВЗР преимущественно за счет влияния на активность когнитивных процессов [40], а физические нагрузки способны вызвать состояние гипоксемии [41], что может негативно отразиться на когнитивных функциях, в том числе на ВЗР [42]. При этом постоянные физические нагрузки способны повысить адаптацию головного мозга к гипоксическим стимулам [43, 44]. Например, у элитных футболистов наблюдалась повышенная доступность оксида азота во время физических нагрузок высокой интенсивности, которая положительно коррелировала с максимальным потреблением кислорода и способствовала адаптации организма к возникающему окислительному стрессу [45]. Возможно, отсутствие сколь-либо значимого влияния кофеина на ВЗР, обнаруженное в проведенном исследовании, обусловлено длительным тренировочным стажем участников и высоким уровнем адаптации, о чем свидетельствует отсутствие значимого снижения ВЗР и в группах, не получавших кофеин.

Еще одним важным результатом исследования является отсутствие какого-либо значимого влияния на ВЗР

нагрузки разной интенсивности: ни после разминки, ни после окончания всех видов тестирования данный параметр не изменился. Однако в ранее проведенных исследованиях были получены как согласующиеся с полученными результатами данные, так и противоречащие им [24, 25]. При этом стоит отметить, что в проведенных ранее исследованиях принимали участие спортсмены индивидуальных видов спорта с ограниченным количеством атлетов высокого уровня подготовки.

Проведенное исследование имеет некоторые ограничения. Во-первых, используемый тест для определения ВЗР был относительно новым испытанием для участников исследования и, несмотря на то что за неделю до испытания все участники прошли ознакомительное тестирование, нельзя полностью исключить влияние статуса обучения на полученные результаты. Во-вторых, использование для анализа среднего значения четырех попыток также может нести некоторые сложности при интерпретации компьютерного теста на ВЗР; так, использование большего количества попыток и применение различных статистических методов имеет более надежные результаты [46]. В-третьих, в исследовании не были учтены другие факторы, которые могли оказать влияние на ВЗР, например количество времени, проводимого участниками исследования за видеоиграми. При этом, несмотря на доказательства положительного влияния видеоигр на перцептивно-когнитивные навыки [47], Klasnja и соавт. не обнаружили значимых различий в ВЗР между подростками, занимающимися спортом, и подростками, которые занимаются спортом и играют в видеоигры [48]. К тому же использование предварительного опроса о видеоигровом опыте участников может повлиять на результаты тестирования ВЗР [49].

Полученные результаты должны учитываться практикующими специалистами при выборе средств для улучшения перцептивно-когнитивных навыков юных спортсменов, так как излишнее и неоправданное использование различных добавок в юном возрасте может оказать негативное влияние на организм. Будущие исследования должны быть направлены на изучение влияния кофеина на время реакции выбора, что представляется более экологичным для игровых видов спорта, а также изучение влияния кофеина и ожидания от его употребления у лиц, имеющих позитивный опыт применения данной субстанции в качестве эргогенного средства. Представляется интересным изучение влияния кофеина на ВЗР на фоне выраженного утомления центрального генеза, что, как демонстрируют проведенные исследования [8, 50], может иметь потенциальное преимущество.

5. Заключение

Кофеин в дозе 400 мг и убеждение, в том, что он употребляется, не влияют на время зрительной реакции у юных элитных футболистов ни в покое, ни после окончания физической нагрузки максимальной интенсивности.

Вклад авторов:

Вахидов Тимур Маратович — концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных, написание первоначальной версии текста.

Капралова Елизавета Сергеевна — сбор данных исследования, написание и редактирование текста.

Малякин Георгий Ильич — сбор данных исследования, написание и редактирование текста.

Королева Егана Джахангировна — сбор и анализ литературных данных, написание и редактирование текста.

Баранова Дарья Сергеевна — сбор данных исследования, анализ литературных данных.

Безуглов Эдуард Николаевич — концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных, написание окончательного версии текста.

Author's contribution:

Timur M. Vakhidov — concept and design of the study, analysing the data obtained, writing the initial version of the text.

Elizaveta S. Kapralova — study data collection, text writing and editing.

Georgiy I. Malyakin — collection of study data, writing and editing of text.

Egana D. Koroleva — collection and analysis of literary data, writing and editing of text.

Daria S. Baranova — collection of study data, analysis of literary data.

Eduard N. Bezuglov — concept and design of the study, data analysis, writing the final version of the text.

Список литературы / References

1. Guest N.S., VanDusseldorp T.A., Nelson M.T., Grgic J., Schoenfeld B.J., Jenkins N.D., et al. International society of sports nutrition position stand: caffeine and exercise performance. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2021;18(1):1. <https://doi.org/10.1186/s12970-02000383-4>

2. 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>

3. Chester N., Wojek N. Caffeine consumption amongst British athletes following changes to the 2004 WADA prohibited list. *Int. J. Sports Med.* 2008;29(06):524–528. <https://doi.org/10.1055/s-2007-989231>

4. Grgic J., Trexler E.T., Lazinica B., Pedisic Z. Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2018;15(1):11. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0216-0>

5. Southward K., Rutherford-Markwick K.J., Ali A. The effect of acute caffeine ingestion on endurance performance: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2018;48(8):1913–1928. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0939-8>

6. Chtourou H., Trabelsi K., Ammar A., Shephard R.J., Bragazzi N.L. Acute effects of an “Energy drink” on short-term maximal performance, reaction times, psychological and physiological parameters: insights from a randomized double-blind, placebo-controlled, counterbalanced crossover trial. *Nutrients.* 2019;11(5):992. <https://doi.org/10.3390/nu11050992>

7. Hoffman J.R., Kang J., Ratamess N.A., Hoffman M.W., Tranchina C.P., Faigenbaum A.D. Examination of a pre-exercise, high energy supplement on exercise performance. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2009;6(1):1–8. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-6-2>

8. Lieberman H.R., Tharion W.J., Shukitt-Hale B., Speckman K.L., Tulley R. Effects of caffeine, sleep loss, and stress on cognitive performance and mood during US Navy SEAL training. *Psychopharmacology.* 2002;164(3):250–261. <https://doi.org/10.1007/s00213-002-1217-9>

9. Müller S., Gabbett T., McNeil D. Reducing injury risk and improving skill: How a psycho-perceptual-motor approach can benefit high-performance sport. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach.* 2023;15(3):315–317. <https://doi.org/10.1177/19417381231156437>

10. Дулова Е.И., Решетова А.А., Иголкина А.Е., Кравчук Д.А., Митин И.Н., Назаров К.С., Жолинский А.В. Психофизиологические и психологические особенности волейболисток-юниоров высокой квалификации. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2020;10(1):76–84. [Dulova E.I., Reshetova A.A., Igolkina A.E., Kravchuk D.A., Mitin I.N., Nazarov K.S., Zholinskiy A.V. Psychophysiological and psychological features of elite young volleyball players. *Sports medicine: research and practice.* 2020;10(1):76–84. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2020.1.76>

11. Nascimento H., Martinez-Perez C., Alvarez-Peregrina C., Sánchez-Tena M.Á. Citations network analysis of vision and sport. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2020;17(20):7574. <https://doi.org/10.3390/ijerph17207574>

12. Vater C., Wolfe B., Rosenholtz R. Peripheral vision in real-world tasks: A systematic review. *Psychon. Bul. Rev.* 2022;29(5):1531–1557. <https://doi.org/10.3758/s13423-022-02117-w>

13. Presta V., Vitale C., Ambrosini L., Gobbi G. Stereopsis in sports: visual skills and visuomotor integration models in professional and non-professional athletes. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021;18(21):11281. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111281>

14. Медведев И.В., Гусаков М.В., Борисова М.У., Бланкова Т.И., Медведева Н.И., Дергачёва Н.Н. Влияние зрительных функций на индивидуальные результаты спортсменов и способы их улучшения. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2023;13(1):97–102. [Medvedev I.B., Gusakov M.V., Borisova M.U., Blankova T.I., Medvedeva N.I., Dergacheva N.N. The impact of visual functions on athletes' results and methods of their improvements. *Sports medicine: research and practice.* 2023;13(1):97–102. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.1.4>

15. Barrett B.T., Cruickshank A.G., Flavell J.C., Bennett S.J., Buckley J.G., Harris J.M., Scally A.J. Faster visual reaction times in elite athletes are not linked to better gaze stability. *Sci. Rep.* 2020;10(1):13216. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69975-z>

16. Kuan Y.M., Zuhairi N.A., Manan F., Knight V.F., Omar R. Visual reaction time and visual anticipation time between athletes and non-athletes. *Malaysian Journal of Public Health Medicine.* 2018;1:135–141.

17. Quintana M.S., Román I.R., Calvo A.L., Molinuevo J.S. Perceptual visual skills in young highly skilled basketball players.

Percept. Mot. Skills. 2007;104(2):547–561. <https://doi.org/10.2466/pms.104.2.547-561>

18. **Kalberer D., Zagelbaum A., Hersh P., Melody J., Montgomery K., Sison C.P., Zagelbaum B.** Peripheral Awareness and Visual Reaction Time in Professional Football Players in the National Football League (NFL). *Optometry & Visual Performance*. 2017;5(4):158–163.

19. **Loureiro Jr L.F.B., Freitas Jr. P.B.** Influence of the performance level in badminton players in neuromotor aspects during a target-pointing task. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2012;18:203–207. <https://doi.org/10.1590/S1517-86922012000300014>

20. **Steff N., Badau D., Badau A.** Study on the Impact of Implementing an Exercise Program Using Fitlight Technology for the Development of Upper Limb Coordinative Abilities in Basketball Players. *Sensors*. 2024;24(11):3482. <https://doi.org/10.3390/s24113482>

21. **Avedesian J.M., Forbes W., Covassin T., Dufek J.S.** Influence of cognitive performance on musculoskeletal injury risk: a systematic review. *Am. J. Sports Med.* 2022;50(2):554–562. <https://doi.org/10.1177/0363546521998081>

22. **Swanik C.B., Covassin T., Stearne D.J., Schatz P.** The relationship between neurocognitive function and noncontact anterior cruciate ligament injuries. *Am. J. Sports Med.* 2007;35(6):943–948. <https://doi.org/10.1177/0363546507299532>

23. **Pavelka R., Třebický V., Třebická Fialová J., Zdobinský A., Coufalová K., Havlíček J., Tufano J.J.** Acute fatigue affects reaction times and reaction consistency in Mixed Martial Arts fighters. *PloS one*. 2020;15(1):e0227675. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227675>

24. **Davranche K., Audiffren M., Denjean A.** A distributional analysis of the effect of physical exercise on a choice reaction time task. *J. Sports Sci.* 2006;24(3):323–329. <https://doi.org/10.1080/02640410500132165>

25. **Tsorbatzoudis H., Barkoukis V., Danis A., Grouios G.** Physical exertion in simple reaction time and continuous attention of sport participants. *Perceptual and motor skills*. 1998;86(2):571–576. <https://doi.org/10.2466/pms.1998.86.2.571>

26. **Vartiainen M.V., Holm A., Lukander J., Lukander K., Koskinen S., Bornstein R., Hokkanen L.** A novel approach to sports concussion assessment: computerized multilimb reaction times and balance control testing. *J. Clin. Exp. Neuropsychol.* 2016;38(3):293–307. <https://doi.org/10.1080/13803395.2015.1107031>

27. **Farraye B.T., Simon J.E., Chaput M., Kim H., Monfort S.M., Grooms D.R.** Development and Reliability of a Visual-Cognitive Reactive Triple Hop Test. *J. Sport Rehabil.* 2023;32(7):802–809. <https://doi.org/10.1123/jsr.2022-0398>

28. **Del Rossi G.** Evaluating the recovery curve for clinically assessed reaction time after concussion. *J. Athl. Train.* 2017;52(8):766–770. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-52.6.02>

29. **Charron J., Garcia J.E.V., Roy P., Ferland P.-M., Comtois A.S.** Physiological responses to repeated running sprint ability tests: a systematic review. *Int. J. Exerc. Sci.* 2020;13(4):1190. <https://doi.org/10.70252/nxqi1037>

30. **Sullivan J., Roberts S.J., Mckeown J., Littlewood M., McLaren-Towson C., Andrew M., Enright K.** Methods to predict the timing and status of biological maturation in male adolescent soccer players: A narrative systematic review. *PloS One*. 2023;18(9):e0286768. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286768>

31. **Золотарева А.А.** Адаптация русскоязычной версии шкалы генерализованного тревожного расстройства (Generalized Anxiety Disorder-7). *Консультативная психология*

и психотерапия. 2023;31(4):31–46. [**Zolotareva A.A.** Adaptation of the Russian version of the Generalized Anxiety Disorder-7. *Counseling Psychology and Psychotherapy*. 2023;31(4):31–46. (In Russ.).]. <https://doi.org/10.17759/cpp.2023310402>

32. **Irons J.G., Bassett D.T., Prendergast C.O., Landrum R.E., Heinz A.J.** Development and initial validation of the caffeine consumption questionnaire-revised. *Journal Caffeine Research*. 2016;6(1):20–25. <https://doi.org/10.1089/jcr.2015.0012>

33. **Batista P., Peixoto J., Oliveira-Silva P.** An exploratory study about the characterization of caffeine consumption in a Portuguese sample. *Behav. Sci.* 2022;12(10):386. <https://doi.org/10.3390/bs12100386>

34. **Ricotti L., Rigosa J., Niosi A., Menciaci A.** Analysis of balance, rapidity, force and reaction times of soccer players at different levels of competition. *PloS One*. 2013;8(10):e77264. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077264>

35. **Shabir A., Hooton A., Tallis J., F. Higgins M.** The influence of caffeine expectancies on sport, exercise, and cognitive performance. *Nutrients*. 2018;10(10):1528. <https://doi.org/10.3390/nu10101528>

36. **Schneider R., Grüner M., Heiland A., Keller M., Kujanová Z., Peper M., Riegl M., Schmidt S., Volz P., Walach H.** Effects of expectation and caffeine on arousal, well-being, and reaction time. *Int. J. Behav. Med.* 2006;13:330–339. https://doi.org/10.1207/s15327558ijbm1304_8

37. **Wilczyńska D.M., Abrahamsen F., Popławska A., Aschenbrenner P., Dornowski M.** Level of anxiety and results of psychomotor tests in young soccer players of different performance levels. *Biol. Sport*. 2022;39(3):571–577. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2022.106387>

38. **Ozan M., Buzdagli Y., Eyipinar C.D., Baygutalp N.K., Yüce N., Oget F., Kan E., Baygutalp F.** Does Single or Combined Caffeine and Taurine Supplementation Improve Athletic and Cognitive Performance without Affecting Fatigue Level in Elite Boxers? A Double-Blind, Placebo-Controlled Study. *Nutrients*. 2022;14(20):4399. <https://doi.org/10.3390/nu14204399>

39. **Główna N., Malik J., Podgórski T., Stemplewski R., Maciaszek J., Ciężka J., Zawieja E.E., et al.** The dose-dependent effect of caffeine supplementation on performance, reaction time and postural stability in CrossFit – a randomized placebo-controlled crossover trial. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2024;21(1):2301384. <https://doi.org/10.1080/15502783.2023.2301384>

40. **Saville C.W., de Morree H., Dundon N.M.** Effects of caffeine on reaction time are mediated by attentional rather than motor processes. *Psychopharmacology*. 2018;235(3):749–759. <https://doi.org/10.1007/s00213-017-4790-7>

41. **Prefaut C., Durand F., Mucci P., Caillaud C.** Exercise-induced arterial hypoxaemia in athletes: a review. *Sports Med.* 2000;30(1):47–61. <https://doi.org/10.2165/00007256-200030010-00005>

42. **Pun M., Guadagni V., Bettauer K.M., Drogos L.L., Aitken J., Hartmann S.E., et al.** Effects on cognitive functioning of acute, subacute and repeated exposures to high altitude. *Front. Physiol.* 2018;9:1131. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01131>

43. **Wahl D., Cavalier A.N., LaRocca T.J.** Novel strategies for healthy brain aging. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2021;49(2):115–125. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000242>

44. **Quan H., Koltai E., Suzuki K., Aguiar Jr A.S., Pinho R., Boldogh I., Berkes I., Radak Z.** Exercise, redox system and neurodegenerative diseases. *Biochim. Biophys. Acta Mol. Basis of Dis.* 2020;1866(10):165778. <https://doi.org/10.1016/j.bbadi.2020.165778>

45. Djordjevic D., Jakovljevic V., Cubrilo D., Zlatkovic M., Zivkovic V., Djuric D. Coordination between nitric oxide and superoxide anion radical during progressive exercise in elite soccer players. *Open Biochem. J.* 2010;4:100–106. <https://doi.org/10.2174/1874091X01004010100>

46. Moris Fernández L., Vadillo M. A. Flexibility in reaction time analysis: many roads to a false positive? *R. Soc. Open Sci.* 2020;7(2):190831. <https://doi.org/10.1098/rsos.190831>

47. Green C.S., Bavelier D. Action video game modifies visual selective attention. *Nature.* 2003;423(6939):534–537. <https://doi.org/10.1038/nature01647>

48. Klasnja A., Milenovic N., Lukac S., Knezevic A., Klasnja J., Karan Rakic V. The effects of regular physical activity and playing video games on reaction time in adolescents. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022;19(15):9278. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159278>

49. Ziv G., Lidor R., Levin O. Reaction time and working memory in gamers and non-gamers. *Sci. Rep.* 2022;12(1):6798. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10986-3>

50. Chen X., Zhang L., Yang D., Li C., An G., Wang J., et al. Effects of caffeine on event-related potentials and neuropsychological indices after sleep deprivation. *Front. Behav. Neurosci.* 2020;14:108. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2020.0010>

Информация об авторах:

Вахидов Тимур Маратович*, лаборант лаборатории спорта высших достижений ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 125252, Москва, 3-я Песчаная ул., 2а, стр. 2 (vakhidov_t_m@staff.sechenov.ru)

Капралова Елизавета Сергеевна, ассистент кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119435, Москва, ул. Большая Пироговская, 2, стр. 9 (kapralova_e_s@staff.sechenov.ru)

Малякин Георгий Ильич, младший научный сотрудник лаборатории спорта высших достижений ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 125252, Москва, 3-я Песчаная ул., 2а, стр. 2 (malyakin_g_i@staff.sechenov.ru)

Королева Егана Джахангировна, младший научный сотрудник лаборатории спорта высших достижений ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 125252, Москва, 3-я Песчаная ул., 2а, стр. 2 (Egana.murtuzova@mail.ru)

Баранова Дарья Сергеевна, студент 5-го курса Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова», Россия, 119435, Москва, ул. Большая Пироговская, 2, стр. 9 (dasha-baranova@inbox.ru)

Безуглов Эдуард Николаевич, канд. мед. наук., доцент кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119435, Москва, ул. Большая Пироговская, 2, стр. 9; руководитель лаборатории спорта высших достижений ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 125252, Москва, 3-я Песчаная ул., 2а, стр. 2 (bezuglov_e_n@staff.sechenov.ru)

Information about the authors:

Timur M. Vakhidov*, laboratory assistant of High Performance Sports Laboratory, Sechenov First Moscow State Medical University, 2A building 2, 3rd Peschanaya str., Moscow, 125252, Russia (vakhidov_t_m@staff.sechenov.ru)

Elizaveta S. Kapralova, Assistant of Department of Sport Medicine and Medical Rehabilitation, Sechenov First Moscow State Medical University, 2A building 2, 3rd Peschanaya str., Moscow, 125252, Russia (kapralova_e_s@staff.sechenov.ru)

Georgiy I. Malyakin, junior Researcher of High Performance Sports Laboratory, Sechenov First Moscow State Medical University, Russia, 2A building 2, 3rd Peschanaya str., Moscow, 125252, Russia (malyakin_g_i@staff.sechenov.ru)

Egana D. Koroleva, junior Researcher of High Performance Sports Laboratory, Sechenov First Moscow State Medical University, 2A building 2, 3rd Peschanaya str., Moscow, 125252, Russia (Egana.murtuzova@mail.ru)

Daria S. Baranova, student of Sechenov First Moscow State Medical University, 2 building 9, Bolshaya Pirogovskaya str., Moscow, 119435, Russia (dasha-baranova@inbox.ru)

Eduard N. Bezuglov, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor of Department of Sport Medicine and Medical Rehabilitation, Sechenov First Moscow State Medical University, Russia, 119435, Moscow, Bolshaya Pirogovskaya str., 2 building 9; head of High Performance Sports Laboratory, Sechenov First Moscow State Medical University, Russia, 2A building 2, 3rd Peschanaya str., Moscow, 125252, Russia (bezuglov_e_n@staff.sechenov.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.4>

УДК: 612.829.34

Тип статьи: Оригинальное исследование / Original article



Динамика маркера повреждения миокарда тропонина Т у биатлонистов высокого класса на этапах подготовительного периода

М.А. Дикунец, Е.В. Федотова, Г.А. Дудко*, Э.Д. Вирюс

ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучение динамики маркера повреждения миокарда тропонина Т (cardiac troponin T, cTnT) у биатлонистов высокого класса под воздействием циклических средств подготовки, используемых на этапах подготовительного периода годового тренировочного цикла.

Методы: в исследовании приняли участие биатлонисты, проходящие централизованную подготовку в составе сборной команды Российской Федерации ($n = 23$). Количественное измерение cTnT в сыворотке осуществляли методом электрохемилюминесцентного анализа.

Результаты: среднегрупповое содержание cTnT в крови биатлонистов не превышало верхней границы референтного интервала, установленного для здоровых мужчин (< 14 пг/мл). Концентрация cTnT на общеподготовительном этапе была достоверно выше, чем на специально-подготовительном ($p < 0,05$), статистически значимых различий между специально-подготовительным и предсоревновательным этапами не обнаружено ($p > 0,05$). Максимальные уровни cTnT в группе спортсменов были зафиксированы в мае и июне, в июле его концентрация снижалась на уровне тенденции ($p > 0,05$), а с августа по октябрь зафиксировано достоверное снижение ($p < 0,05$).

Заключение: низкая тканевая специфичность АЛТ и АСТ не позволяет достоверно выявить функциональную перегрузку миокарда в ответ на физические нагрузки. Спортсменам с аномальными концентрациями cTnT в крови с целью стратификации риска рекомендуется диагностика сердечно-сосудистой системы в рамках углубленного медико-биологического обеспечения, поскольку нельзя исключить тот факт, что регулярные повторные нагрузки, направленные на развитие выносливости, каждая из которых вызывает субклинические эффекты, могут иметь кумулятивный эффект на структуру или функцию сердца.

Ключевые слова: тропонин Т, повреждение миокарда, биатлон, физическая нагрузка, биомаркер

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дикунец М.А., Федотова Е.В., Дудко Г.А., Вирюс Э.Д. Динамика маркера повреждения миокарда тропонина Т у биатлонистов высокого класса на этапах подготовительного периода. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(3):46–54. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.4>

Поступила в редакцию: 12.11.2024

Принята к публикации: 18.12.2024

Online first: 04.02.2025

Опубликована: 04.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

Dynamics of the myocardial damage marker troponin T in elite biathlons at the stages of the early season

Marina A. Dikunets, Elena V. Fedotova, Grigory A. Dudko*, Edward D. Virus

Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Moscow, Russia

ABSTRACT

Aim of the study: To study the quantitative dynamics of the myocardial damage marker troponin T (cTnT) in elite biathlons as a response to the cyclic training aids used at the stages of the early season during the annual training cycle.

Methods: The study involved 23 biathlons undergoing centralized training as members of the national team of the Russian Federation. Serum cTnT quantitation was performed by means of electrochemiluminescent assay using Elecsys Troponin T hs reagent kit (Roche Diagnostics, Germany).

Results: The mean group cTnT blood level in biathlons did not exceed the upper limit of cardiac marker reference range established for healthy men (< 14 pg/ml). cTnT concentration of at the general preliminary stage was significantly higher than at the special preliminary stage ($p < 0.05$), whereas statistically significant differences between the special preliminary and precompetition stages were not found ($p > 0.05$). The maximum cTnT levels in the group of athletes were recorded in May and June, in July its concentration decreased at the trend level ($p > 0.05$), then from August to October a significant decrease was documented ($p < 0.05$).

Conclusion: The low ALT and AST tissue specificity does not reliably reveal functional myocardial overload as the response to physical exertion. In order to stratify the risk athletes with abnormal blood cTnT levels are recommended to diagnose the cardiovascular system within the in-depth biomedical observation, since it cannot be excluded that repeated bouts of endurance exercise, each causing subclinical effects, may have a cumulative effect on cardiac structure or function.

Keywords: troponin T, myocardial damage, biathlon, exercise, biomarker

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

For citation: Dikunets M.A., Fedotova E.V., Dudko G.A., Virus E.D. Dynamics of the myocardial damage marker troponin T in elite biathlons at the stages of the early season. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(3):46–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.4>

Received: 12 November 2024

Accepted: 18 December 2024

Online first: 04 February 2025

Published: 04 March 2025

*Corresponding author

1. Введение

Умеренная регулярная физическая активность считается полезной для здоровья и оказывает благоприятное воздействие на все системы организма и, в частности, на состояние сердечно-сосудистой системы (ССС) [1]. Данные крупных популяционных продольных исследований показали, что поддержание или улучшение физической подготовки связано с более низким риском сердечно-сосудистых событий [2, 3]. В то время как сократительная функция сердца улучшается под влиянием регулярных упражнений умеренной интенсивности [4], в 1964 году впервые было продемонстрировано снижение функции левого желудочка после продолжительных интенсивных нагрузок [5]. Подобные нагрузки могут способствовать развитию «сердечной усталости» [6], характеризующейся временным снижением функции левого желудочка [7, 8], связанным с повреждением кардиомиоцитов, снижением чувствительности к катехоламинам или перераспределением объема крови [9]. Повреждение кардиомиоцитов приводит к выбросу в систему кровообращения маркеров повреждения клеток сердечной мышцы, к которым относятся локализованные в кардиомиоцитах сердечные тропонины — тропонин T и I (cTnT и cTnI) [7].

Основными причинами повышения содержания cTnT в крови после выполнения упражнений являются

интенсивность и продолжительность нагрузки, возраст и пол спортсмена, его функциональная подготовленность, условия окружающей среды (температура окружающей среды, высота над уровнем моря), а также высокая частота сердечных сокращений [10–12]. Однако наиболее значимое влияние на высвобождение cTnT имеют интенсивность и продолжительность нагрузки. Повышенные концентрации сердечных тропонинов, как правило, наблюдаются у спортсменов циклических видов спорта на выносливость, что связано с дистрофическими морфофункциональными изменениями сердечной мышцы, протекающими под воздействием сверхинтенсивных физических нагрузок, характерных для спорта высших достижений [13].

Большинство исследований повышения уровней cTn в ответ на физическую нагрузку проводится с участием непрофессиональных спортсменов или спортсменов средней и низкой квалификации, как правило, после длительных физических упражнений (полумарафон, марафон и различные ультрадистанции) [8, 10, 14], тогда как количество исследований о закономерностях высвобождения cTnT у спортсменов высокой квалификации, специализирующихся в зимних циклических видах спорта, ограничено.

В статье Wuestenfeld и соавт. с участием элитных спортсменов ($n = 219$) различных видов спорта ($n =$

36) повышенный уровень сTnT наблюдался в группах, тренирующихся в видах спорта на выносливость (биатлон, бег на средние дистанции, лыжные гонки, триатлон) [15]. Однако в этом исследовании не проводилась объективизация интенсивности физической нагрузки в ежедневном режиме. В другом исследовании с участием 36 элитных лыжников (членов сборной команды Германии) было продемонстрировано, что после стандартизированной соревновательной нагрузки (две высокоинтенсивные тренировки) почти у 10% спортсменов наблюдались повышенные сывороточные концентрации сTn [16].

Вместе с тем в научной литературе отсутствует информация о изучении динамики маркеров повреждения миокарда у элитных спортсменов в рамках продолжительного тренировочного процесса и кумулятивном эффекте выполненных нагрузок на сердечно-сосудистую систему. Таким образом, **целью исследования** являлось изучение динамики маркера повреждения клеток сердечной мышцы сTnT в группе спортсменов высокого класса, специализирующихся в виде спорта с преимущественным проявлением выносливости, в ответ на адаптацию к физическим нагрузкам, выполненным на различных этапах подготовительного периода.

2. Материалы и методы

В исследовании приняли участие 23 спортсмена, проходящих централизованную подготовку в составе мужской сборной команды России по биатлону. Все участники были здоровы и минимум за 24 часа до проведения обследования им запрещалось выполнение развивающих нагрузок циклического и силового характера.

Количественное определение сTnT осуществлялось на этапах подготовительного периода на протяжении последовательных трех лет (2021–2023 гг.). Антропометрические характеристики спортсменов выглядели следующим образом: средний возраст — $25,3 \pm 3,2$ года; масса тела — $76,1 \pm 7,6$ кг; длина тела — $179,5 \pm 6,7$ см; индекс массы тела — $23,6 \pm 1,4$ кг/м²; максимальное потребление кислорода — $69,6 \pm 6,7$ мл/мин/кг.

Образцы венозной крови отбирались в вакуумные пробирки с SiO₂ с гелем-сепаратором VACUETTE® (Greiner Bio-One, Австрия). Количественное определение сTnT в сыворотке осуществляли методом гетерогенного электрохемилюминесцентного иммуноферментного анализа типа «сэндвич» с технологией магнитной сепарации реакционной смеси на автоматическом анализаторе cobas e411 (Roche Diagnostics, Германия) с использованием высокочувствительного теста Elecsys Troponin T hs STAT (Roche Diagnostics, Германия). Метрологические характеристики методики определения сTnT выглядели следующим образом: предел измерения холостой пробы — 1,58 пг/мл, предел обнаружения — 2,54 пг/мл, верхняя граница диапазона референтных значений (99-й перцентиль) — 14 пг/мл.

Активность аспаратамиотрансферазы (АСТ) и аланинаминотрансферазы (АЛТ) в сыворотке измеряли на автоматическом биохимическом анализаторе cobas c 311 (Roche Diagnostics, Германия).

Параметры циклической нагрузки (объем и интенсивность) оценивались по результатам ежедневного мониторинга с использованием пульсометрии. Интенсивность тренировочной нагрузки определялась на основе программного алгоритма Polar Flow с определением времени (абсолютного — в минутах и секундах и относительного — в процентах) нахождения спортсмена в каждой из индивидуальных пульсовых тренировочных зон, заранее установленных для каждого из участников исследования при прохождении функционального тестирования.

Нагрузкой низкой интенсивности считали I–II зоны по частоте сердечных сокращений (ЧСС) ниже аэробного порога (далее — АЭП): концентрация лактата в крови < 2 мм/л; нагрузкой средней интенсивности считали III зону по ЧСС (от АЭП до порога анаэробного обмена (АнП): концентрация лактата 2–4 мм/л; нагрузкой высокой интенсивности считали IV–V зоны по ЧСС (выше АнП): концентрация лактата > 4 мм/л.

Исследование было одобрено этическим комитетом ФГБУ ФНЦ ВНИИФК (протокол № 2 от 01 апреля 2021 г.) и выполнено в рамках государственного задания ФГБУ ФНЦ ВНИИФК № 777-00001-24 (№ 001-22/3). Спортсмены добровольно подписывали информированное согласие на участие в исследовании, медицинское вмешательство, использование информации в научных целях и публикацию результатов при условии соблюдения анонимности.

Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения Statistica, версия 10 (StatSoft, USA). При проведении статистического анализа параметры были проверены на нормальность распределения с использованием теста Колмогорова — Смирнова. Достоверность различий содержания сTnT между этапами подготовительного периода оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) при уровне значимости, равном 0,05. Для выявления зависимости между концентрацией сTnT и показателями, характеризующими морфологический статус и частоту сердечных сокращений (ЧСС), и оценки ее тесноты использовался корреляционный анализ — количественной мерой взаимосвязи являлась величина коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Оценка достоверности рассчитанных коэффициентов проводилась по *t*-критерию на уровне значимости 0,05.

3. Результаты

Наиболее высокое содержание сTnT в группе биатлонистов зафиксировано в мае и июне, в июле его концентрация снижалась на уровне тенденции ($p > 0,05$), а с августа по октябрь — достоверно ($p < 0,05$). Концентрация сTnT на общеподготовительном этапе была достоверно

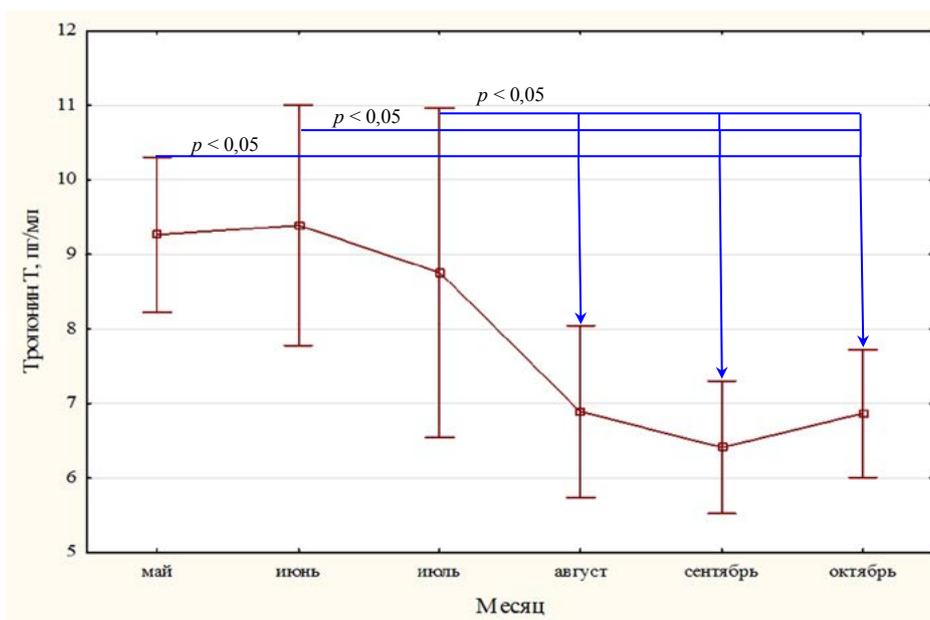


Рис. 1. Динамика концентрации сТnТ, измеренной в крови биатлонистов высокого класса ($n = 23$) в подготовительном периоде годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

Fig. 1. Dynamics of cTnT blood levels in elite biathlonists ($n = 23$) during the early season of the annual macrocycle ($\bar{X} \pm \sigma$)

выше, чем на специально-подготовительном ($p < 0,05$), статистически значимых различий между специально-подготовительным и предсоревновательным этапами не обнаружено ($p > 0,05$).

Среднегрупповые сывороточные концентрации сТnТ, измеренные на общеподготовительном, специально-подготовительном и предсоревновательном этапах, составили $8,91 \pm 2,94$, $6,79 \pm 2,72$ и $6,51 \pm 2,42$ пг/мл соответственно. Среднегрупповые уровни сТnТ в крови спортсменов не превышали верхней границы общепопуляционного референтного интервала для здоровых мужчин (< 14 пг/мл) (рис. 1).

При проведении исследования были выявлены и проанализированы случаи превышения содержания сТnТ верхней границы общепопуляционной нормы, свидетельствующие о повреждении клеточных мембран кардиомиоцитов и высокой степени напряжения ССС в ответ на физические нагрузки. Анализ полученных данных показал, что в 80% случаев превышение концентрации сТnТ верхней границы референтного интервала (> 14 пг/мл) было незначительным (20–50%), тогда как в 20% повышение достигало 200–300%. Наиболее часто случаи значительного повышения концентрации сТnТ были зафиксированы на специально-подготовительном этапе, максимальная концентрация сТnТ составила 42 пг/мл.

Необходимо отметить, что активность АЛТ и АСТ, измеренные в крови биатлонистов с повышенным, относительно общепопуляционной нормы, уровнем сТnТ, не превышали верхних границ референтных диапазонов активностей ферментов — 41 и 40 Ед/л соответственно. Средняя же активность АЛТ и АСТ среди участников исследования находились в диапазоне $24,87 \pm$

7,43 и $31,80 \pm 7,15$ Ед/л, а коэффициент де Ритиса, рассчитанный на основании индивидуальных активностей аминотрансфераз, составлял $1,62 \pm 0,28$.

Выявление тесноты и направленности взаимосвязей между уровнем сТnТ и морфофункциональными показателями спортсмена (ЧСС и масса тела) осуществлялось с использованием корреляционного анализа. Полученные данные свидетельствуют о наличии положительной, в ряде случаев достоверной, но слабой корреляции между переменными, в связи с чем результаты дальнейшего изучения этого вопроса в статье не приводятся и не рассматриваются.

В таблице представлено распределение циклических средств подготовки по интенсивности на каждом этапе подготовительного периода годичного макроцикла. Данные, полученные с использованием подхода «время в зоне», приведены как в абсолютном выражении (в часах и минутах), так и в виде парциального объема от общего времени циклической нагрузки.

Общий объем нагрузок циклического характера, выполненный биатлонистами в подготовительном периоде, составил $361:30 \pm 45:18$ ч: мин, из них доля нагрузок низкой интенсивности составила 94,4%, средней — 3,7%, высокой — 1,9%. На общеподготовительном этапе в тренировочном процессе биатлонистов практически отсутствуют циклические нагрузки высокой интенсивности, соответствующие уровню IV–V пульсовых зон. Наибольший объем работы средней и высокой интенсивности локализован на специально-подготовительном этапе — 4,4 и 2,7% соответственно. Изменение показателей суммарного времени циклической нагрузки и времени работы в зонах интенсивности в ходе подготовительного периода представлено на рисунке 2.

Таблица

Объемы работы циклической направленности, выполненные биатлонистами высокого класса ($n = 23$) на различных этапах подготовительного периода (ОП — общеподготовительный, СП — специально-подготовительный, ПС — предсоревновательный)

Table

Volumes of cyclic loads performed by elite biathlonsists ($n = 23$) at various stages of the early season (GP — general preliminary, SP — special preliminary, P — precompetition)

Параметр	Интенсивность по ЧСС (зона)	Этап подготовительного периода		
		ОП (май—июнь)	СП (июль—сентябрь)	ПС (октябрь)
Объем циклической работы, ч: мин	I, II	116:04 ± 22:42	170:20 ± 21:40	55:11 ± 23:45
	III	2:56 ± 1:24	8:05 ± 1:29	2:18 ± 1:22
	IV, V	00:32 ± 00:12	04:55 ± 00:37	01:04 ± 00:28
	Всего	119:47 ± 15:00	183:31 ± 13:56	58:40 ± 12:20
Объем циклической работы, %	I, II	97,1	92,9	94,2
	III	2,5	4,4	3,9
	IV, V	0,5	2,7	1,8
	Всего	100	100	100

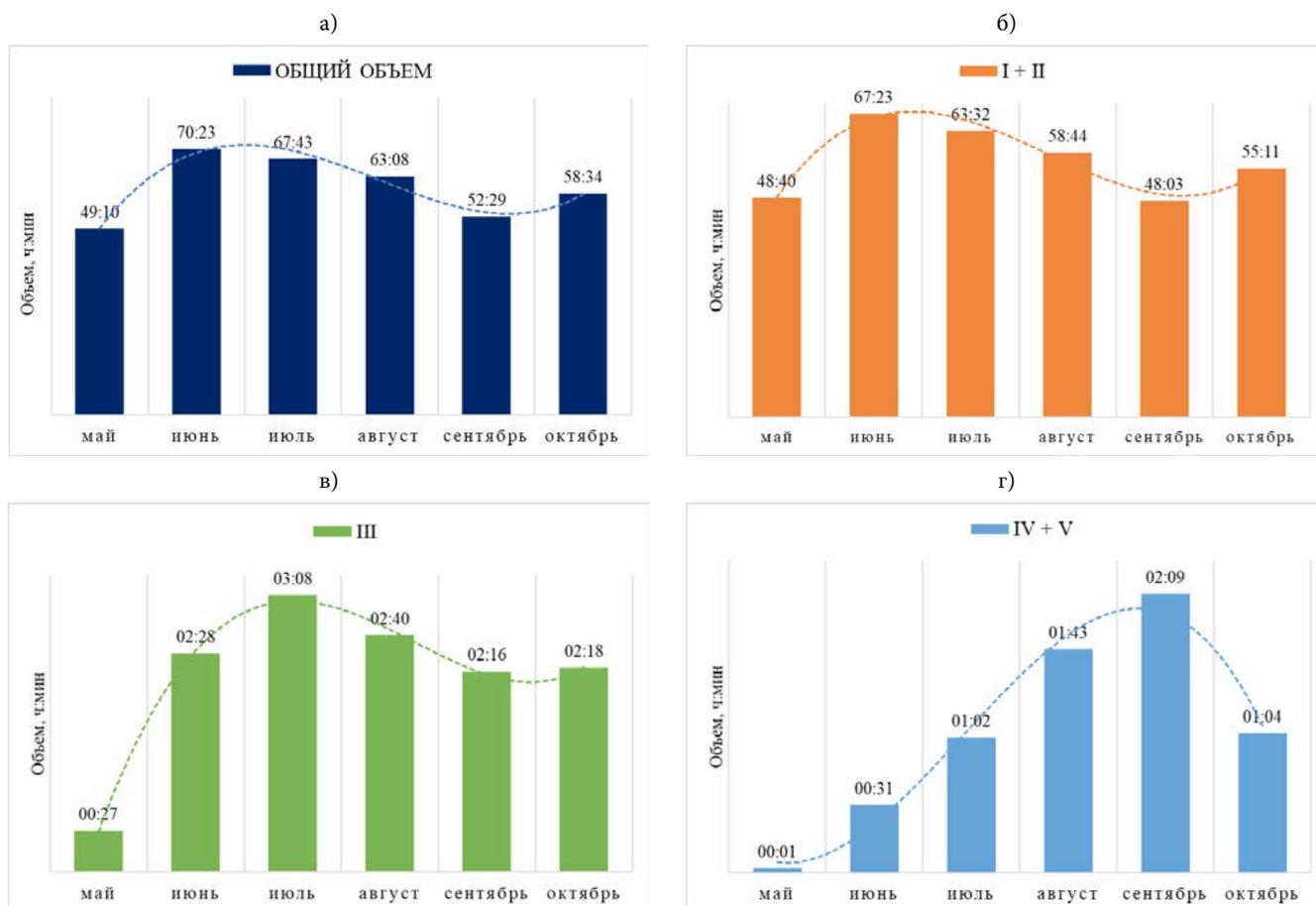


Рис. 2. Распределение циклических средств подготовки по интенсивности в подготовительном периоде годичного макроцикла биатлонистов высокого класса ($n = 23$)

Fig. 2. Distribution of cyclic training aids by intensity during the early season of the annual macrocycle of elite biathlonsists ($n = 23$)

Динамика общего объема циклических упражнений (рис. 2 а) имела волнообразный характер: с максимумом в июне, последовательным снижением к сентябрю (на 18 часов относительно июня) и увеличением в октябре. Объем низкоинтенсивной аэробной нагрузки также имел двухпиковую динамику с преобладанием первой волны (рис. 2 б). Динамика циклических средств подготовки средней интенсивности по месяцам подготовительного периода годового макроцикла биатлонистов (рис. 2 в) имела аналогичный вид, однако максимальный объем был зафиксирован в июле. Объемы низко- и среднеинтенсивной аэробной нагрузки повышались постепенно, начиная с короткого втягивающего этапа в мае и достигая максимальных значений в июне — июле. Характер динамики объема высокоинтенсивной нагрузки циклической направленности отличался от выше рассмотренных наличием одного пика. Так, циклические нагрузки высокой интенсивности биатлонисты начинают использовать только в конце общеподготовительного этапа (июнь), их доля от общего объема составляет всего 0,7 %. В июле и августе объем высокоинтенсивных нагрузок увеличивался, максимум был зафиксирован в сентябре — 4,1 %, а в октябре нагрузка снижалась приблизительно в два раза (1,8 %).

4. Обсуждение полученных результатов

Показано, что физические упражнения способны провоцировать повышение уровней сTn [10, 17, 18], при этом у спортсменов по сравнению с общей популяцией и пациентами с сердечно-сосудистыми заболеваниями, как правило, наблюдается относительно невысокое увеличение содержания сTnT по отношению к верхней границе референсных значений. При этом точные механизмы и клиническое значение высвобождения сTn, вызванного физическими упражнениями, остаются неясными. Анализ современных литературных данных позволяет выделить следующие основные механизмы высвобождения сTn под воздействием физической нагрузки: некроз и апоптоз клеток, клеточное высвобождение продуктов распада сTn, повышенная проницаемость клеточной мембраны кардиомиоцитов за счет производства активных форм кислорода, изменения ионного обмена кальция, рН, метаболизма жиров, углеводов и связи между интегративными белками клеточной мембраны, образование блебинг-везикул (пузырьков) на поверхности клеточной мембраны и последующего их разрыва на поверхности кардиомиоцитов [19]. Однако в связи со специфичностью анализа вероятность перекрестной реактивности от повреждения мышц, способствующего повышению концентраций сTn, минимальна [19, 20].

Несмотря на то что повышенные уровни сTn в крови спортсменов, специализирующихся в видах спорта на выносливость, не считаются патологическим явлением, повышение концентрации сTn, вызванное физическими нагрузками, может сигнализировать

о повышенном риске возникновения сердечно-сосудистых событий [19]. Ряд исследователей предполагают, что спортсмены, реагирующие на тренировочный стресс высвобождением сTn, подвержены повышенному долгосрочному сердечно-сосудистому риску [14, 21]. В исследовании Tesema и соавт. было показано, что в ответ на 12-недельную тренировку, направленную на развитие выносливости, у молодых спортсменов-любителей, занимающихся видами спорта на выносливость, уровни сTn достоверно и положительно связаны с изменением целого ряда показателей деятельности сердечной мышцы [22]. Аналогичные результаты были описаны в исследовании триатлонистов-любителей, наблюдавшихся на протяжении 11 месяцев подготовительного периода [23].

В проведенном исследовании среднegrupповое содержание сTnT в крови биатлонистов высокого класса не превышало верхней границы референтного интервала, установленного для здоровых мужчин (< 14 пг/мл). В то же время достоверно более высокая концентрация сTnT в группе участников исследования зафиксирована на общеподготовительном этапе, являющемся первой фазой эффективной адаптации к функционированию сердечно-сосудистой системы (ССС) в условиях соревновательной деятельности. Использование тренировок на выносливость направлено на обеспечение морфофункционального ремоделирования сердечной мышцы, а именно дилатации его камер с целью повышения функциональных возможностей ССС. Такой вектор адаптации сердца (гипертрофия L-типа) способствует безопасному переходу к выполнению биатлонистами большего объема работы средней и высокой интенсивности, вызывающего значительное напряжение ССС и обладающего определенными рисками перенапряжения миокарда. Несмотря на то что общеподготовительный этап у биатлонистов высокого класса в первую очередь характеризуется высокой долей низкоинтенсивных и продолжительных аэробных тренировок, на данном этапе подготовки нередко используются высокоинтенсивные тренировочные импульсы. Следовательно, однозначно утверждать вызваны ли достоверно высокие концентрации сTnT на общеподготовительном этапе длительными низкоинтенсивными тренировками или высокоинтенсивными интервальными тренировками не представляется возможным.

Для уменьшения риска перенапряжения миокарда на фоне большой дилатации камер сердца с июня в программу подготовки биатлонистов включаются упражнения средней и высокой интенсивности, вызывающие гипертрофию задней стенки левого желудочка (гипертрофия D-типа), что приводит к увеличению выталкивающей силы сердца и обеспечивает более полное опорожнение камер сердца в фазе систолы. Таким образом, физиологическим ответом сердца спортсмена на высокоинтенсивные физические нагрузки является его морфофункциональное ремоделирование с целью

поддержания высокого сердечного выброса и обеспечения достаточной доставки кислорода к работающим мышцам, что подтверждается наблюдаемым с августа достоверным снижением сывороточной концентрации сТнТ у участников исследования. Таким образом, выбранная на всем протяжении подготовительного периода тренерами стратегия в целом рациональна, так как характеризуется высокой преемственностью тренировочных эффектов циклических средств подготовки различной интенсивности, позволяющих повысить функциональные возможности ССС и увеличить ее адаптационный потенциал.

Кинетика сТн после острого инфаркта миокарда хорошо изучена — пиковые концентрации сТнI и сТнТ в сыворотке фиксируются через 10–12 часов после инфаркта и остаются повышенными в течение 4–10 дней. Однако характер и величина повышения сТн у пациентов различны и зависят от размера поражения и динамики элиминации сТн под влиянием реперфузии [12]. Кинетика высвобождения сТн в ответ на физические нагрузки менее ясна, но, как и в случае острого инфаркта миокарда, зависит от времени отбора крови после окончания нагрузки. После прекращения выполнения упражнений концентрации сТнТ и сТнI в сыворотке постепенно увеличиваются, однако первая достигает максимума спустя 3 часа [24], а вторая — в течение 4–6 часов [12]. В отличие от острого инфаркта миокарда, уровни сТнТ после тренировки повышаются умеренно и, как правило, возвращаются к характерным для состояния покоя значениям в течение 24 часов [25].

С одной стороны, по этой причине в рамках настоящей работы возможна недооценка концентрации сТнТ, поскольку измерения проводились спустя не менее чем 24 часа после окончания тренировочных мероприятий. С другой стороны, рассматриваемый факт можно считать и преимуществом данного исследования,

Вклад авторов:

Дикунец Марина Александровна — разработка концепции и дизайна исследования, написание первого варианта рукописи.

Федотова Елена Викторовна — разработка концепции и дизайна исследования, проведение статистического анализа результатов.

Дудко Григорий Алексеевич — сбор и обработка данных, редактирование текста.

Вирюс Эдуард Даниэлевич — сбор и обработка данных, утверждение окончательного варианта рукописи.

Список литературы / References

1. Maessen M.F.H., Verbeek A.L.M., Bakker E.A. et al. Life-long exercise patterns and cardiovascular health. *Mayo Clin. Proc.* 2016;91(6):745–754. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2016.02.028>
2. Lee D.C., Sui X., Artero E.G., Lee I.M., Church T.S., McAuley P.A., et al. Long-term effects of changes in cardiorespiratory fitness and body mass index on all-cause and cardiovascular disease mortality in men: the Aerobics Center Longitudinal Study.

поскольку биохимический мониторинг спортсменов проводился в стандартизированных условиях (перед обследованием биатлонистам запрещалось выполнение развивающих нагрузок циклической и силовой направленности), а с целью исключения гендерной и возрастной изменчивости сердечных эффектов в когорту включены только взрослые биатлонисты высокого класса. Одним из ограничений данной работы является участие в эксперименте только спортсменов мужского пола. Последующие исследования могут быть направлены на изучение динамики сТнТ у юных спортсменов 14–18 лет, поскольку их сердечная мышца ввиду несформированной кардиореспираторной системы испытывает повышенное напряжение при выполнении высокоинтенсивных нагрузок.

5. Заключение

Длительные интенсивные тренировочные нагрузки у спортсменов высокого класса в видах спорта на выносливость могут вызывать повышение сывороточной концентрации сТнТ выше верхних границ общепринятых референсных значений, что может являться проблемой при интерпретации полученных данных с учетом широкого спектра состояний, которые могут выступать в качестве причины.

Несмотря на то что многие ученые не считают повышение сТнТ, вызванное физической нагрузкой, патологией, нельзя исключать, что эта аномалия может быть предиктором развития различных патологических изменений СС в долгосрочной перспективе. Особенно актуальным это утверждение может быть в отношении молодых спортсменов. По этой причине спортсменам с аномальными значениями сТнТ рекомендуется в рамках углубленного медико-биологического обеспечения проводить полноценную диагностику состояния ССС для стратификации риска.

Author contributions:

Marina A. Dikunets — concept and design of the study, writing the first draft of the manuscript.

Elena V. Fedotova — concept and design of the study, statistical analysis.

Grigory A. Dudko — data collection and processing, text editing.

Edward D. Virus — data collection and processing, approval of the final version of the manuscript.

Circulation. 2011;124(23):2483–2490. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.111.038422>

3. Thompson P.D., Franklin B.A., Balady G.J., Blair S.N., Corrado D., Estes N.A., et al. Exercise and acute cardiovascular events placing the risks into perspective: a scientific statement from the American Heart Association Council on nutrition, physical activity, and Metabolism and the Council on Clinical Cardiology. *Circulation.* 2007;115(17):2358–2368. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.181485>

4. Warburton D.E., Nicol C.W., Bredin S.S. Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ*. 2006;174(6):801–809. <https://doi.org/10.1503/cmaj.051351>
5. Saltin B., Stenborg J. Circulatory response to prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.* 1964;19:833–838. <https://doi.org/10.1152/jap.1964.19.5.833>
6. Douglas P.S., O'Toole M.L., Hiller W.D., Hackney K., Reichel N. Cardiac fatigue after prolonged exercise. *Circulation*. 1987;76(6):1206–1213. <https://doi.org/10.1161/01.cir.76.6.1206>
7. Middleton N., Shave R., George K., Whyte G., Hart E., Atkinson G. Left ventricular function immediately following prolonged exercise: a meta-analysis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2006;38(4):681–687. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000210203.10200.12>
8. Vitiello D., Palacin F., Poinard L., Kirsch M., Jouini S., Billat V. Marathon-induced cardiac fatigue: a review over the last decade for the preservation of the athletes' health. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021;18(16):8676. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168676>
9. Сущевич Д.С., Рудченко И.В., Качнов В.А. Влияние физических упражнений на метаболизм и ремоделирование сердечно-сосудистой системы. *Наука молодых*. 2020;8(3):433–443. [Sushchevich D.S., Rudchenko I.V., Kachnov V.A. Effect of physical exercises on metabolism and remodeling of the cardiovascular system. *Nauka molodykh = Eruditio Juvenium*. 2020;8(3):433–443. (In Russ.)].
10. Martínez-Navarro I., Sánchez-Gómez J., Sanmiguel D., Collado E., Hernando B., Panizo N., Hernando C. Immediate and 24-h post-marathon cardiac troponin T is associated with relative exercise intensity. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2020;120(8):1723–1731. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04403-8>
11. Airaksinen K.E.J. Cardiac troponin release after endurance exercise: still much to learn. *J. Am. Heart Assoc.* 2020;9(4):e015912. <https://doi.org/10.1161/JAHA.120.015912>
12. Aengevaeren V.L., Baggish A.L., Chung E.H., George K., Kleiven Ø., Mingels A.M.A., et al. 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>
13. Gresslien T., Agewall S. Troponin and exercise. *Int. J. Cardiol.* 2016;221:609–621. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.06.243>
14. Omland T., Aakre K.M. Cardiac troponin increase after endurance exercise. *Circulation*. 2019;140(10):815–818. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.042131>
15. Wuestenfeld J.C., Kastner T., Hesse J., Fessler L., Froberg F., Rossbach C., Wolfarth B. Differences in troponin I and troponin T release in high-performance athletes outside of competition. *Int. J. Mol. Sci.* 2024;25(2):1062. <https://doi.org/10.3390/ijms25021062>
16. Kastner T., Froberg F., Hesse J., Wolfarth B., Wuestenfeld J.C. Exercise-induced troponin elevation in high-performance cross-country skiers. *J. Clin. Med.* 2024;13(8):2335. <https://doi.org/10.3390/jcm13082335>
17. Nie J., Zhang H., Kong Z., Wang C., Liu Y., Shi Q., George K. The impact of exercise modality and menstrual cycle phase on circulating cardiac troponin T. *J. Sci. Med. Sport*. 2020;23(3):309–314. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.10.003>
18. Weippert M., Divchev D., Schmidt P., Gettel H., Neugebauer A., Behrens K., et al. Cardiac troponin T and echocardiographic dimensions after repeated sprint vs. moderate intensity continuous exercise in healthy young males. *Sci. Rep.* 2016;6:24614. <https://doi.org/10.1038/srep24614>
19. Aengevaeren V.L., Hopman M.T.E., Thompson P.D., Bakker E.A., George K.P., Thijssen D.H.J., Eijssvogels T.M.H. Exercise-induced cardiac troponin I increase and incident mortality and cardiovascular events. *Circulation*. 2019;140(10):804–814. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.041627>
20. Janssen S.L.J.E., Berge K., Luiken T., Aengevaeren V.L., Eijssvogels T.M. Cardiac troponin release in athletes: what do we know and where should we go? *Curr. Opin. Physiol.* 2023;31:100629. <https://doi.org/10.1016/j.cophys.2022.100629>
21. Kleiven Ø., Omland T., Skadberg Ø., Melberg T.H., Bjørkavoll-Bergseth M.F., Auestad B., et al. Occult obstructive coronary artery disease is associated with prolonged cardiac troponin elevation following strenuous exercise. *Eur. J. Prev. Cardiol.* 2019;27(11):1212–1221. <https://doi.org/10.1177/2047487319852808>
22. Tesema G., George M. Associations between cardiac troponin I and cardiovascular parameters after 12-week endurance training in young moderately trained amateur athletes. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* 2021;7(1):e001065. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2021-001065>
23. Díaz-Garzón J., Fernández-Calle P., Aarsand A.K., Sandberg S., Buno A. Increases in high-sensitivity cardiac troponin I in athletes during a long-term period of routine training out of competition. *Clin. Chem.* 2020;66(8):1109–1111. <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvaa129>
24. Baker P., Leckie T., Harrington D., Richardson A. Exercise-induced cardiac troponin elevation: an update on the evidence, mechanism and implications. *Int. J. Cardiol. Heart Vasc.* 2019;22:181–186. <https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2019.03.001>
25. Lasocka-Koriat Z., Lewicka-Potocka Z., Kaleta-Duss A., Siekierzycka A., Kalinowski L., Lewicka E., Dąbrowska-Kugacka A. Differences in cardiac adaptation to exercise in male and female athletes assessed by noninvasive techniques: a state-of-the-art review. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2024;326(5):H1065–H1079. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00756.2023>

Информация об авторах:

Дикунец Марина Александровна, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, 10с1. ORCID: 0000-0002-5945-0722 (dikunets.m.a@vniifk.ru)

Федотова Елена Викторовна, доктор педагогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, 10с1. ORCID: 0000-0002-3725-5651 (fedotova.e.v@vniifk.ru)

Дудко Григорий Алексеевич*, старший научный сотрудник лаборатории биохимии ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, 10с1. ORCID: 0000-0002-1064-3283 (dudko.g.a@vniifk.ru)

Вирус Эдуард Даниэлевич, доктор химических наук, заведующий лабораторией биохимии ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, 10с1. (virus.e.d@vniifk.ru)

Information about the authors:

И Marina A. Dikunets, Ph.D. (Chemistry), Leading Researcher, Laboratory of Biochemistry, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, 10c1 Elizavetinsky lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0002-5945-0722 (dikunets.m.a@vniifh.ru)

Elena V. Fedotova, D.Sc. (Pedagogy), Associate Professor, Leading Researcher, Laboratory of Biochemistry, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, 10c1 Elizavetinsky lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0002-3725-5651 (fedotova.e.v@vniifh.ru)

Grigory A. Dudko*, Senior Researcher, Laboratory of Biochemistry, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, 10c1 Elizavetinsky lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0002-1064-3283 (dudko.g.a@vniifh.ru)

Edward D. Virus, D.Sc. (Chemistry), Head of the Laboratory of Biochemistry, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, 10c1 Elizavetinsky lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0001-9371-6494 (virus.e.d@vniifh.ru).

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Изменение адаптации опорно-двигательного аппарата к физическим нагрузкам при дисплазии соединительной ткани: анализ некоторых пусковых факторов

М.В. Санькова^{1*}, В.Н. Николенко^{1,2}, Л.А. Гридин³

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

² ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия

³ Московский центр проблем здоровья при Правительстве Москвы, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучить патогенетические изменения гомеостаза при дисплазии соединительной ткани для обоснования ее роли в формировании предрасположенности к возникновению травм опорно-двигательного аппарата.

Материалы и методы: базой данного научно-аналитического обзора явились данные электронных порталов PubMed-NCBI, Академия Google и Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

Результаты: представленный обзор литературы свидетельствует о том, что дисплазия соединительной ткани, в основе которой лежат генетически детерминированные и/или возникшие под влиянием средовых факторов дефекты синтеза или ремоделирования компонентов межклеточного матрикса, проявляется формированием неполноценной соединительной ткани и изменением ее биомеханических свойств. Это в первую очередь отражается на структуре и функции опорно-двигательного аппарата. В зависимости от нарушенного этапа метаболизма дисплазия соединительной ткани манифестирует разнообразными клиническими признаками, свидетельствующими о патологии костей скелета, их соединений, несостоятельности соединительнотканых межмышечных прослоек и сухожильно-фасциальных комплексов.

Заключение: изменение структуры и функции опорно-двигательного аппарата проявляется исходно сниженными его адаптационными возможностями и устойчивостью к физической нагрузке, определяя предрасположенность к возникновению травм. Персонализированный подход к выбору вида спортивной деятельности и программы тренировок при дисплазии соединительной ткани будет способствовать сохранению здоровья молодежи, профилактике ретравматизма и ранней инвалидизации.

Ключевые слова: дисплазия соединительной ткани, опорно-двигательный аппарат, патогенетические механизмы, дезадаптация к физической нагрузке, спорт, профилактика травм

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Санькова М.В., Николенко В.Н., Гридин Л.А. Изменение адаптации опорно-двигательного аппарата к физическим нагрузкам при дисплазии соединительной ткани: анализ некоторых пусковых факторов. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(3):55–64. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.6>

Поступила в редакцию: 03.11.2024

Принята к публикации: 13.02.2025

Online first: 04.03.2025

Опубликована: 04.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

Changes in musculoskeletal adaptation to physical activity in connective tissue dysplasia: analyzing some triggering factors

Maria V. Sankova^{1*}, Vladimir N. Nikolenko^{1,2}, Leonid A. Gridin³

¹Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

³Moscow Center for Health Problems under the Moscow Government, Moscow, Russia

ABSTRACT

Objective: to study pathogenetic homeostasis changes in connective tissue dysplasia to substantiate its role in the predisposition to musculoskeletal injuries.

Materials and methods: the basis of this scientific-analytical review was the analysis of data from the electronic portals PubMed-NCBI, Google Academy, and Scientific electronic e-Library.ru.

Results: the presented literature review indicates that connective tissue dysplasia, based on polygenically determined and/or environmental factors-induced defects in the synthesis or remodeling of intercellular matrix components, manifested by the formation of deficient connective tissue and significant changes in its biomechanical properties. This primarily affects the musculoskeletal structure and functions. Depending on the impaired metabolism stage, connective tissue dysplasia is manifested by a variety of clinical signs indicating pathology of skeletal bones and their joints, failure of connective tissue intermuscular layers and tendon-fascial complexes.

Conclusions: changes in the musculoskeletal structure and functions are manifested by its initially reduced adaptive capabilities and resistance to physical load, determining the predisposition to injury. A personalized approach to the choice of sports activity and training program in connective tissue dysplasia will help to preserve youth health, prevent re-traumatism and early disability.

Keywords: connective tissue dysplasia, musculoskeletal system, pathogenetic mechanisms, maladaptation to physical activity, sports, injury prevention, youth health preservation

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

For citation: Changes in musculoskeletal adaptation to physical activity in connective tissue dysplasia: analyzing some triggering factors. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(3):55–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.6>

Received: 03 November 2024

Accepted: 13 February 2025

Online first: 04 March 2025

Published: 04 March 2025

*Corresponding author

1. Введение

Развитие массовых занятий физической культурой и спортом сопровождается существенным ростом обращаемости молодых людей за медицинской помощью в связи с травмами опорно-двигательного аппарата, возникающих во время тренировок и соревнований [1–3]. Фоном, определяющим исходную несостоятельность тканей мезенхимального происхождения и существенно нарушающим в молодом возрасте морфофункциональную адаптацию опорно-двигательного аппарата к физическим нагрузкам, считается дисплазия соединительной ткани (ДСТ) [4, 5]. За последние годы существенно увеличилась распространенность несиндромной (недифференцированной) формы ДСТ, которая, по данным научных исследований, стала достигать в ряде популяций 85,4% [4, 6]. Согласно последним клиническим рекомендациям Российского научного медицинского общества терапевтов, эта патология имеет полигенную,

мультифакторную природу и характеризуется возникновением отдельных проявлений дисморфогенеза соединительной ткани, которые не укладываются в клиническую картину классических синдромных ДСТ (несовершенный остеогенез, синдромы Марфана, Эллерса — Данло, Шпрингера — Гольдберга, Стиклера и другие) [6]. В настоящее время несиндромная форма ДСТ не рассматривается как заболевание, и поэтому она не входит в последнюю версию международной классификации болезней (МКБ-11) [4, 6]. В связи с этим в программе первичного медицинского обследования молодых людей, желающих заниматься физической культурой и спортом, отсутствует обязательный скрининг состояния соединительной ткани¹. Поэтому целью проведенного исследования являлось изучение патогенетических изменений гомеостаза при дисплазии соединительной ткани для обоснования ее роли в формировании предрасположенности к возникновению травм опорно-двигательного аппарата.

¹ Приказ от 23 октября 2020 г. № 1144н Министерства здравоохранения Российской Федерации (в ред. Приказов Минздрава РФ от 22.02.2022 № 106н от 26.09.2023 № 497н).

2. Материалы и методы исследования

Базой данного научно-аналитического обзора явились данные электронных порталов PubMed-NCBI, Академия Google и Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU в период с 2016 по 2025 год. Именно в последние годы проблема ДСТ становится предметом активных научных исследований ученых в связи с ростом ее распространенности в популяции, полисистемностью диспластических проявлений и негативным влиянием данной патологии не только на состояние здоровья организма, но и на характер течения практически всех сопутствующих заболеваний. Для поиска использовались комбинации слов: «дисплазия соединительной ткани», «опорно-двигательный аппарат», «метаболизм», «коллаген», «эластин», «протеогликаны», «типы соединительной ткани» «связочно-капсулярные структуры», «сухожилия», «фасции», «кости», «хрящи», «синовиальная жидкость», «физическая нагрузка», «травма», а также их переводные эквиваленты на английском языке: “connective tissue dysplasia”, “musculoskeletal system”, “metabolism”, “collagen”, “elastin”, “proteoglycans”, “connective tissue types” “ligamentous-capsular structures”, “tendons”, “fascia”, “bone”, “cartilage”, “synovial fluid”, “physical activity”, “injury”. На финальном этапе обобщены данные 40 источников литературы.

3. Молекулярно-генетические факторы нарушения формирования соединительной ткани

В сравнении с другими тканями архитектуру соединительной ткани отличает значительный объем межклеточного вещества и относительно небольшое количество клеток, главная функция которых заключается в продукции и регуляции ремоделирования компонентов окружающего их матрикса: волокон и основного аморфного вещества, состоящего из углеводно-белковых комплексов и структурных гликобелков. Любой дисбаланс в этой системе, имеющий полигенную и/или мультифакторную средовую природу, может приводить к нарушениям структуры межклеточного матрикса и изменениям биомеханических свойств соединительной ткани [6, 7]. Прочность и упругость соединительной ткани придают коллагеновые волокна, которые состоят из многочисленных полипептидных цепей коллагена. В опорно-двигательном аппарате встречаются прежде всего коллагены, образующие прочные фибриллы, которые способны выдерживать высокую механическую нагрузку. Реализация мутаций в генах, кодирующих эти коллагены, мало зависит от внешних условий и проявляется синдромными формами ДСТ. Сбои на любом из последующих этапов модификации или ремоделирования коллагеновых волокон, вызванных мутациями в генах соответствующих ферментов или недостатком важных для этих процессов кофакторов (ионов металлов или витаминов), также сопровождаются появлением дефектных волокон и неполноценностью соединительной ткани разной степени выраженности [5, 6]. Этот сложный многоэтапный процесс

начинается внутри клеток на рибосомах гранулярной эндоплазматической сети с трансляции полипептидной цепи преколлагена, включающей более 1000 аминокислотных остатков [8–11]. Ремоделирование коллагеновых волокон осуществляется матриксными металлопротеиназами, активность которых регулируется специфическими ингибиторами тканевых металлопротеиназ (TIMP-белки) и зависит от присутствия ионов цинка и кальция. Многочисленными экспериментами доказано, что избыточная активность матриксных металлопротеиназ усиливает деградацию большинства структурных белковых компонентов межклеточного матрикса и существенно изменяет биомеханические свойства соединительной ткани [7, 10, 12–14].

Способность к растяжению и эластичность соединительной ткани обусловлены наличием в ней эластических волокон, которые, в отличие от коллагеновых, обычно более тонкие, разветвленные и образуют друг с другом многочисленные анастомозы. Основным компонентом этих волокон является эластин (ген ELN) — гликопротеин, который содержит около 800 аминокислотных остатков и имеет характерную глобулярную форму. В опорно-двигательном аппарате эластин содержится преимущественно в связках и связочно-капсулярных структурах. Мутации в гене данного белка и вызванные ими изменения его структуры манифестируют нарушением прочности эластичных тканей на разрыв и утратой их пластичных свойств [7, 15].

Особую значимость в формировании каркаса эластических волокон имеют синтезируемые клетками гликобелки фибриллины (гены FBN1, FBN3), которые образуют эластические микрофибриллы, в толщу которых откладываются молекулы эластина. Связываясь в цепочки в виде эластиновых протофибрилл, они образуют упругую сеть, которая находится во внутренней части зрелого эластического волокна. Она воспринимается как его гомогенный компонент, на который приходится около 90% белков [7, 16–18]. Сбои на этапах синтеза и распада эластических волокон определяются не только мутациями в генах, кодирующих входящие в них белки, но и мутациями в генах ферментов, участвующих в посттрансляционных модификациях этих белков, а также недостатком важных для этих процессов кофакторов. Так, длительно существующая гипомagneзиемия вызывает снижение активности эластаз и увеличение содержания эластических волокон, что клинически может проявляться гиперрастяжимостью связок и сухожилий, обуславливающих нестабильность суставов [7, 14, 19].

Одним из важных элементов межклеточного матрикса соединительной ткани, определяющих его структурно-функциональные свойства, являются гликозаминогликаны, наиболее крупным из которых является гиалуронан (гиалуроновая кислота). Именно он составляет базовую структуру для организации гелеобразного компонента и определяет физико-химические свойства межклеточного матрикса, позволяющие связывать



Рис. Изменение адаптации опорно-двигательного аппарата к физическим нагрузкам при дисплазии соединительной ткани
Fig. Changes in musculoskeletal system adaptation to physical activity in connective tissue dysplasia

большое количество воды и обеспечивать оптимальный уровень гидратации тканей [7, 20, 21]. Больше всего гиалуронана содержится в рыхлой волокнистой соединительной ткани, высокие его концентрации находятся в хрящевой ткани и синовиальной жидкости [7, 9]. Даже незначительные модификации в структуре гиалуронана нарушают его правильную конформацию и сопровождаются изменением гибкости этой макромолекулы, определяющей такие макроскопические свойства, как упругость соединительной ткани и вязкость синовиальной жидкости [9, 21, 22]. Кроме того, гиалуронан является важнейшим элементом, способствующим репаративным процессам опорно-двигательного аппарата, которые необходимы для физиологической адаптации [9, 20].

Другие гликозаминогликаны матрикса в сравнении с гиалуронатом имеют гораздо более низкую молекулярную массу и играют вспомогательную роль в интеграции аморфного вещества и волокон соединительной ткани. В матриксе они всегда соединены с белком, входят в состав протеогликанов и способствуют дополнительной гидратации матрикса и образованию углеводно-полисахаридного геля, который способен противостоять значительным механическим нагрузкам на сжатие и растяжение. Кроме того, гликозаминогликаны могут связывать катионы Ca^{2+} , Na^{+} , K^{+} и таким образом влиять на плотность хрящевой и костной ткани [7].

Протеогликаны и кодирующие их гены классифицируются в соответствии с включенными в них гликозаминогликановыми цепями, основные из которых содержат хондроитинсульфаты, дерматансульфаты, кератансульфаты и гепарансульфаты. Мутации в этих генах и генах

ферментов, участвующих в биохимических модификациях гликозаминогликанов и их присоединении к белковой молекуле, могут значительно влиять на структуру межклеточного матрикса. Так, изменения структуры хондроитинсульфатов преимущественно влияют на биомеханические свойства хрящевой и костной тканей, а также сухожильно-фасциального комплекса и связок. Дерматансульфаты определяют состояние межклеточного вещества костей и хрящей, кератансульфаты содержатся в большом (агрегане) и некоторых малых протеогликанах хрящевого матрикса, гепарансульфаты входят в состав протеогликанов базальных мембран и являются постоянным компонентом клеточной поверхности [7, 9, 23].

Важная интегрирующая роль в организации межклеточного матрикса соединительной ткани принадлежит многодоменным гликобелкам, которые содержат однородные структурные модули (домены), позволяющие связывать различные молекулы и клетки. Так, например, фибронектин участвует в объединении коллагена, протеогликанов, гиалуронана, углеводов и ферментов, а также в фиксации клеток в матриксе, их миграции и обеспечении регенеративных процессов. Особую роль фибронектин играет в механотрансдукции и адаптации к физической нагрузке [7, 24]. Ламинины и нидоген определяют структурную организацию компонентов базальной мембраны и способствуют клеточной адгезии и дифференцировке в этой области, тенасцины формируют комплексы с протеогликанами и модулируют их адгезивные свойства. Генетические дефекты биосинтеза этих структурных гликопротеинов приводят к нарушению формирования соединительной ткани и изменению ее биомеханических свойств [6, 25].

Таким образом, ДСТ, в основе которой лежат полигенно детерминированные и/или возникшие под влиянием средовых факторов дефекты синтеза или ремоделирования компонентов межклеточного матрикса, проявляются формированием неполноценной соединительной ткани и существенным изменением ее биомеханических свойств (рис.).

4. Морфофункциональные факторы как причина исходно сниженных адаптационных возможностей опорно-двигательного аппарата

Являясь своеобразным структурным каркасом для всех органов и систем организма человека, соединительная ткань играет первостепенную роль в формировании опорно-двигательного аппарата. В связи с этим нарушение формирования соединительной ткани и изменение ее биомеханических свойств влияет прежде всего на структуру и функционирование опорно-двигательного аппарата [9, 26]. Клинические проявления и выраженность этих изменений будут существенно зависеть от нарушенного этапа метаболизма, определяющего преимущественное поражение определенных видов соединительной ткани. Так, рыхлая волокнистая соединительная ткань, характеризующаяся преобладанием по занимаемому объему аморфного компонента над волокнами, расположена в виде многочисленных соединительнотканых прослоек между мышечными волокнами, содержащих кровеносные сосуды и нервы [9]. Патологические изменения этого вида ткани сопровождаются прежде всего признаками недостаточно адекватного кровоснабжения мышц и расстройствами их иннервации, которые существенно ухудшаются при физической активности. Клинически это проявляется болями в мышцах конечностей и быстрой их утомляемостью, зябкостью рук и ног, ощущением онемения и парестезиями, болезненными мышечными спазмами и судорогами [4, 5, 9, 27, 28].

В плотной волокнистой соединительной ткани преобладают волокна, объединенные в мощные пучки. Если пучки волокон не имеют какой-либо единой ориентации, то это плотная волокнистая неоформленная соединительная ткань, которая в опорно-двигательного аппарате участвует в образовании надкостницы и надхрящницы и определяет питание костей и хрящей, а также их моделирование в процессе роста [9, 26]. Патологические изменения этого вида соединительной ткани сопровождаются несовершенным хондро- и остеогенезом и, соответственно, структурными изменениями скелетной ткани, которые проявляются прежде всего локальными деформациями конечностей и осевого скелета различной степени выраженности. Это, например, деформации тел позвонков, микрогнатия, готическое нёбо, деформации костей черепа, искривление перегородки носа, X- или O-образные деформации нижних конечностей и т. д. [6, 29]. Особую роль надкостница и надхрящница играют в репаративной регенерации костей и хрящей

при их повреждениях. Несостоятельность костных регенераторов (костных мозолей) обуславливает возникновение рецидивирующих переломов, даже в условиях отсутствия травмирующих факторов [5, 9, 26]. Кроме того, неполноценность коллагеновых волокон надкостницы служит причиной первичных энтезопатий, которые манифестируют постоянной микротравматизацией этих структур при физической активности вплоть до их полного отрыва от костей [6, 9, 30, 31].

В плотной волокнистой оформленной соединительной ткани пучки волокон идут лишь в одном направлении. Такой вид ткани в опорно-двигательного аппарате присутствует в связках и связочно-капсулярных структурах, которые укрепляют сочленения костей, определяют в них корректный объем движений и направляют движения костей. Кроме того, плотная волокнистая оформленная соединительная ткань формирует сухожилия и апоневрозы, посредством которых поперечнополосатые мышцы прикрепляются к костям скелета, а также образует фасции и перегородки, разделяющие отдельные мышцы или группы мышц и обеспечивающие их свободное скольжение и передачу движения к костям [9, 26].

Изменение упругих свойств связок и связочно-капсулярных структур суставов закономерно приводит к появлению нефизиологичного для данных сочленений объема активных и пассивных движений, вызывая нестабильность соединений, клинически проявляющейся синдромом гипермобильности суставов. Их избыточная подвижность создает условия для возникновения во время физической активности неоднократно повторяющихся растяжений связок, подворачиваний стоп, подвывихов и вывихов в суставах [5, 6, 32]. Слабость связочного аппарата, соединяющего отдельные позвонки, приводит к нестабильности позвоночно-двигательных сегментов и формированию таких деформаций позвоночного столба, как сколиоз, кифоз и кифосколиоз. Выраженность клинической симптоматики в этом случае зависит прежде всего от степени компрессии невралных структур, которая проявляется парестезиями, болевым синдромом, сенсорными и двигательными расстройствами. К тяжелым неврологическим нарушениям может приводить возникающий на фоне избыточной подвижности позвонков спондилолистез, при котором происходит смещение вышележащего позвонка относительно нижележащего [6, 33–36]. Неспособность связок выдерживать весовые (статические) нагрузки ведет к «распластыванию» стоп и формированию плоскостопия и вальгусного положения пяточных костей. Такие пациенты отмечают быстрое появление усталости и дискомфорта в стопах при ходьбе и длительном стоянии. Патология позвоночника и неправильная установка ног приводят к нарушению двигательного стереотипа и повышают вероятность получения травм опорно-двигательного аппарата [5, 6, 37]. Образование неполноценной плотной волокнистой оформленной соединительной

ткани определяет существенное снижение прочность сухожильно-фасциального комплекса и является фактором, предрасполагающим к возникновению повреждений и разрывов сухожилий, удерживателей и мышечных волокон в условиях их натяжения при физической нагрузке. Так, ДСТ является одним из предикторов разрыва ахиллова сухожилия [31]. Несостоятельность апоневрозов мышц манифестирует их диастазом (расхождением) и образованием грыжевых выпячиваний при повышении внутрибрюшного давления [5, 6].

Соединительная ткань со специальными свойствами составляет в опорно-двигательном аппарате основу синовиальных оболочек, которые выстилают всю поверхность полости синовиальных суставов, синовиальных сумок и сухожильных влагалищ. Основной функцией этих образований является синтез вязкой жидкости, которая обеспечивает свободное скольжение соприкасающихся поверхностей, позволяет равномерно распределять давление и предотвращает трение. Кроме того, она играет роль амортизатора и питает окружающие ткани, прежде всего суставные хрящи [9, 26]. Структурно-функциональные нарушения этого вида ткани сопровождаются прежде всего изменением количества и/или качественного состава синовиальной жидкости, что наиболее значимо отражается в функционировании крупных суставов, на которые, приходится воздействие наибольших нагрузок [5, 6, 38, 39].

Основную часть опорно-двигательного аппарата составляют скелетные соединительные (хрящевые и костные) ткани, отличительной особенностью которых является наличие в межклеточном веществе минеральных соединений: от 4–7% в хрящевой, до — 70% в костной ткани. Количество этих веществ определяет консистенцию межклеточного матрикса этих тканей (гелеобразная или твердая) и позволяет выполнять соответственно преимущественно амортизирующую или опорную функции. Среди хрящевых тканей наиболее широко в организме представлена гиалиновая хрящевая ткань, ключевой особенностью которой является наличие в ней более гидрофильных коллагеновых волокон и большого количества протеогликановых агрегатов — структур, связывающих большое количество воды [7, 9, 26]. Нарушение синтеза или ремоделирования этих белково-углеводных комплексов межклеточного матрикса хрящевой ткани приводит к раннему развитию дегенеративно-дистрофических изменений суставных хрящей, которые сопровождаются снижением их упругости и устойчивости к обычной физиологической нагрузке, прогрессирующему их разрушению и раннему развитию остеоартрозов [5, 6, 35, 36, 40]. Такие скелетопатии, как асимметрия в длине конечностей, долихостеномелия и арахнодактилия, вызванные диспропорциональным ростом длинных трубчатых костей в области их метафизов, обычно выявляются уже в первые годы жизни детей и с возрастом быстро прогрессируют. Патологические изменения хрящевой ткани, образующей передние

отделы ребер, манифестируют формированием воронкообразной или килевидной деформациями грудной клетки [5, 6].

Второй по распространенности в опорно-двигательном аппарате является волокнистая хрящевая ткань, которая составляет периферическую часть межпозвоночных дисков, а также находится в местах прикрепления сухожилий и связок к гиалиновому хрящу. Отличительной чертой волокнистого хряща является наличие большого количества толстых коллагеновых волокон, придающих им способность противостоять большим напряжениям и нагрузкам [7, 9, 26]. Структурные нарушения этого вида хрящевой ткани сопровождаются потерей влаги и уменьшением высоты межпозвоночных дисков, что существенно ухудшает амортизацию и биомеханику всего позвоночного столба и создает условия для возникновения протрузий и грыж во время физической активности из-за неравномерной нагрузки на межпозвоночный диск. Несостоятельность гиалиновых хрящей в местах прикрепления сухожилий и связок становится причиной их отрыва даже при обычной физической нагрузке [5, 6, 31, 35, 36, 41].

Главная особенность костной ткани, в сравнении с другими видами соединительной ткани, связана с высокой минерализацией, которая придает ей особую прочность. По сравнению с хрящевой тканью в костях содержится относительно небольшое количество воды, но много различных кислот, образующих комплексы с кальцием, импрегнирующим органическую матрицу кости. Присутствие в кости ряда неколлагеновых макромолекулярных соединений увеличивает ее минеральную плотность. Дефекты синтеза или ремоделирования этих структурных белков и белково-углеводных комплексов сопровождаются прогрессирующим снижением костной массы и нарушением микроархитектоники костей, что манифестирует их повышенной хрупкостью и увеличением риска переломов во время физической активности [5, 6, 9, 42–45]. Таким образом, лица, отличающиеся друг от друга по своим морфологическим и функциональным особенностям, по-разному адаптируются к условиям спортивной деятельности [46].

5. Заключение

Дисплазия соединительной ткани, в основе которой лежат полигенно детерминированные и/или возникшие под влиянием средовых факторов дефекты синтеза или ремоделирования компонентов межклеточного матрикса, проявляются формированием неполноценной соединительной ткани и существенным изменением ее биомеханических свойств. В первую очередь это отражается на структуре и функции опорно-двигательного аппарата и проявляется исходно сниженными его адаптационными возможностями и устойчивостью к физической нагрузке, что определяет его предрасположенность к возникновению травм.

Вклад авторов:

Санькова Мария Вячеславовна — сбор и анализ материала, написание текста статьи.

Николенко Владимир Николаевич — редактирование, утверждение финальной версии статьи.

Гридин Леонид Александрович — редактирование статьи.

Authors' contributions:

Maria V. Sankova — collecting and analyzing material, writing the article text.

Vladimir N. Nikolenko — editing, approval of final article version.

Leonid A. Gridin — article editing.

Список литературы

References

1. **Игизбаев А.А.** Проблема травматичности спорта. Уральский научный вестник. 2023;10(9):50–54.
2. **Кенис В.М., Баиндурашвили А.Г., Сапоговский А.В., Мельченко Е.В., Касев А.Н., Шпупев П.С.** Травмы опорно-двигательного аппарата и болевой синдром у детей, занимающихся спортом (обзор литературы). Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2024;12(2):271–283. <https://doi.org/10.17816/PTORS633296>
3. **Gimigliano F., Resmini G., Moretti A., Aulicino M., Gargiulo F., Gimigliano A., Liguori S., Paoletta M., Iolascon G.** Epidemiology of Musculoskeletal Injuries in Adult Athletes: A Scoping Review. *Medicina* (Kaunas). 2021;57(10):1118. <https://doi.org/10.3390/medicina57101118>
4. **Санькова М.В., Николенко В.Н.** Управление соединительнотканскими рисками в спортивной медицине. Спортивная медицина: наука и практика. 2023;13(3):78–87. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.10>
5. **Nikolenko V.N., Oganessian M.V., Vovkogan A.D., Cao Y., Churganova A.A., Zolotareva M.A., et al.** Morphological signs of connective tissue dysplasia as predictors of frequent post-exercise musculoskeletal disorders. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020;21(1):660. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03698-0>
6. Клинические рекомендации Российского научного медицинского общества терапевтов по диагностике, лечению и реабилитации пациентов с дисплазиями соединительной ткани (первый пересмотр). *Медицинский вестник Северного Кавказа*. 2018;13(1–2):137–209. <https://doi.org/10.14300/mnnc.2018.13037>
7. **Северин С.Е.** Биологическая химия с упражнениями и задачами. 3-е изд. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2017.
8. **Zhao C., Xiao Y., Ling S., Pei Y., Ren J.** Structure of Collagen. *Methods Mol. Biol*. 2021;2347:17–25. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1574-4_2
9. **Кузнецов С.Л., Мушкамбаров Н.Н.** Гистология, цитология и эмбриология. 3-е изд., испр. и доп. Москва: Медицинское информационное агентство; 2016.
10. **Selvaraj V., Sekaran S., Dhanasekaran A., Warriar S.** Type 1 collagen: Synthesis, structure and key functions in bone mineralization. *Differentiation*. 2024;136:100757. <https://doi.org/10.1016/j.diff.2024.100757>
11. **Потекаев Н.Н., Борzych О.Б., Шнайдер Н.А., Петрова М.М., Карпова Е.И., Насырова Р.Ф.** Синтез коллагена в коже: генетические и эпигенетические аспекты. *Бюллетень сибирской медицины*. 2022;21(3):217–226. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2022-3-217-226>
12. **de Almeida L.G.N., Thode H., Eslambolchi Y., Chopra S., Young D., Gill S., Devel L., Dufour A.** Matrix Metalloproteinases: From Molecular Mechanisms to Physiology, Pathophysiology, and Pharmacology. *Pharmacol. Rev*. 2022;74(3):712–768. <https://doi.org/10.1124/pharmrev.121.000349>

1. **Igizbaev A.A.** The problem of sports traumatism. *Ural'skii nauchnyi vestnik [Ural scientific bulletin]*. 2023;10(9):50–54. (In Russian).
2. **Kenis V.M., Baidurashvili A.G., Sapogovsky A.V., Melchenko E.V., Kasev A.N., Shpulev P.S.** Musculoskeletal injuries and pain in children involved in sports: A literature review. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2024;12(2):271–283. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/PTORS633296>
3. **Gimigliano F., Resmini G., Moretti A., Aulicino M., Gargiulo F., Gimigliano A., Liguori S., Paoletta M., Iolascon G.** Epidemiology of Musculoskeletal Injuries in Adult Athletes: A Scoping Review. *Medicina* (Kaunas). 2021;57(10):1118. <https://doi.org/10.3390/medicina57101118>
4. **Sankova M.V., Nikolenko V.N.** Diagnostically significant dysplastic feature identification as a tool for managing connective tissue risks in sports medicine. *Sports medicine: research and practice*. 2023;13(3):78–87. (In Russian). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.10>
5. **Nikolenko V.N., Oganessian M.V., Vovkogan A.D., Cao Y., Churganova A.A., Zolotareva M.A., et al.** Morphological signs of connective tissue dysplasia as predictors of frequent post-exercise musculoskeletal disorders. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020;21(1):660. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03698-0>
6. Clinical Recommendations of the Russian Scientific Medical Society of Therapists on Diagnosis, Treatment and Rehabilitation of Patients with Connective Tissue Dysplasias (first revision). *Medical news of the North Caucasus*. 2018;13(1–2):137–209. (In Russian). <https://doi.org/10.14300/mnnc.2018.13037>
7. **Severin S.E.** Biological chemistry with exercises and tasks. 3rd ed. Moscow: GEOTAR-Media; 2017. (In Russian).
8. **Zhao C., Xiao Y., Ling S., Pei Y., Ren J.** Structure of Collagen. *Methods Mol. Biol*. 2021;2347:17–25. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1574-4_2
9. **Kuznetsov S.L., Mushkambarov N.N.** Histology, cytology and embryology. 3rd ed. Moscow: Medical Information Agency; 2016. (In Russian).
10. **Selvaraj V., Sekaran S., Dhanasekaran A., Warriar S.** Type 1 collagen: Synthesis, structure and key functions in bone mineralization. *Differentiation*. 2024;136:100757. <https://doi.org/10.1016/j.diff.2024.100757>
11. **Potekaev N.N., Borzych O.B., Shneider N.A., Petrova M.M., Karpova E.I., Nasyrova R.F.** Collagen synthesis in skin: genetic and epigenetic aspects. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2022;21(3):217–226. (In Russian). <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2022-3-217-226>
12. **de Almeida L.G.N., Thode H., Eslambolchi Y., Chopra S., Young D., Gill S., Devel L., Dufour A.** Matrix Metalloproteinases: From Molecular Mechanisms to Physiology, Pathophysiology, and Pharmacology. *Pharmacol. Rev*. 2022;74(3):712–768. <https://doi.org/10.1124/pharmrev.121.000349>

13. **Laronha H., Caldeira J.** Structure and Function of Human Matrix Metalloproteinases. *Cells*. 2020;9(5):1076. <https://doi.org/10.3390/cells9051076>
14. **Sankova M.V., Nikolenko V.N., Oganessian M.V. Sankov S.V., Sinelnikov M.Y., Suslov A.V., et al.** Magnesium deficiency and its interaction with the musculoskeletal system, exercise, and connective tissue: an evidence synthesis. *Sport Sci. Health*. 2024;20(3):1–12. <https://doi.org/10.1007/s11332-024-01179-8>
15. **Gardeazabal L., Izeta A.** Elastin and collagen fibres in cutaneous wound healing. *Exp. Dermatol.* 2024;33(3):e15052. <https://doi.org/10.1111/exd.15052>
16. **Procknow S.S., Kozel B.A.** Emerging mechanisms of elastin transcriptional regulation. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 2022;323(3):C666–C677. <https://doi.org/10.1152/ajp-cell.00228.2022>
17. **Schmelzer C.E.H., Hedtke T., Heinz A.** Unique molecular networks: Formation and role of elastin cross-links. *IUBMB Life*. 2020;72(5):842–854. <https://doi.org/10.1002/iub.2213>
18. **Trębacz H., Barzycka A.** Mechanical Properties and Functions of Elastin: An Overview. *Biomolecules*. 2023;13(3):574. <https://doi.org/10.3390/biom13030574>
19. **Heinz A.** Elastases and elastokines: elastin degradation and its significance in health and disease. *Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol.* 2020;55(3):252–273. <https://doi.org/10.1080/10409238.2020.1768208>
20. **Valachová K., Hassan M.E., Šoltés L.** Hyaluronan: Sources, Structure, Features and Applications. *Molecules*. 2024;29(3):739. <https://doi.org/10.3390/molecules29030739>
21. **Kobayashi T., Chanmee T., Itano N.** Hyaluronan: Metabolism and Function. *Biomolecules*. 2020;10(11):1525. <https://doi.org/10.3390/biom10111525>
22. **Skandalis S.S., Karalis T., Heldin P.** Intracellular hyaluronan: Importance for cellular functions. *Semin. Cancer Biol.* 2020;62:20–30. <https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2019.07.002>
23. **Ricard-Blum S., Vivès R.R., Schaefer L., Götte M., Merline R., Passi A., et al.** A biological guide to glycosaminoglycans: current perspectives and pending questions. *FEBS J.* 2024;291(15):3331–3366. <https://doi.org/10.1111/febs.17107>
24. **Dalton C.J., Lemmon C.A.** Fibronectin: Molecular Structure, Fibrillar Structure and Mechanochemical Signaling. *Cells*. 2021;10(9):2443. <https://doi.org/10.3390/cells10092443>
25. **Karamanos N.K., Theocharis A.D., Piperigkou Z., Manou D., Passi A., Skandalis S.S., et al.** A guide to the composition and functions of the extracellular matrix. *FEBS J.* 2021; 288(24): 6850–6912. <https://doi.org/10.1111/febs.15776>
26. **Сапин М.Р., Никитюк Д.Б., Николенко В.Н., Чавва С.В.** Анатомия человека: учебник: в двух томах. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2022.
27. **Хайбуллина Д.Х., Есин Р.Г.** Неврологические аспекты дисплазии соединительной ткани. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2023;123(7):7–11. <https://doi.org/10.17116/jnevro20231230717>
28. **Roicke H., Köhler W., Baum P., Baerwald C., Krasselt M.** Nichtentzündliche Muskelschmerzen [Non-inflammatory muscle pain]. *Dtsch. Med. Wochenschr.* 2020;145(13):887–894. <https://doi.org/10.1055/a-1068-5210>
29. **Jovanovic M., Guterman-Ram G., Marini J.C.** Osteogenesis Imperfecta: Mechanisms and Signaling Pathways Connecting Classical and Rare OI Types. *Endocr. Rev.* 2022;43(1):61–90. <https://doi.org/10.1210/endrev/bnab017>
30. **Wang H., He K., Cheng C.K.** The Structure, Biology, and Mechanical Function of Tendon/Ligament-Bone Interfaces. *Tissue*
13. **Laronha H., Caldeira J.** Structure and Function of Human Matrix Metalloproteinases. *Cells*. 2020;9(5):1076. <https://doi.org/10.3390/cells9051076>
14. **Sankova M.V., Nikolenko V.N., Oganessian M.V. Sankov S.V., Sinelnikov M.Y., Suslov A.V., et al.** Magnesium deficiency and its interaction with the musculoskeletal system, exercise, and connective tissue: an evidence synthesis. *Sport Sci. Health*. 2024;20(3):1–12. <https://doi.org/10.1007/s11332-024-01179-8>
15. **Gardeazabal L., Izeta A.** Elastin and collagen fibres in cutaneous wound healing. *Exp. Dermatol.* 2024;33(3):e15052. <https://doi.org/10.1111/exd.15052>
16. **Procknow S.S., Kozel B.A.** Emerging mechanisms of elastin transcriptional regulation. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 2022;323(3):C666–C677. <https://doi.org/10.1152/ajp-cell.00228.2022>
17. **Schmelzer C.E.H., Hedtke T., Heinz A.** Unique molecular networks: Formation and role of elastin cross-links. *IUBMB Life*. 2020;72(5):842–854. <https://doi.org/10.1002/iub.2213>
18. **Trębacz H., Barzycka A.** Mechanical Properties and Functions of Elastin: An Overview. *Biomolecules*. 2023;13(3):574. <https://doi.org/10.3390/biom13030574>
19. **Heinz A.** Elastases and elastokines: elastin degradation and its significance in health and disease. *Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol.* 2020;55(3):252–273. <https://doi.org/10.1080/10409238.2020.1768208>
20. **Valachová K., Hassan M.E., Šoltés L.** Hyaluronan: Sources, Structure, Features and Applications. *Molecules*. 2024;29(3):739. <https://doi.org/10.3390/molecules29030739>
21. **Kobayashi T., Chanmee T., Itano N.** Hyaluronan: Metabolism and Function. *Biomolecules*. 2020;10(11):1525. <https://doi.org/10.3390/biom10111525>
22. **Skandalis S.S., Karalis T., Heldin P.** Intracellular hyaluronan: Importance for cellular functions. *Semin. Cancer Biol.* 2020;62:20–30. <https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2019.07.002>
23. **Ricard-Blum S., Vivès R.R., Schaefer L., Götte M., Merline R., Passi A., et al.** A biological guide to glycosaminoglycans: current perspectives and pending questions. *FEBS J.* 2024;291(15):3331–3366. <https://doi.org/10.1111/febs.17107>
24. **Dalton C.J., Lemmon C.A.** Fibronectin: Molecular Structure, Fibrillar Structure and Mechanochemical Signaling. *Cells*. 2021;10(9):2443. <https://doi.org/10.3390/cells10092443>
25. **Karamanos N.K., Theocharis A.D., Piperigkou Z., Manou D., Passi A., Skandalis S.S., et al.** A guide to the composition and functions of the extracellular matrix. *FEBS J.* 2021; 288(24): 6850–6912. <https://doi.org/10.1111/febs.15776>
26. **Sapin M.R., Nikityuk D.B., Nikolenko V.N., Chava S.V.** Human anatomy: textbook: in two volumes. Moscow: GEOTAR-Media; 2022. (In Russian).
27. **Khaibullina D.Kh., Esin R.G.** Neurological aspects of connective tissue dysplasia. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2023;123(7):7–11. (In Russian). <https://doi.org/10.17116/jnevro20231230717>
28. **Roicke H., Köhler W., Baum P., Baerwald C., Krasselt M.** Nichtentzündliche Muskelschmerzen [Non-inflammatory muscle pain]. *Dtsch. Med. Wochenschr.* 2020;145(13):887–894. (In German). <https://doi.org/10.1055/a-1068-5210>
29. **Jovanovic M., Guterman-Ram G., Marini J.C.** Osteogenesis Imperfecta: Mechanisms and Signaling Pathways Connecting Classical and Rare OI Types. *Endocr. Rev.* 2022;43(1):61–90. <https://doi.org/10.1210/endrev/bnab017>
30. **Wang H., He K., Cheng C.K.** The Structure, Biology, and Mechanical Function of Tendon/Ligament-Bone Interfaces. *Tissue*

Eng. Part B Rev. 2024;30(5):545–558. <https://doi.org/10.1089/ten.TEB.2023.0295>

31. Sankova M.V., Beeraka N.M., Oganessian M.V., Rizaeva N.A., Sankov A.V., Shelestova O.S., et al. Recent developments in Achilles tendon risk-analyzing rupture factors for enhanced injury prevention and clinical guidance: Current implications of regenerative medicine. *J. Orthop. Translat.* 2024;49:289–307. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2024.08.024>

32. Bobzin L., Roberts R.R., Chen H.J., Crump J.G., Merrill A.E. Development and maintenance of tendons and ligaments. *Development.* 2021;148(8):dev186916. <https://doi.org/10.1242/dev.186916>

33. Gardner A., Berryman F., Pynsent P. The kyphosis-lordosis difference parameter and its utility in understanding the pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis. *BMC Res. Notes.* 2022;15(1):178. <https://doi.org/10.1186/s13104-022-06067-3>

34. Guo X., Guo Z., Li W., Chen Z., Zeng Y., Zhong W., Li Z. Scoliosis in dysplastic spondylolisthesis: a clinical survey of 50 young patients. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2022;23(1):335. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05297-7>

35. Санькова М.В., Николенко В.Н. Выявление признаков дисплазии соединительной ткани как один из факторов профилактики формирования хронического болевого синдрома в посттравматическом периоде. *Российский журнал боли.* 2022;2(1):27–32. <https://doi.org/10.17116/pain20222001127>

36. Санькова М.В., Николенко В.Н., Оганесян М.Н., Саньков А.В. Анатомический акцент на значимость крестцово-копчиковой области в неврологии. *Российский неврологический журнал.* 2024;29(1):67–76. <https://doi.org/10.30629/2658-7947-2024-29-1-67-76>

37. Malakoutikhah H., Madenci E., Latt L.D. The contribution of the ligaments in progressive collapsing foot deformity: A comprehensive computational study. *J. Orthop. Res.* 2022;40(9):2209–2221. <https://doi.org/10.1002/jor.25244>

38. Pap T., Dankbar B., Wehmeyer C., Korb-Pap A., Sherwood J. Synovial fibroblasts and articular tissue remodelling: Role and mechanisms. *Semin. Cell Dev. Biol.* 2020;101:140–145. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2019.12.006>

39. Wei Q., Zhu X., Wang L., Zhang W., Yang X., Wei W. Extracellular matrix in synovium development, homeostasis and arthritis disease. *Int. Immunopharmacol.* 2023;121:110453. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2023.110453>

40. Chaudhuri O., Cooper-White J., Janmey P.A., Mooney D.J., Shenoy V.B. Effects of extracellular matrix viscoelasticity on cellular behaviour. *Nature.* 2020; 584(7822):535–546. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2612-2>

41. Cornaz F., Widmer J., Farshad-Amacker N.A., Spirig J.M., Snedeker J.G., Farshad M. Intervertebral disc degeneration relates to biomechanical changes of spinal ligaments. *Spine J.* 2021;21(8):1399–1407. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.04.016>

42. Hart N.H., Newton R.U., Tan J., Rantalainen T., Chivers P., Siafarikas A., Nimphius S. Biological basis of bone strength: anatomy, physiology and measurement. *J. Musculoskelet Neuronal Interact.* 2020;20(3):347–371.

43. Конеv В.П., Кривошейн А.Е., Шишкина Ю.О., Коршунов А.С., Голошубина В.В., Субоч А.В., Молчанова А.О. Остеопороз как проявление дисплазии соединительной ткани. *Терапия.* 2019;5(7):74–80.

44. Sillence D.O. A Dyadic Nosology for Osteogenesis Imperfecta and Bone Fragility Syndromes 2024. *Calcif. Tissue Int.* 2024;115(6):873–890. <https://doi.org/10.1007/s00223-024-01248-7>

Eng. Part B Rev. 2024;30(5):545–558. <https://doi.org/10.1089/ten.TEB.2023.0295>

31. Sankova M.V., Beeraka N.M., Oganessian M.V., Rizaeva N.A., Sankov A.V., Shelestova O.S., et al. Recent developments in Achilles tendon risk-analyzing rupture factors for enhanced injury prevention and clinical guidance: Current implications of regenerative medicine. *J. Orthop. Translat.* 2024;49:289–307. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2024.08.024>

32. Bobzin L., Roberts R.R., Chen H.J., Crump J.G., Merrill A.E. Development and maintenance of tendons and ligaments. *Development.* 2021;148(8):dev186916. <https://doi.org/10.1242/dev.186916>

33. Gardner A., Berryman F., Pynsent P. The kyphosis-lordosis difference parameter and its utility in understanding the pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis. *BMC Res. Notes.* 2022;15(1):178. <https://doi.org/10.1186/s13104-022-06067-3>

34. Guo X., Guo Z., Li W., Chen Z., Zeng Y., Zhong W., Li Z. Scoliosis in dysplastic spondylolisthesis: a clinical survey of 50 young patients. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2022;23(1):335. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05297-7>

35. Sankova M.V., Nikolenko V.N. Identifying connective tissue dysplasia signs as one of the factors in the prevention of chronic pain syndrome formation in the post-traumatic period. *Russian Journal of Pain.* 2022;20(1):27–32. (In Russian). <https://doi.org/10.17116/pain20222001127>

36. Sankova M.V., Nikolenko V.N., Oganessian M.V., Sankov A.V. Anatomical focus on the sacrococcygeal region importance in neurology. *Russian neurological journal.* 2024;29(1):67–76. (In Russian). <https://doi.org/10.30629/2658-7947-2024-29-1-67-76>

37. Malakoutikhah H., Madenci E., Latt L.D. The contribution of the ligaments in progressive collapsing foot deformity: A comprehensive computational study. *J. Orthop. Res.* 2022;40(9):2209–2221. <https://doi.org/10.1002/jor.25244>

38. Pap T., Dankbar B., Wehmeyer C., Korb-Pap A., Sherwood J. Synovial fibroblasts and articular tissue remodelling: Role and mechanisms. *Semin. Cell Dev. Biol.* 2020;101:140–145. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2019.12.006>

39. Wei Q., Zhu X., Wang L., Zhang W., Yang X., Wei W. Extracellular matrix in synovium development, homeostasis and arthritis disease. *Int. Immunopharmacol.* 2023;121:110453. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2023.110453>

40. Chaudhuri O., Cooper-White J., Janmey P.A., Mooney D.J., Shenoy V.B. Effects of extracellular matrix viscoelasticity on cellular behaviour. *Nature.* 2020; 584(7822):535–546. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2612-2>

41. Cornaz F., Widmer J., Farshad-Amacker N.A., Spirig J.M., Snedeker J.G., Farshad M. Intervertebral disc degeneration relates to biomechanical changes of spinal ligaments. *Spine J.* 2021;21(8):1399–1407. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.04.016>

42. Hart N.H., Newton R.U., Tan J., Rantalainen T., Chivers P., Siafarikas A., Nimphius S. Biological basis of bone strength: anatomy, physiology and measurement. *J. Musculoskelet Neuronal Interact.* 2020;20(3):347–371.

43. Konev V.P., Krivoshein A.E., Shishkina Y.O., Korshunov A.S., Golosubina V.V., Suboch A.V., Molchanova A.O. Osteoporosis as a manifestation of connective tissue dysplasia. *Terapiya=Therapy.* 2019;5(7):74–80. (In Russian).

44. Sillence D.O. A Dyadic Nosology for Osteogenesis Imperfecta and Bone Fragility Syndromes 2024. *Calcif. Tissue Int.* 2024;115(6):873–890. <https://doi.org/10.1007/s00223-024-01248-7>

45. Плещёв И.Е., Ачкасов Е.Е., Николенко В.Н., Шкрёбко А.Н., Санькова М.В. Персонализация физической реабилитации пожилых мужчин с саркопенией. Вестник восстановительной медицины. 2022;21(6):9-18. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-6-9-18>

46. Выборная К.В. Соматотипологические характеристики спортсменов различных видов спорта. Спортивная медицина: наука и практика. 2022;12(3):14-29. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.3.9>

45. Pleshchev I.E., Achkasov E.E., Nikolenko V.N., Shkrebo A.N., Sankova M.V. Elderly People Physical Rehabilitation Personalization: a Prospective Comparative Study of 198 Patients with Sarcopenia. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2022;21(6):9-18. (In Russian). <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-6-9-18>

46. Vybornaya K.V. Somatotypological characteristics of athletes of various sports. Sports medicine: research and practice. 2022;12(3):14-29. (In Russian). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.3.9>

Информация об авторах:

Санькова Мария Вячеславовна, аспирант кафедры анатомии и гистологии человека, ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119991, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2 (cankov@yandex.ru)

Николенко Владимир Николаевич, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный работник высшей школы РФ, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой анатомии и гистологии человека, ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119991, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2; заведующий кафедрой нормальной и топографической анатомии факультета фундаментальной медицины, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1 (vn.nikolenko@yandex.ru)

Гридин Леонид Александрович, доктор медицинских наук, профессор, генеральный директор Московского центра проблем здоровья при Правительстве Москвы, Россия, Москва, ул. Житная, 14, стр. 3 (leonidgridin@yandex.ru)

Information about the authors:

Maria V. Sankova, graduate student of the Human Anatomy and Histology Department, Sechenov First Moscow State Medical University, Russia, 119048, Moscow, Trubetskaya Str., 8, building 2 (cankov@yandex.ru)

Vladimir N. Nikolenko, Honored Scientist of the Russian Federation, Honored Worker of Higher School of the Russian Federation, M.D., D. Sc. (Medicine), Professor, Head of the Human Anatomy and Histology Department, Sechenov First Moscow State Medical University, Russia, 119048, Moscow, Trubetskaya Str., 8, building 2; Head of the Normal and Topographic Anatomy Department, Basic Medicine Faculty, Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1 (vn.nikolenko@yandex.ru)

Leonid A. Gridin, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor, General Director of Moscow Center for Health Problems under the Moscow Government, Moscow, Russia, Zhitnaya str., 14/3 (leonidgridin@yandex.ru)



Does the lack of monitoring put elite swimmers at danger of overuse injuries?

*Muthu Kumar Sridhar**, *Ramesh Chandrasekarapandyan*, *Arvind Shanmugam*, *Harish Narayanan*,
Deepak Ram Thulasi Raman

Chettinad Hospital and Research Institute, Chettinad Academy of Research and Education, Kelambakkam, Tamil Nadu, India

Purpose of the study: Extreme volumes of swim training are endured by competitive swimmers, which can potentially cause overuse injury by overloading soft tissue structures. The aim of the study is to determine whether overuse injuries are more common during the training phase or competition phase among competitive swimmers.

Methods: This study used a prospective longitudinal design with training history and self-reported measures of overuse questionnaire once each fortnight for nine months, from March 2023 to November 2023. The study included the participation of 54 competitive swimmers ranging from various swimming clubs in India. The Oslo Sports Trauma Research Centre Overuse Injury Questionnaire was utilised to collect data on prevalence of substantial overuse injuries.

Results: The median (IQR) prevalence of shoulder substantial overuse injuries during training is 27.5 (16–38) and in competition is 0 (0–14) with a *p* value of 0.001. The mean (SD) of recovery session during training is 4.1 (0.3) and during competition is 4.5 (0.5). The mean (SD) of strength sessions during training period is 4.7 (0.6) and during competition is 2.7 (0.4).

Conclusion: Implementing an effective athlete monitoring system for load management can play a crucial role in reducing these injuries. It is critical to treat the root causes of an overuse injury after a diagnosis as it is important for the swimmer, their parents, coaches, team doctor and physiotherapist to work together to identify potential risk factors and formulate a plan to prevent injuries.

Keywords: swimming, overuse injury, surveillance, load management, recovery

For citation: Kumar M.S., Chandrasekarapandyan R., Shanmugam A., Narayanan H., Ram D.T. Does the lack of monitoring put Indian elite swimmers at danger of overuse injuries? *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(3):65–72. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.5>

Received: 27 October 2024

Accepted: 20 January 2025

Online first: 26 February 2025

Published: 04 March 2025

*Corresponding author

Является ли отсутствие контроля нагрузки у элитных пловцов фактором риска получения перегрузочных травм?

*Мутху Кумар Шридхар**, *Рамеш Чандрасекарпандян*, *Арвинд Шанмугам*, *Хариш Нараянан*,
Дипак Рам Туласи Раман

Больница и научно-исследовательский институт Четтинада, Четтинадская академия исследований и образования, Келамбаккам, Тамилнад, Индия

Цель исследования: Пловцы соревновательного уровня подвергаются высоким нагрузкам во время тренировок, что может привести к травмам из-за перегрузки мягкотканых структур. В связи с этим цель исследования — сравнить частоту травм, связанных с перегрузкой, во время тренировочного и соревновательного периодов.

Материалы и методы: В этом проспективном продольном исследовании приняло участие 54 пловца соревновательного уровня из плавательных клубов Индии. Сбор данных по графику тренировок и субъективным отчетам по перегрузке проводился раз в две недели в течение девяти месяцев — с марта по ноябрь 2023 года. Для сбора данных о распространенности травм, связанных с перегрузкой, использовался Oslo Sports Trauma Research Centre Overuse Injury Questionnaire.

Результаты: Медиана (IQR) распространенности значительных проблем с плечом из-за перегрузки в тренировочный период составила 27,5 (16,0–38), в соревновательный период — 0 (0–14) ($p = 0,001$). Среднее (SD) количество восстановительных сессий в тренировочный период составило 4,07 (0,26), в соревновательный период — 4,46 (0,50). Среднее (SD) количество силовых тренировок в тренировочный период составило 4,70 (0,57), в соревновательный период — 2,74 (0,44).

Заключение: Внедрение эффективной системы мониторинга спортсменов для контроля получаемой нагрузки может сыграть ключевую роль в снижении травм, вызванных перегрузкой. Также крайне важно устранять первопричины таких травм после постановки диагноза. Важно, чтобы пловец, его родители, тренеры, командный врач и физиотерапевт совместно выявляли потенциальные факторы риска и разрабатывали план профилактики травм.

Ключевые слова: плавание, перегрузочные травмы, опрос, контроль нагрузки, восстановление

Для цитирования: Кумар М.Ш., Чандрасекарпандян Р., Шанмугам А., Нараянан Х., Рам Д. Является ли отсутствие контроля нагрузки у элитных пловцов фактором риска получения перегрузочных травм? *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(3):65–72. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.5>

Поступила в редакцию: 27.10.2024

Принята к публикации: 20.01.2025

Online first: 26.02.2025

Опубликована: 04.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

1. Introduction

In India, there are approximately 10,000 to 20,000 registered competitive swimmers at various levels, including sub-junior, junior, and senior teams. Over the years, swimming in India has experienced substantial growth and development. Historically, swimming was not as prominent in India as cricket or field hockey as a competitive sport. Indian swimming has the potential to achieve new heights and produce world-class athletes by continuing to invest in infrastructure, coaching, and grassroots development, as well as incorporating scientific approach. Elite swimmers are those who possess exceptional aptitude and are able to adapt to a high volume of training with unwavering dedication. Swimming is a sport that necessitates the exercise of both the upper and lower extremities, as well as a significant demand on the cardiopulmonary system. The regulating organization for swimming and other water sports, such as diving, water polo, open water swimming, artistic swimming, and high diving, is World Aquatics. Backstroke, breaststroke, freestyle, butterfly, and a combination of all four strokes are collectively referred to as individual medley, World Aquatics acknowledges these as distinct swimming styles that are appropriate for competing in prestigious events such as the Olympics and the World Championship. Swimming athletes train freestyle, also known

as front crawl, for over 50 % of their swim session, regardless of their primary stroke performed in competition. Elite swimmers may experience musculoskeletal injuries in their shoulders, knees, and lower backs as a result of the continuous, repetitive motion of their upper and lower limbs during swimming [1]. Success in this sport requires not only physical strength and technique but also strategic planning and mental resilience. From early morning practices to intensive strength conditioning, professional swimmers embody the pursuit of excellence, often aiming for competing in prestigious events like the World Championships and the Olympics. Musculoskeletal injuries affecting the shoulder, knee, and vertebrae may be more likely to affect elite swimmers due to the repetitive nature of the normal swimming stroke. Repetitive strain and microtrauma are the primary causes of injuries in competitive swimming [2]. The practice of prescribing an extensive amount of low-intensity swim training to improve performance is well-known among coaches in competitive swimming [3]. Swimmers initiate their rigorous training regimen at a young age, typically between the ages of eight and eleven, and the volume of work involved can be excessive. Between 0.5 to 1 million arm cycles per arm per year are typically executed by an elite swimmer who is over the age of 13 [4, 5]. For this reason, overtraining has been associated with

excessive swimming exposure [6, 7] and increases the likelihood of pain, soft tissue injury and dissatisfaction [8, 9–11]. The prevalence of shoulder pain is particularly high, with rates as high as 91 % [11] and is a major cause of missed practice [5]. The arm strokes of female swimmers are, on average, shorter than those of their male counterparts. This puts them at a higher risk of developing an overuse injury from a biomechanical standpoint, as they perform more arm revolutions per lap [4]. Various factors, including physical development, fitness level, biomechanics, and the specific conditions of the sport, are likely to influence the optimal equilibrium between training intensity and recovery to facilitate adaptation in athletes while minimizing the risk of injury.

Elite Indian swimmers engage in ten two-hour workouts per week, a high-volume and less-recovery training phase from March to May and competition phase from June to November. During the competitive phase, which consists of an average of five to six competitions ranging from state level to national level, Swimmers undergo a distinctive taper period that lasts for 2 to 6 weeks prior to each championship meet, during which they reduce their volume by 50 % to 90 % and significantly reduce the intensity of their workouts. This demanding schedule is maintained, often without interruption. Furthermore, all of these athletes engage in weight training, which typically involves four to five (30 to 50 minutes) sessions per week during the training period and two to three (30 to 40 minutes) sessions per week during the competition period.

Developing nations like India, there is a dearth of research on the prevalence and prevention of acute and overuse sports injuries. The aim of the study is to determine whether overuse injuries are more common during the training phase or competition phase among competitive swimmers.

2. Methodology

Study design

For nine months, from March to November 2023, this study utilized a prospective longitudinal design with training history and self-reported measures of overuse questionnaires every two weeks to ascertain whether overuse issues are more prevalent among competitive swimmers during the training phase (March — May 23) or competition phase (June — November 23).

Participants

The team coaches of the 6 different Indian swimming club were contacted to inquire if they would be interested in participating in the study. Each athlete on the squad and their team physiotherapist were informed about the study in a group online session if they showed interest. Initially, 69 swimmers from the 6 different clubs who were contacted were found to be eligible to participate. Of these, 7 swimmers who were originally included in the study made the decision to cease participating, 3 swimmers suffered an acute injury during the competition phase, 4 swimmers were removed due to insufficient data, and 1 swimmer withdrew due to illness. Finally, 54 swimmers participated in the study.

Inclusion criteria:

- 1) five years or more of training experience;
- 2) age between 15–25 years;
- 3) should achieve eight or more swim workouts a week and planned to adhere to this level of training;
- 4) should participate a minimum of 3 (State or National or international level) competition per season.

Exclusion criteria:

- 1) past medical history of shoulder dislocation or surgery, lower back or knee surgery;
- 2) a musculoskeletal injury should not have prevented them from competing or missing more than three weeks of training in the past. Additionally, they must not have any injuries diagnosed during the initial musculoskeletal screening performed by a sports medicine Physician;
- 3) any traumatic injury within the 3 months of the study or during the study period.

Data Description

The study began with a questionnaire that covered informed consent and participant demographics. Following this, the team physiotherapist walked swimmers through the process of completing Google forms. These forms included the Oslo Sports Trauma Research Centre Overuse Injury questionnaire (OSTRC-O) and questions about their recent training, such as the average distance and duration of each session, as well as the number of strength training done and recovery sessions taken in the past week once each fortnight on Sunday mornings, which was the week's final training session. The survey took approximately five minutes to complete. Those who failed to respond automatically received a reminder. If necessary, a second reminder was given one day after the first request. If a participant did not respond after two reminders, the first author contacted them individually to encourage them to continue participating in the survey. Throughout the data collecting period, participants were asked to report any new traumatic injuries that required medical attention and to note the amount of time lost when the swimmer was unable to train or compete.

OSTRC-O questionnaire

Three anatomical areas: the shoulder, knee, and lower back would be the focus of 12 questions with four questions dedicated to each site.

Severity score

Each of the four questions is assigned a numerical value between 0 and 25, and the sum of these values is used to determine a severity score for each overuse injury ranging from 0 to 100. For every question, the response values were assigned in the following manner: 0 denotes no issues, while 25 represents the highest level. The intermediate response values were selected to ensure that the distribution from 0 to 25 was as even as feasible while continuing to use whole numbers. Consequently, questions 1 and 4 are rated 0–8–17–25,

while questions 2 and 3 are rated 0–6–13–19–25 respectively [12] athletes who reported injuries leading to moderate or severe reductions in training volume, or moderate or severe reductions in sports performance or complete inability to participate in sport (ie, athletes who selected option 3, 4 or 5 in either Question 2 or Question 3). This is referred to as the prevalence of substantial overuse injuries [12].

Statistical analysis

Data was collected using questionnaire from the study participants using google form. It was then exported to Microsoft excel and analysed using SPSS Version 21. Data analysis was performed using descriptive and inferential statistics. The demographic variables, including age, height, weight, and body mass index (BMI), were summarized using mean, standard deviation (SD), and frequencies where appropriate.

1. Descriptive Statistics: The participants' characteristics such as age, height, weight, and BMI were analysed using mean and standard deviation. The distribution of categorical variables, such as gender, was expressed as frequency and percentage.

2. Paired *t*-tests: Paired *t*-tests were conducted to compare mean scores for continuous variables measured in both training and competition phases. This test was used to analyse variables like:

a. Strength: Mean (SD) for training phase and competition phase.

b. Recovery: Mean (SD) for training phase and competition phase.

c. OSTRC-O score for training and competition phases.

Significant differences between training and competition phases for variables like strength and recovery were evaluated at a significance level of $p < 0.05$. The shoulder and low back overuse scores during training and competition were also compared using a paired *t*-test, showing significant differences.

3. Wilcoxon Signed-Rank Test: For variables that were not normally distributed, such as knee overuse scores, the Wilcoxon signed-rank test was employed to evaluate differences between the training and competition phases. This non-parametric test was appropriate for these data due to their skewed distribution.

4. Significance Level: A *p*-value of < 0.05 was considered statistically significant for all tests conducted. All analyses were performed using standard statistical software.

3. Results

The swimmers in this study had an average age of 18.8 years and a mean BMI of 25.7, 35 % of the elite swimmers were female, and 65 % were male. There were 33 swimmers who competed in freestyle, 9 in butterfly, and just 6 in backstroke and breaststroke (Table 1). The sample size for this study was not pre-calculated. Instead, all elite swimmers who were available, feasible, and met the inclusion criteria during the study period were included. This approach was necessary

due to the limited number of elite-level swimmers in India, making the population inherently small and specialized.

The average training distance per session was doubled during the training phase 9225.9 ± 1049.6 meters as compared with the competition phase 4750 ± 373 meters (Table 2), and the average total OSTRC-O scores were higher during the training phase 31 ± 18 than during the competition phase 14.3 ± 19.1 . Furthermore, there were also more strength sessions during the training phase with a mean of 4.7 ± 0.6 per week than during competition phase 2.7 ± 0.4 per week. The training phase showed a reduction in weekly recovery sessions, with a mean of 4.1 ± 0.26 compared to the competitive phase 4.5 ± 0.5 . (Table 3). The median difference in the OSTRC-O shoulder score between the training and competition phases was statistically significant using Wilcoxon signed-rank test with a *p* value of 0.001({Median (IQR) — During training — 27.5 (16–38) & competition is 0 (0–14)}). Similarly, the median (IQR) for overuse in the lower back during training was 0 (0–2.3) & competition is 0 (0–3) with a *p* value of 0.03, and the knee {Median (IQR)-during training & competition is 0 (0-0)} with a *p* value of 0.719 (Table 4).

Study's findings demonstrate that overuse injuries are more severe during the training phase than during the competition phase. Higher volume of swimming was observed during the training phase compared to the competition phase (Figures 1 and 2).

4. Discussion

To date, no research has concurrently assessed overuse injury in elite Indian swimmers. This prospective longitudinal research was conducted with 54 participants and is intended to address the gap in the literature.

The higher incidence of overuse injuries observed during the training phase could potentially be attributed to the significantly greater swim distance covered in each session compared to the competition phase. Increased training volume places greater stress on musculoskeletal structures, leading to repetitive microtrauma that, progresses to overuse injuries. Additionally, the training phase was characterized by fewer recuperation sessions, further compounding the risk of overuse injuries. This result is consistent with the findings of Sein ML et al., who concluded that supraspinatus tendinopathy is a common cause of shoulder discomfort in elite swimmers and is caused by a large amount of swim training [11]. In addition, Chandran et al. reported that the majority of swimming-related injuries (51.3 %) were caused by overuse, with shoulder injuries accounting for the largest proportion of these injuries [13].

Of the three joints in our study, the overuse of the lower back was shown to be the second most common issue among swimmers, prompting greater concern. which is corroborated by Capaci et al., lower back overuse injuries ranked second to shoulder pain with an incidence of 18.4 % [14]. 37 % of swimmers reported having low back pain, according to Mutoh et al in his study [15].

Table 1

The number of swimmers competing in each stroke, their anthropometric parameters, and years of training their primary stroke

Таблица 1

Количество пловцов, выступающих в каждом стиле плавания, их антропометрические параметры и тренировочный стаж в основном стиле плавания

Parameter	Freestyle	Backstroke	Breaststroke	Butterfly
No of swimmers	33	6	6	9
Height (cm)	169.9 ± 5.2	169.3 ± 3.2	169.3 ± 6.5	173.6 ± 5.3
Weight (Kg)	73.3 ± 5.1	68 ± 2.9	75.3 ± 6.9	72 ± 4.6
BMI	25.5 ± 2.5	23.8 ± 1.3	26.3 ± 2.2	23.9 ± 2.4
Years of training their primary stroke	11 ± 2.4	9.25 ± 2.5	12.3 ± 3.4	8.6 ± 1.5

Table 2

Comparison of the Training Phase and the Competition Phase

Таблица 2

Сравнение тренировочного и соревновательного периодов

	Training phase	Competition phase	Effect size (Cohen's d value)	p value
Average swimming distance per session (meters)	9225.9 ± 1049.6	4750 ± 373	5.7	0.001
Average swimming hours per session	2.6 ± 0.2	2.1 ± 0.2	2.5	0.001
Average OSTRC-O over All score	31 ± 18	14.3 ± 19.1	0.9	0.001

- **Small Effect:** $d = 0.2$, Indicates a small but noticeable difference between groups.
- **Medium Effect:** $d = 0.5$, Suggests a moderate difference
- **Large Effect:** $d = 0.8$, Reflects a large and significant difference between groups.

Table 3

Average Number of strength session done and recovery session taken per week

Таблица 3

Среднее количество силовых и восстановительных тренировок в неделю

	Training phase	Competition phase	Effect size (Cohen's d value)	p value
Average Strength Sessions Per Week	4.7±0.6	2.7±0.4	3.9	0.001
Average Recovery Sessions Per Week	4.1±0.3	4.5±0.5	1	0.001

Paired T test

- **Small Effect:** $d = 0.2$, Indicates a small but noticeable difference between groups.
- **Medium Effect:** $d = 0.5$, Suggests a moderate difference
- **Large Effect:** $d = 0.8$, Reflects a large and significant difference between groups.

Table 4

Three joints median (IQR) OSTRC-O scores during the training and competition phase

Таблица 4

Медиана (IQR) оценки OSTRC-O в тренировочном и соревновательном периодах

	Training Phase Median (IQR)	Competition Phase Median (IQR)	p Value (Paired t test)
Shoulder	27.5 (16–38)	0 (0–14)	0.001
Lower Back	0 (0–2.3)	0 (0–3)	0.03
Knee	0 (0–0)	0 (0–0)	0.719

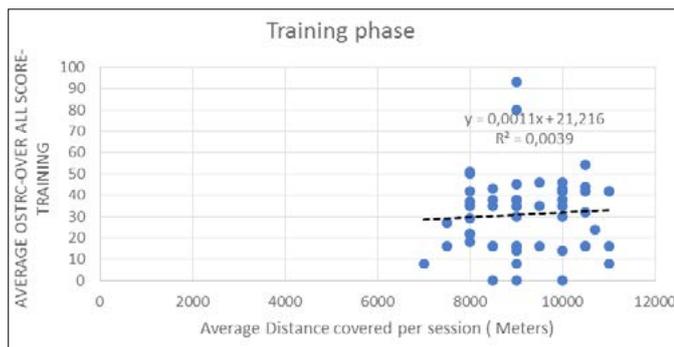


Fig. 1. Average training distance covered and Average OSTRC-O score during training phase

Рис. 1. Средняя пройденная дистанция за тренировку и средний балл OSTRC-O в тренировочном периоде

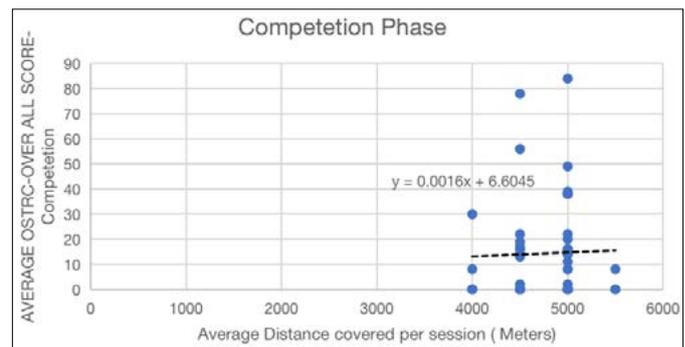


Fig. 2. Average training distance and Average OSTRC-O score during competition phase

Рис. 2. Средняя дистанция тренировки и средний балл OSTRC-O на этапе соревнований

The swimmers in our study who chose the breast stroke as their competition stroke experienced knee pain, which is corroborated by Keskinen et al. study, which concluded that swimmers who swim breaststroke had more knee pain than other swimming strokes [16]. Swimming-related knee pain is most frequently caused by patellar compression. The second most common reason is damage to the medial collateral ligament, also known as swimmer's or breaststroker's knee, which is caused by the knee's excessive valgus and rotatory stress during breaststroke kicking, which stretches the ligament [17].

This study is in line with previous research that has shown that elite swimmers are susceptible to overuse injuries due to amount of swimming they do. It underscores the significance of training load management in an approach to reduce training-related injuries, as supported by Tim J Gabbett. In his study, he emphasizes the importance of monitoring training load, including the load that athletes are prepared for, as a best practice approach to the long-term reduction of training-related injuries [18].

Particularly at the elite level, athletes' natural tendency to push through training and competition in spite of physical symptoms or functional restrictions, highlights the importance it is to utilize appropriate injury monitoring methods.

The primary limitations of the study are absence of elaborate clinical examinations and imaging techniques, such as ultrasonography or MRI, to identify the specific structures that are involved during overuse injury reporting. This level of specificity not only improves diagnostic accuracy but also enables the development of personalized treatment plans and more profound insights into injury mechanisms, rehabilitation strategies, and preventative measures, thereby enhancing the outcomes of individuals who have been impacted.

Future research should focus on psychological monitoring as athletes are far more vulnerable to injury when they experience psychological load (stressors) such as negative life

events and everyday hassles. Clinical practical recommendations include the following; they focus on proactive stress management education for athletes, coaches, and support personnel, as well as the reduction of state-level stresses [19]. Athletes' training and/or competition loads can be adjusted by implementing regular stress assessments (such as the hassle and uplift scale [20] or the life events survey for collegiate athletes [21]). To avoid potential tiredness, injuries, or burn-out, an athlete who reports high levels of daily hassle or stress may benefit from a training load reduction during a specific time frame of time [19].

5. Conclusion

In comparison to acute injuries, overuse injuries frequently remain undiagnosed due to their gradual development, which is not precipitated by a specific traumatic event. Overuse injuries are the consequence of repetitive stress on tissues, which results in microtrauma over time. Swimmers may ignore early symptoms, which can exacerbate the condition.

- 1) It is advised to track an athlete's swim training year-round in order to maintain a well-balanced program.
- 2) Recognizing and avoiding a sudden and significant increase in swimming volume is important for developing athletes.
- 3) Implementing an effective athlete monitoring system for load management can play a crucial role in reducing these injuries.
- 4) As part of any injury evaluation, make note of any previous injuries, as they are known to increase the likelihood of overuse injuries.
- 5) It is critical to treat the root causes of an overuse injury after a diagnosis as it is important for the swimmer, their parents, coaches, team doctor and physiotherapist to work together to identify potential risk factors and formulate a plan to prevent injuries.

Authors contribution:

Muthu Kumar Sridhar — conceptualization of the study, design of the methodology, interpretation of results, data analysis, and manuscript drafting and editing.

Ramesh Chandrasekarapandyan — oversight of data collection, and critical revisions of the manuscript.

Arvind Shanmugam — literature review, oversight of data collection.

Harish Narayanan — literature review, oversight of data collection.

Deepak Ram Thulasi Raman — supervision of the research process, communication with study participants, and final approval of the manuscript.

Вклад авторов:

Мутху Кумар Шридхар — концептуализация исследования, разработка методологии, интерпретация результатов, анализ данных, составление и редактирование рукописи.

Рамеш Чандрасекарпандян — контроль сбора данных и критический обзор рукописи.

Арвинд Шанмугам — обзор литературы, контроль сбора данных.

Хариш Нараянан — обзор литературы, контроль сбора данных.

Дипак Рам Туласи Раман — контроль за проведением исследования, коммуникация с участниками исследования и окончательное утверждение рукописи.

References

1. **Wanivenhaus F., Fox A.J.S., Chaudhury S., Rodeo S.A.** Epidemiology of Injuries and Prevention Strategies in Competitive Swimmers. *Sports Health*. 2012;4(3):246–251. <https://doi.org/10.1177/1941738112442132>
2. **Gaunt T., Maffulli N.** Soothing suffering swimmers: a systematic review of the epidemiology, diagnosis, treatment and rehabilitation of musculoskeletal injuries in competitive swimmers. *Br. Med. Bull.* 2012;103(1):45–88. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldr039>
3. **Nugent F.J., Comyns T.M., Warrington G.D.** Quality versus Quantity Debate in Swimming: Perceptions and Training Practices of Expert Swimming Coaches. *J. Hum. Kinet.* 2017;57(1):147–58. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0056>
4. **Bak K., Faunø P.** Clinical findings in competitive swimmers with shoulder pain. *Am. J. Sports Med.* 1997;25(2):254–260. <https://doi.org/10.1177/036354659702500221>
5. **Weldon E.J., Richardson A.B.** Upper extremity overuse injuries in swimming. A discussion of swimmer's shoulder. *Clin. Sports Med.* 2001;20(3):423–438. [https://doi.org/10.1016/s0278-5919\(05\)70260-x](https://doi.org/10.1016/s0278-5919(05)70260-x)
6. **Raglin J., Sawamura S., Alexiou S., Hassmén P., Kentta G.** Training Practices and Staleness in 13–18-Year-Old Swimmers: A Cross-Cultural Study. *Pediatr. Exerc. Sci.* 2000;12(1):61–70. <https://doi.org/10.1123/pes.12.1.61>
7. **Mackinnon L.T., Hooper S.L., Jones S., Gordon R.D., Bachmann A.W.** Hormonal, immunological, and hematological responses to intensified training in elite swimmers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1997;29(12):1637–1645. <https://doi.org/10.1097/00005768-199712000-00014>
8. **Tate A., Turner G.N., Knab S.E., Jorgensen C., Strittmatter A., Michener L.A.** Risk factors associated with shoulder pain and disability across the lifespan of competitive swimmers. *J. Athl. Train.* 2012;47(2):149–158. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.2.149>
9. **Walker H., Gabbe B., Wajswelner H., Blanch P., Bennell K.** Shoulder pain in swimmers: a 12-month prospective cohort study of incidence and risk factors. *Phys. Ther. Sport.* 2012;13(4):243–249. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2012.01.001>
10. **Madsen P.H., Bak K., Jensen S., Welter U.** Training induces scapular dyskinesis in pain-free competitive swimmers: a reliability and observational study. *Clin. J. Sport Med.* 2011;21(2):109–113. <https://doi.org/10.1097/jsm.0b013e3182041de0>
11. **Sein M.L., Walton J., Linklater J., Appleyard R., Kirkbride B., Kuah D., et al.** Shoulder pain in elite swimmers: primarily due to swim-volume-induced supraspinatus tendinopathy. *Br. J. Sports Med.* 2010;44(2):105–113. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.047282>
12. **Clarsen B., Myklebust G., Bahr R.** Development and validation of a new method for the registration of overuse injuries in sports injury epidemiology: the Oslo Sports Trauma Research Centre (OSTRC) overuse injury questionnaire. *Br. J. Sports Med.* 2013;47(8):495–502. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091524>
13. **Chandran A., Morris S.N., D'Alonzo B.A., Boltz A.J., Robison H.J., Collins C.L.** Epidemiology of Injuries in National Collegiate Athletic Association Women's Swimming and Diving: 2014–2015 Through 2018–2019. *J. Athl. Train.* 2021;56(7):711–718. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-703-20>
14. **Capaci K., Ozcaldiran B., Durmaz B.** Musculoskeletal pain in elite competitive male swimmers. *Pain Clin.* 2002;14(3):229–234. <https://doi.org/10.1163/156856902320761432>
15. **Mutoh Y.** Chronic injuries of elite competitive swimmers, divers, water polo players and synchronized swimmers. *Human Kinetics Books*; 1988.
16. **Keskinen K., Eriksson E., Komi P.** Breaststroke swimmer's knee. A biomechanical and arthroscopic study. *Am. J. Sports Med.* 1980;8(4):228–231. <https://doi.org/10.1177/036354658000800402>
17. **Richardson A.R.** The biomechanics of swimming: the shoulder and knee. *Clin. Sports Med.* 1986;5(1):103–113. [https://doi.org/10.1016/s0278-5919\(20\)31162-5](https://doi.org/10.1016/s0278-5919(20)31162-5)
18. **Gabbett T.J.** The training–injury prevention paradox: should athletes be training smarter *and* harder? *Br. J. Sports Med.* 2016;50(5):273–280. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>
19. **Ivarsson A., Johnson U., Podlog L.** Psychological predictors of injury occurrence: a prospective investigation of professional Swedish soccer players. *J. Sport Rehabil.* 2013;22(1):19–26. <https://doi.org/10.1123/jsr.22.1.19>
20. **DeLongis A., Folkman S., Lazarus R.S.** The impact of daily stress on health and mood: psychological and social resources as mediators. *J. Pers Soc Psychol.* 1988;54(3):486–495. <https://doi.org/10.1037//0022-3514.54.3.486>
21. **Petrie T.A.** Psychosocial antecedents of athletic injury: the effects of life stress and social support on female collegiate gymnasts. *Behav. Med.* 1992;18(3):127–138. <https://doi.org/10.1080/08964289.1992.9936963>

Информация об авторах:

Мутху Кумар Шридхар*, аспирант последнего курса, кафедра спортивной медицины, Четтинадская больница и научно-исследовательский институт, Академия исследований и образования Четтинад, Келамбаккам-603103, Тамилнад, Индия. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2017-7899>(muthukumar2129@gmail.com)

Рамеш Чандрасекарпандян, профессор и заведующий кафедрой, кафедра спортивной медицины, Четтинадская больница и научно-исследовательский институт, Академия исследований и образования Четтинад, Келамбаккам-603103, Тамилнад, Индия. (drramesh_iapmr@yahoo.co.in)

Арвинд Шанмугам, кафедра спортивной медицины, Четтинадская больница и научно-исследовательский институт, Академия исследований и образования Четтинад, Келамбаккам-603103, Тамилнад, Индия. (arvindsportsdoc@gmail.com)

Хариш Нараянан, доцент, кафедра спортивной медицины, Четтинадская больница и научно-исследовательский институт, Академия исследований и образования Четтинад, Келамбаккам-603103, Тамилнад, Индия. (harishsportsdoc@gmail.com)

Дипак Рам Туласи Раман, старший ординатор, кафедра спортивной медицины, Четтинадская больница и научно-исследовательский институт, Академия исследований и образования Четтинад, Келамбаккам-603103, Тамилнад, Индия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6171-1127> (deepakram707@gmail.com)

Information about the authors:

Muthu Kumar Sridhar*, Final year Post Graduate, Department of Sports Medicine, Chettinad Hospital and Research Institute, Chettinad Academy of Research and Education, Kelambakkam-603103, Tamil Nadu, India. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2017-7899> (muthukumar2129@gmail.com)

Ramesh Chandrasekarapandyan, Professor and Head of Department, Department of Sports Medicine, Chettinad Hospital and Research Institute, Chettinad Academy of Research And Education, Kelambakkam-603103, Tamil Nadu, India. (drramesh_iapmr@yahoo.co.in)

Arvind Shanmugam, Assistant Professor, Department of Sports Medicine, Chettinad Hospital and Research Institute, Chettinad Academy of Research And Education, Kelambakkam-603103, Tamil Nadu, India. (arvindsportsdoc@gmail.com)

Harish Narayanan, Assistant Professor, Department of Sports Medicine, Chettinad Hospital and Research Institute, Chettinad Academy of Research And Education, Kelambakkam-603103, Tamil Nadu, India. (harishsportsdoc@gmail.com)

Deepak Ram Thulasi Raman, Senior Resident, Department of Sports Medicine, Chettinad Hospital and Research Institute, Chettinad Academy of Research And Education, Kelambakkam-603103, Tamil Nadu, India ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6171-1127> (deepakram707@gmail.com)



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.

