



Спортивная Медицина:

наука и практика



*Sports
Medicine:*

T. 14 №1

2024

research and practice



КЛИНИКА ЛУЖНИКИ спортивная медицина

Клиника спортивной медицины «Лужники» — 70-летний опыт в медицинском обеспечении профессионального спорта высших достижений.

Клиника «Лужники» ведет научно-практическую деятельность. Наши специалисты принимают участие в крупнейших конференциях, обмениваются опытом с ведущими клиниками и университетами. На базе Клиники функционирует научно-клиническое отделение Кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации Сеченовского Университета.

Основные направления деятельности: углубленные медицинские обследования, функциональная диагностика, кардиология, восстановительное лечение.



**АНО «Клиника Спортивной Медицины»
Москва, ул. Лужники, 24, стр. 1
+7 495 125 000 5 | www.csmed.ru**



СЕЧЕНОВСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



КЛИНИКА ЛУЖНИКИ
спортивная медицина

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

Спортивная медицина: наука и практика

научно-практический журнал

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМЕСТИТЕЛИ

ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

Медведев И.Б. — проф., д.м.н.

НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Оганесян А.С. — проф., д.б.н.

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

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

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

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

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

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

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

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

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



СЕЧЕНОВСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



КЛИНИКА ЛУЖНИКИ
спортивная медицина

Founded by:

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

Sports Medicine: Research and Practice

research and practical journal

FOCUS AND SCOPE

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

EDITOR-IN-CHIEF

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

ASSOCIATE EDITORS

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

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

SCIENTIFIC EDITOR

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

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

РУБРИКИ ЖУРНАЛА:

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

ВИДЫ ПУБЛИКУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ:

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

Издатель:

Некоммерческое партнерство «Национальный электронно-информационный консорциум» (НП «НЭИКОН»)

115114, Москва, ул. Летниковская, д. 4, стр. 5, офис 2.4

тел./факс: +7 (499) 754-99-94

<https://neicon.ru/>

Заведующий редакцией:

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

Редакция:

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

Типография:

ООО «Издательство "Трида"»

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

Сайт:

smjournal.ru

neicon.ru

Подписано в печать 26.08.2024

Формат 60x90/8

Тираж 1000 экз.

Цена договорная

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

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

Плата за публикацию статей в журнале с аспирантов не взимается.

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

Журнал издается с 2011 года

Периодичность — 4 выпуска в год

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» — 90998

© Спортивная медицина: наука и практика, оформление, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Физиология и биохимия спорта

Е.В. Федотова, Г.А. Дудко, П.А. Сиделев, М.А. Дикунец
Особенности динамики концентрации маркеров остеогенеза и резорбции костной ткани у биатлонистов высокого класса в связи с компрессионной спецификой используемых циклических средств подготовки на этапах подготовительного периода 5

А.В. Шестопалов, Р.Ф. Фатхуллин, Т.В. Григорьева, Д.С. Мартыканова, Н.Х. Давлетова, И.М. Колесникова, А.А. Иванова, С.А. Румянцев
Особенности микробиома кишечника у спортсменов, занимающихся единоборствами 14

Паралимпийский спорт

Фатемех Ахмади, Мохаммад Амин Сафари, Хамид Реза Садегхтур, Сара Заре Каризак, Абдоссалех Зар, Пантелис Тео Николаидис
Качество сна и спортивные результаты у спортсменов с ограниченными физическими возможностями в индивидуальных видах спорта 25

Организация медицины спорта

А.В. Борисова, Ф.В. Тахавиева, М.М. Кузнецова, И.С. Долгалева, Я.И. Преображенский, З.О. Шабанова, Э.А. Малякина, М.С. Бутовский
Использование шкалы воспринимаемого усилия в профилактике травматизма у юных футболистов 32

Функциональная диагностика

А.В. Фролов, С.А. Ермолаева, М.Д. Дидур
Влияние дыхательного упражнения йоги «уддияна» на показатели кровотока в краевом синусе 41

Спортивная травматология

А.В. Сливин, С.А. Парастаев
Плантарный фасцит у спортсменов: современное состояние проблемы 50

Спортивное питание

И.В. Кобелькова, М.М. Коростелева
Влияние некоторых компонентов специализированных продуктов для спортсменов на кишечный микробиом и связанные с ним показатели макроорганизма. 65

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

Scopus

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА

eLIBRARY.RU

ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

РУКОИТ
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: 26 August 2024
60x90/8 Format
1000 Copies

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

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

There is no publication fee for postgraduate students.

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

Published since 2011

4 issues per year

«Russian Press» catalog index — 90998

© Sports medicine: research and practice, layout, 2024

CONTENTS

Sports Physiology and Biochemistry

Elena V. Fedotova, Grigorii A. Dudko, Petr A. Sidelev, Marina A. Dikunets
Aspects of the dynamics of osteogenesis and bone tissue resorption markers concentrations in elite biathlons due to the compression specificity of the cyclic training aids used at the stages of the early season 5

Alexander V. Shestopalov, Rail F. Fatkhullin, Tatiana V. Grigorieva, Dilyara S. Martykanova, Naila H. Davletova, Irina M. Kolesnikova, Anna A. Ivanova, Sergey A. Rummyantsev
Features of the intestinal microbiome in athletes engaged in martial arts. 14

Paralympic sport

Fatemeh Ahmadi, Mohammad Amin Safari, Hamid Reza Sadeghipour, Sara Zare Karizak, Abdossaleh Zar, Pantelis Theo Nikolaidis
Sleep quality and sports performance in physically impaired athletes of individual sports . . . 25

Sports Medicine Management

Alena V. Borisova, Farida V. Takhavieva, Maria M. Kuznetsova, Ilya S. Dolgalev, Yaroslav I. Preobrazhensky, Zumrud O. Shabanova, Ellina A. Malyakina, Mikhail S. Butovsky
Scale of perceived exertion as injury prevention tool for young football players 32

Functional Testing

Artem V. Frolov, Sargylana A. Ermolaeva, Michael D. Didur
Influence of the yoga breathing exercise "uddiyana" on blood flow in the marginal sinus . . . 41

Sports Traumatology

Anton V. Slivin, Sergey A. Parastaev
Plantar fasciitis in athletes: current state of the problem 50

Sports Supplements

Irina V. Kobelkova, Margarita M. Korosteleva
Influence of some components of specialized products for athletes on the intestinal microbiome and related macroorganism indicators 65

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



INTERNATIONAL



Особенности динамики концентрации маркеров остеогенеза и резорбции костной ткани у биатлонистов высокого класса в связи с компрессионной спецификой используемых циклических средств подготовки на этапах подготовительного периода

Е.В. Федотова, Г.А. Дудко*, П.А. Сиделев, М.А. Дикунец

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

РЕЗЮМЕ

Цель: изучение динамики маркеров метаболизма костной ткани у биатлонистов высокого класса в связи с компрессионной спецификой циклических средств подготовки, преимущественно используемых на этапах подготовительного периода годового тренировочного цикла.

Материалы и методы: в исследовании приняли участие биатлонисты высокого класса, проходящие централизованную подготовку в составе сборной команды Российской Федерации ($n = 23$). Количественное определение маркеров костного метаболизма (остеокальцин, P1NP, β -CrossLaps) в сыворотке проводили на автоматизированном анализаторе cobas e411 (Roche Diagnostics, Германия).

Результаты: выявлены различия в динамике маркеров остеогенеза и резорбции костной ткани, измеренных в сыворотке биатлонистов на этапах подготовительного периода. Среднегрупповое содержание остеокальцина достоверно ($p < 0,05$) повышалось на предсоревновательном этапе по сравнению с уровнем, измеренным на специально-подготовительном этапе подготовки. Среднегрупповая сывороточная концентрация β -CrossLaps достоверно снижалась при переходе от общеподготовительного этапа к специально-подготовительному ($p < 0,05$). На протяжении всего подготовительного периода у спортсменов, имеющих повышенную концентрацию β -CrossLaps, наблюдалось одновременное увеличение уровня P1NP.

Заключение: характерная для подготовки биатлонистов высокого класса напряженная тренировочная деятельность оказывает значительное влияние на активность клеток костной ткани, но при этом не выходит за границы адаптационных возможностей механизмов ремоделирования кости, что постепенно повышает функциональную надежность опорно-двигательного аппарата. Оптимизация отношения циклических средств с разным уровнем компрессионной нагрузки при проведении специализированной тренировки способствует адаптивным изменениям, защищающим костную ткань от резорбции, вызванной интенсивными упражнениями.

Ключевые слова: метаболизм костной ткани, маркер, биатлон, специфика средств подготовки

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУ ФНЦ ВНИИФК № 777-00001-24 (№ 001-22/3).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Федотова Е.В., Дудко Г.А., Сиделев П.А., Дикунец М.А. Особенности динамики концентрации маркеров остеогенеза и резорбции костной ткани у биатлонистов высокого класса в связи с компрессионной спецификой используемых циклических средств подготовки на этапах подготовительного периода. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(1):5–13. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.2>

Поступила в редакцию: 16.04.2024

Принята к публикации: 31.05.2024

Online first: 28.06.2024

Опубликована: 26.08.2024

* Автор, ответственный за переписку

Aspects of the dynamics of osteogenesis and bone tissue resorption markers concentrations in elite biathlons due to the compression specificity of the cyclic training aids used at the stages of the early season

Elena V. Fedotova, Grigoriy A. Dudko*, Petr A. Sidelev, Marina A. Dikunets

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

ABSTRACT

Aim: study the dynamics of osteogenesis and bone resorption markers in elite biathlons owing to the “compression” specifics of cyclic training aids, mainly used at the stages of the early season of the annual training cycle.

Materials and methods: 23 elite biathlons undergoing centralized training as the members of the Russian national team took part in the study.

Results: no changes in the P1NP amounts reaching a reliable level were recorded throughout the early season. The average group osteocalcin amount at the precompetition stage significantly ($p < 0,05$) increased compared with that measured at the special preliminary stage. Dynamics of β -CrossLaps concentration showed significant ($p < 0,05$) decrease during the transition from the general preliminary to the special preliminary stage.

Conclusion: the degree of intense training activity influence on the activity of bone cells and in turn the response of bone tissue to training loads depend on a set of exercise parameters performed by the athlete, such as duration, intensity, specificity, recovery time and mechanical stress. Optimizing the ratio of cyclic aids with different levels of compression loads during specialized training promotes adaptive changes which protect bone tissue from resorption affected by intense physical exercises. When analyzing the levels of bone metabolism markers for diagnosis and monitoring disorders associated with skeletal overload which could occur high-intensity training loads, an individual approach as well as recognition of the load specifics and parameters performed by an athlete at a specific stage of the training macrocycle are required.

Keywords: bone tissue metabolism, marker, biathlon, specifics of training aids

Acknowledgements: this work was conducted within State Assignments of the Federal Science Center of Physical Culture and Sport no. 777-00001-24 (theme no. 001-22/3).

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

For citation: Fedotova E.V., Dudko G.A., Sidelev P.A., Dikunets M.A. Aspects of the dynamics of osteogenesis and bone tissue resorption markers concentrations in elite biathlons due to the compression specificity of the cyclic training aids used at the stages of the early season. *Sportivnaya medicina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(1):5–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.2>

Received: 16 April 2024

Accepted: 31 May 2024

Online first: 28 June 2024

Published: 26 August 2024

*Corresponding author

1. Введение

Стрессовые повреждения костной ткани, в том числе стрессовые переломы, составляют около 20% от общего количества травм в спорте высших достижений [1, 2]. Частота их возникновения зависит от вида спорта, однако наиболее часто они развиваются в видах спорта на выносливость во время подготовительного периода (ПП). Характер и объем тренировочной нагрузки является решающим фактором, провоцирующим возникновение стрессовых повреждений костной ткани (СПКТ) [3]. Реакция костной ткани на нагрузку протекает по континууму: от нормального до ускоренного ремоделирования и стрессовой реакции до законченного стрессового перелома [3].

Наиболее частой реакцией костной ткани здоровых молодых спортсменов обоих полов на длительные, высокоинтенсивные и циклические нагрузки, особенно компрессионного характера, является регенерация и ремоделирование, повышающие ее прочность/устойчивость к последующим повреждениям. Ускоренный метаболизм клеток костной ткани может вызывать увеличение скорости обновления костной микроструктуры, обеспечивая ее

способность адаптироваться к различным видам механической нагрузки [1]. Костная ткань обладает собственным «механостатом», регулирующим функциональную адаптацию к нагрузкам [4], однако если запасов энергии и питательных веществ в костной ткани недостаточно, а процессы постнагрузочного восстановления не оптимальны, то создаются предпосылки для развития СПКТ [5].

Вызванные перенапряжением травмы костной ткани являются результатом постепенного снижения несущей способности определенных структур после регулярных нагрузок, то есть когда совокупная приложенная нагрузка превосходит предельную структурно-специфическую несущую способность [6].

Подвергающаяся регулярным аномальным нагрузкам в течение коротких периодов времени костно-хрящевая ткань склонна к возникновению микроповреждений [3], которые в случае несвоевременной коррекции тренировочных нагрузок обуславливают высокий риск развития СПКТ, вплоть до законченных стрессовых переломов [7, 8].

При этом наиболее часто применяемые в клинической практике методы диагностики СПКТ

(рентгенография, мультиспиральная компьютерная томография, магнитно-резонансная томография) позволяют верифицировать уже имеющиеся структурные изменения костной ткани. Поэтому мониторинг биохимических маркеров остеогенеза и резорбции кости, отражающих фактический метаболический статус кости и позволяющих оценить скорость и направление биологической активности, регулирующей обмен костной ткани, а также влияние физической нагрузки на метаболизм костной ткани во время высокоинтенсивных упражнений и долговременной адаптации, является важным для профилактики подобного травматизма среди спортсменов высокого уровня.

Маркеры остеогенеза являются продуктами остеобластов (остеокальцин, костный изофермент щелочной фосфатазы) или побочными продуктами неосинтеза коллагена (пропептиды проколлагена I типа). В то же время большинство маркеров резорбции связаны с продуктами распада коллагена, N- и C-телопептидами, пиридиновыми шшивками коллагена, к ним относятся ферменты, специфичные для остеокластов (тартрат-резистентная кислая фосфатаза) [9]. Следует отметить тот факт, что маркеры метаболизма костной ткани по-разному реагируют на тренировочные нагрузки. Так, костный изофермент щелочной фосфатазы чувствителен к аэробным нагрузкам, остеокальцин — к анаэробным упражнениям, а C-терминальный шшитый телопептид коллагена I типа (β -CrossLaps) можно считать чувствительным маркером резорбции костной ткани после быстрой нагрузки [9].

Современная система подготовки высококвалифицированных биатлонистов предусматривает выполнение в ПП значительного объема циклических нагрузок низкой и высокой интенсивности, особенностью которых является компрессионный характер воздействия на опорно-двигательный аппарат (ОДА) спортсменов [10]. При этом скорость восстановительных процессов костно-хрящевых структур существенно ниже, чем сократительных элементов скелетных мышц [11]. В результате такой адаптационной гетерохронности создается ситуация, при которой очередное тренировочное воздействие на ОДА спортсменов осуществляется на фоне относительного восстановления скелетных мышц и недовосстановления элементов костного матрикса, провоцируя тем самым риск травматизма.

В связи с этим актуальным является изучение динамики маркеров остеогенеза и резорбции костной ткани у высококвалифицированных биатлонистов с учетом компрессионной специфики тренировочных нагрузок, выполняемых на этапах ПП макроцикла подготовки.

2. Материалы и методы

В исследовании, одобренном этическим комитетом ФГБУ ФНЦ ВНИИФК (протокол № 2 от 01 апреля 2021 г.), приняли участие 23 спортсмена, проходящих централизованную подготовку в составе мужской

сборной команды России по биатлону. Все спортсмены добровольно подписали информированное согласие на участие в исследовании, медицинское вмешательство, использование информации в научных целях и публикацию результатов при условии соблюдения анонимности. Каждый спортсмен был проинформирован о рисках и потенциальном дискомфорте в ходе обследования. Все добровольцы были здоровы, минимум за 24 часа до проведения обследования им запрещалось выполнение развивающих нагрузок циклического и силового характера. Биохимический контроль осуществлялся на протяжении трех лет (2021–2023 гг.) на этапах ПП (апрель — октябрь, $n = 258$). Антропометрические и физиологические характеристики спортсменов: возраст — $25,29 \pm 3,20$ года; масса тела — $76,02 \pm 7,60$ кг; длина тела — $179,5 \pm 6,7$ см; индекс массы тела — $23,55 \pm 1,38$ кг/м²; максимальное потребление кислорода (МПК) — $69,61 \pm 6,65$ мл/мин/кг.

Забор крови проводился из локтевой вены в вакуумные пробирки с SiO₂ и гелем-сепаратором VACUETTE (Greiner Bio-One, Австрия). Образцы тщательно перемешивали, инкубировали при комнатной температуре в течение 30 минут, затем центрифугировали в течение 10 минут при относительном ускорении ротора центрифуги 1300×g Rotina 420 (Hettich, Германия). Полученные образцы сыворотки переносили в микропробирки для криоконсервации CryoPure (Sarstedt, Германия) и хранили до анализа при температуре -80°C .

Для решения задач данного исследования были выбраны следующие биохимические маркеры:

— N-терминальный пропептид проколлагена I типа (P1NP), уровни которого при высвобождении во внутриклеточное пространство отражают количество новообразованных молекул коллагена [9];

— N-MID фрагмент молекулы остеокальцина (остеокальцин) — маркер минерализации синтезированного коллагена и витамин К-зависимый неколлагеновый белок, синтезируемый остеобластами, одонтобластами и гипертрофированными хондроцитами [9];

— β -CrossLaps — маркер деструкции коллагена I типа и продукт начального этапа ферментативной деградации коллагена I, являющийся одним из наиболее чувствительных и специфических маркеров опосредованной остеокластами деградации коллагена [9].

Также в качестве меры количественной оценки баланса остеогенеза/резорбции костной ткани нами рассматривалось отношение P1NP/ β -CrossLaps [12].

Общепопуляционные нормы остеокальцина, P1NP и β -CrossLaps для молодых мужчин составляют 14–42, 22,5–120 и $< 0,584$ нг/мл соответственно.

Количественное определение маркеров осуществляли методом гетерогенного электрохемилюминесцентного иммуноферментного анализа типа «сэндвич» с технологией магнитной сепарации реакционной смеси на автоматическом анализаторе cobas e411, Roche Diagnostics (Германия), с использованием оригинальных

наборов реагентов, калибраторов и вспомогательных растворов. Для обеспечения контроля качества измерений использовали контрольную сыворотку PerciControl Varia (Roche Diagnostics, Германия).

Исходные данные документировались в Excel (Microsoft Corporation, 2019). Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения Statistica, версия 10 (StatSoft, Tulsa, OK, USA). При проведении статистического анализа все параметры были проверены на нормальность распределения с использованием теста Колмогорова — Смирнова. Достоверность различий содержания остеокальцина, P1NP и β -CrossLaps между этапами ПП оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) при уровне значимости, равном 0,05. Для выявления зависимости между переменными 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. Исключение выбросов выполнялось с применением подхода, предложенного Turkey и доработанного Horn,

согласно которому выбросы идентифицируются в квартилях [13, 14]. Для этого рассчитывали значения нижнего Q1 (25%) и верхнего Q3 (75%) квартилей, а также межквартильный размах (IQR), равный разнице между значениями верхнего и нижнего квартилей ($Q3-Q1$).

3. Результаты

Анализ среднегрупповых концентраций маркеров остеогенеза и резорбции костной ткани и отношения P1NP/ β -CrossLaps, измеренных в сыворотке высококвалифицированных биатлонистов на этапах ПП годичного цикла подготовки, продемонстрировал их статистически значимые изменения в зависимости от этапа подготовки (рис. 1).

При анализе среднегрупповых уровней сывороточной концентрации остеокальцина достоверных различий между общеподготовительным этапом (ОП) ($31,5 \pm 8,4$ нг/мл) и специально-подготовительным этапом (СП) ($30,7 \pm 9,1$ нг/мл) не выявлено ($p = 0,12$), однако его концентрация достоверно увеличивалась на предсоревновательном этапе (ПС) подготовки ($32,4 \pm 9,5$ нг/мл) ($p < 0,05$). Статистически достоверных различий содержания P1NP, измеренного в сыворотке

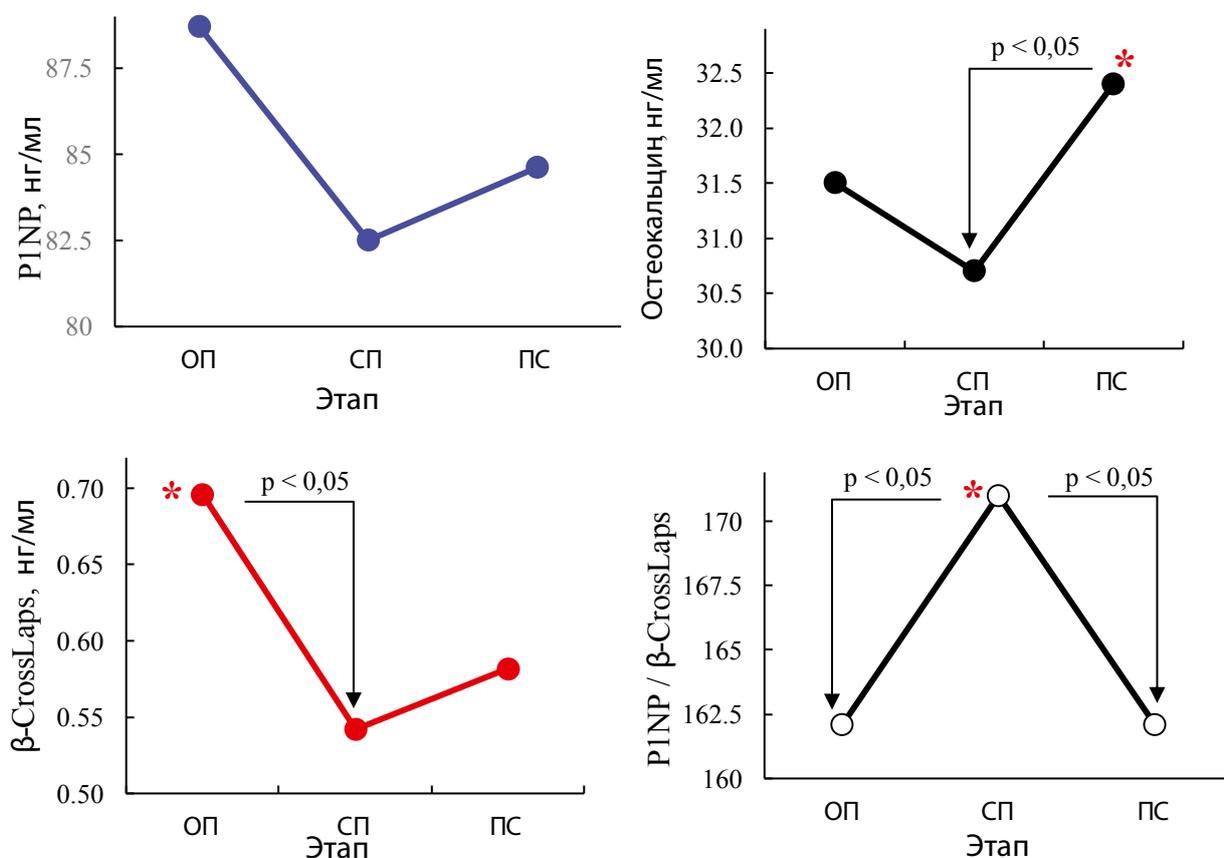


Рис. 1. Изменение средних концентраций маркеров метаболизма костной ткани и P1NP/ β -CrossLaps, измеренных в крови биатлонистов на этапах подготовительного периода, где ОП — общеподготовительный, СП — специально-подготовительный, ПС — предсоревновательный

Fig. 1. Changes in average concentrations of bone tissue metabolism markers and P1NP/ β -CrossLaps, measured in biathletes at the stages of the early season, GP — general preliminary stage, SP — special preliminary stage

биатлонистов на различных этапах ПП, не выявлено ($p = 0,17$). Среднегрупповая концентрация β -CrossLaps достоверно снижалась при переходе от ОП ($0,696 \pm 0,234$ нг/мл) к СП ($0,542 \pm 0,204$ нг/мл) ($p < 0,05$). Отношение концентраций P1NP к β -CrossLaps на СП было достоверно ($p < 0,05$) выше по сравнению с прочими этапами ПП.

При оценке взаимосвязи между концентрациями маркеров метаболизма костной ткани, измеренными в сыворотке биатлонистов, коэффициент корреляции Спирмена между концентрациями P1NP и остеокальцина составил $0,76$ ($p < 0,05$), что характеризует выявленную взаимосвязь как сильную. В то же время между содержаниями P1NP и β -CrossLaps наблюдалась умеренная теснота связи ($r = 0,36$, $p < 0,05$), а между остеокальцином

и β -CrossLaps — слабая ($r = 0,26$, $p < 0,05$). При включении в анализ только тех случаев, при которых концентрация β -CrossLaps превышала верхнюю границу физиологической нормы, теснота связи между уровнями P1NP и β -CrossLaps достоверно повышалась ($r = 0,55$, $p < 0,05$). Аналогичная тенденция была зафиксирована при оценке взаимосвязи между уровнями остеокальцина и β -CrossLaps ($r = 0,35$, $p < 0,05$) (рис. 2).

4. Обсуждение полученных результатов

Относительное распределение основных циклических средств подготовки биатлонистов высокого класса, используемых на этапах ПП и различающихся величиной компрессионного воздействия на ОДА, представлено на рис. 3 и 4.

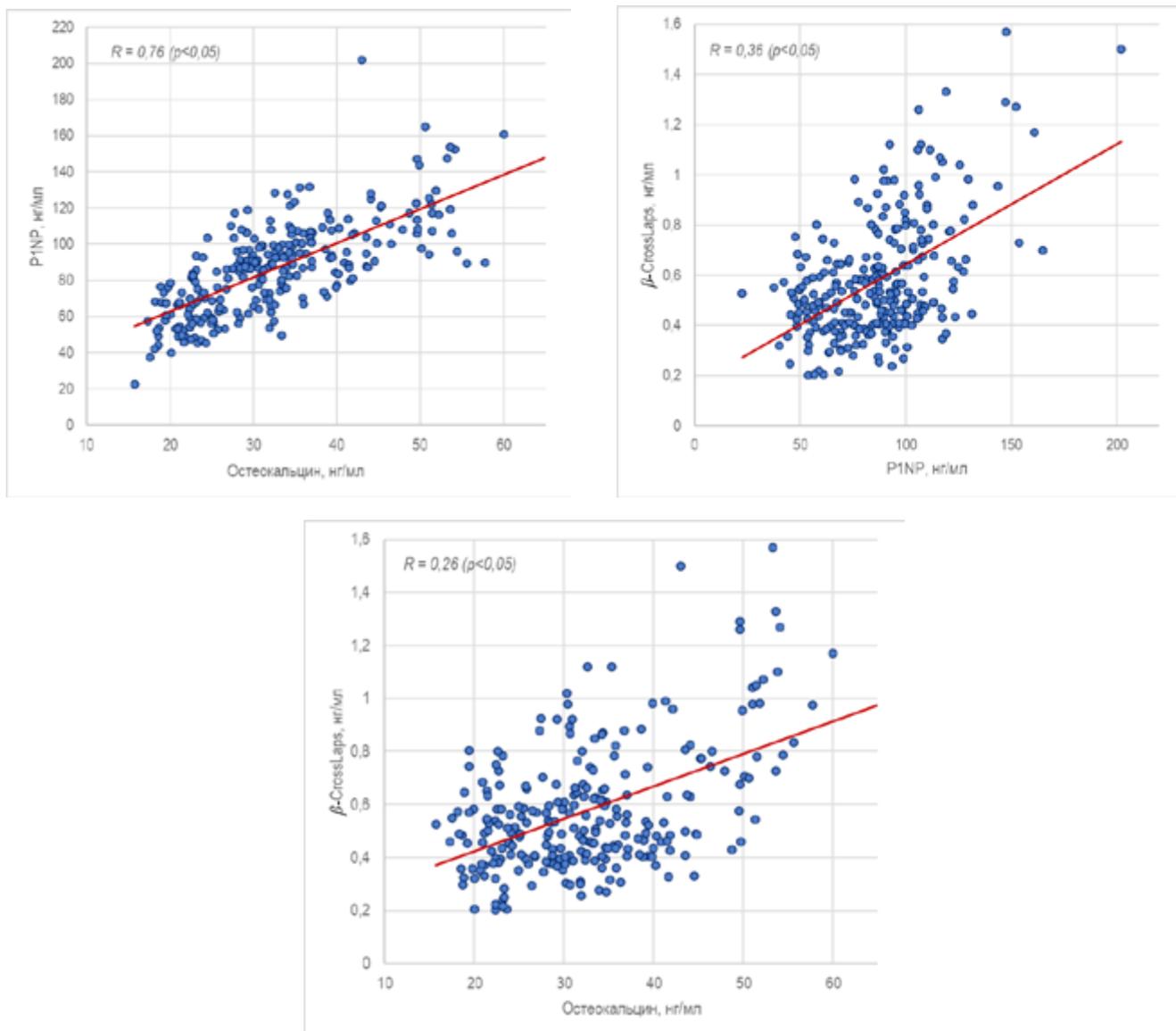


Рис. 2. Корреляционная взаимосвязь между маркерами остеогенеза и резорбции костного матрикса у элитных биатлонистов в подготовительном периоде годового макроцикла

Fig. 2. Correlation between markers of osteogenesis and bone matrix resorption in elite biathlonists in the preparatory period of the annual macrocycle

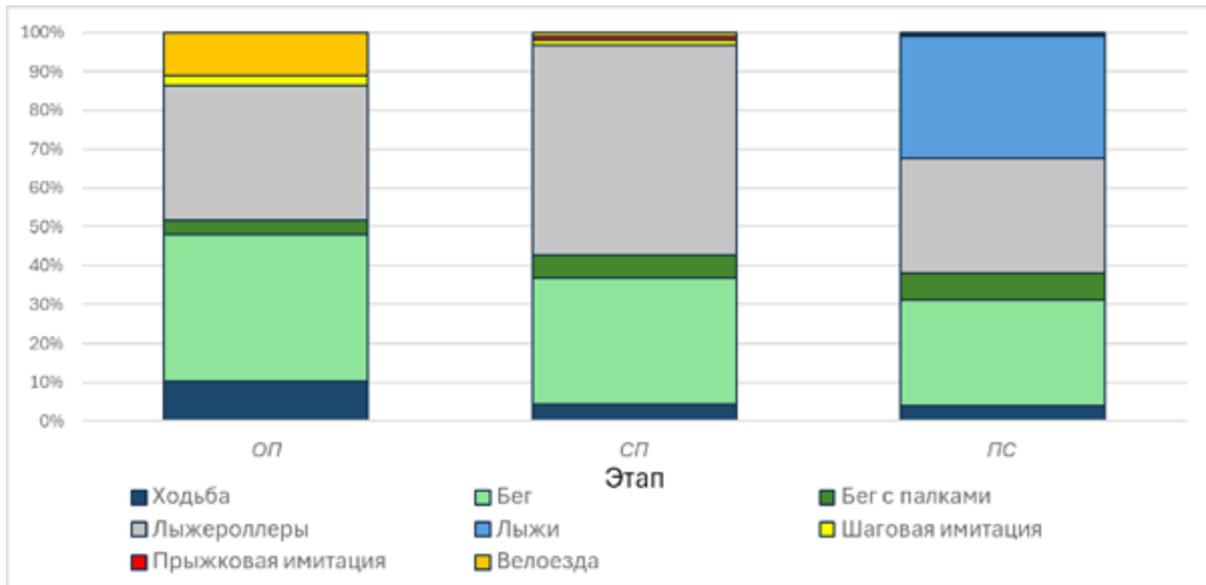


Рис. 3. Относительное распределение основных циклических средств подготовки биатлонистов высокого класса на этапах подготовительного периода годовичного макроцикла, где ОП — общеподготовительный этап, СП — специально-подготовительный этап, ПС — предсоревновательный этап

Fig. 3. Relative distribution of the main cyclic training aids in elite biathlonists at the stages of the early season of the annual macrocycle, GP — general preliminary stage, SP — special preliminary stage, PS — precompetition stage

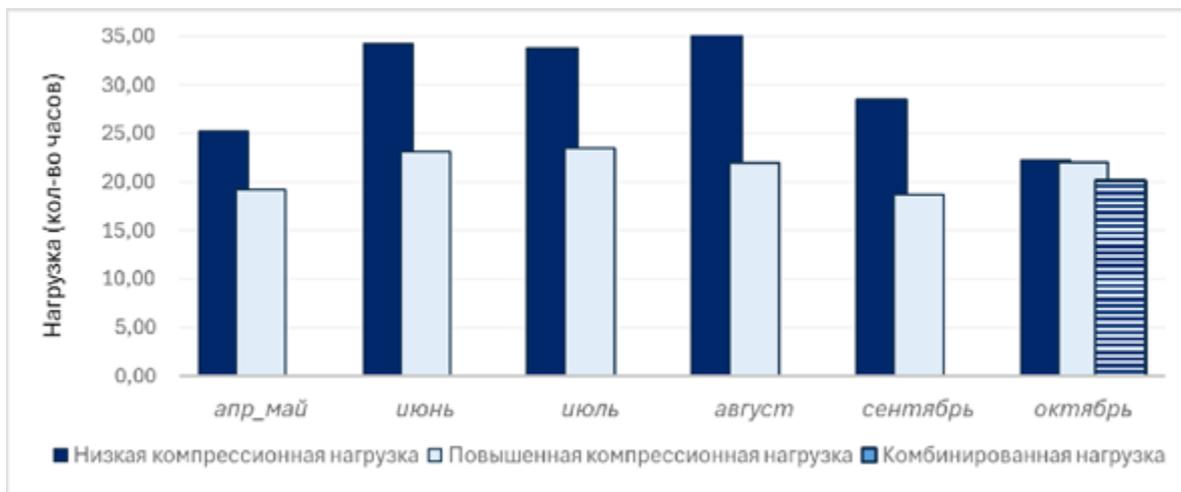


Рис. 4. Динамика отношения объемов циклических средств с разным уровнем компрессионной нагрузки в подготовительном периоде биатлонистов высокого класса (медианные значения группы), где ОП — общеподготовительный этап, СП — специально-подготовительный этап, ПС — предсоревновательный этап

Fig. 4. Dynamics of cyclic aids volumes ratio with different levels of compression load in elite biathlonists during the early season (median group values), GP — general preliminary stage, SP — special preliminary stage, PS — precompetition stage

К основным средствам подготовки с повышенной компрессионной нагрузкой можно отнести бег, бег с палками и прыжковую имитацию. В перечень средств подготовки с низкой компрессионной нагрузкой можно отнести шаговую имитацию, ходьбу, велоезду, а также передвижение спортсменов на лыжероллерах (в эту группу не была включена лыжегоночная подготовка биатлонистов). Разделение роллерной и лыжной подготовки обусловлено в данном случае спецификой перехода к подготовке на снегу: хотя перемещение

на лыжероллерах обеспечивает паттерны движения и приложение сил, сходные с теми, которые используются спортсменами при перемещениях на лыжах по снегу, в большей степени это относится к классическим ходам, применяемым в лыжных гонках. Что касается видов конькового хода, используемых биатлонистами, при их использовании аппроксимация «роллеры — лыжи» не всегда оптимальна, и, как следствие, существует риск закрепления неправильных паттернов движения и иннервации, которые нередко приходится

устранять на предсоревновательном этапе подготовки. Особенностью перемещения на лыжах в современном биатлоне является и изменение в технике отталкивания, в той мере, с которой биатлонист переносит вес тела на лыжные палки: большая часть веса тела и естественной инерции переносится на палки для выполнения более сильного, мощного, взрывного толчка палками. К таким особенностям можно отнести и технику одновременного двухшажного конькового хода, позволяющую сильнейшим биатлонистам повысить эффективность забегания в подъем. Этот вид локомоции биомеханически и с точки зрения компрессионного воздействия схож с используемой в бесснежный период подготовки прыжковой имитацией, нагрузка которой в данном случае возрастает за счет неустойчивости опоры, вариативности условий скольжения и рельефа. В связи с этим лыжную подготовку биатлонистов более корректно было бы рассматривать как отдельную группу средств подготовки — с комбинированной нагрузкой.

В дополнение к циклическим тренировочным средствам было решено добавить прыжковые упражнения, используемые в подготовке биатлонистов (прыжки из глубокого приседа и прыжки из неглубокого приседа), объемы которых на различных этапах ПП биатлонистов высокого уровня достаточно велики (рис. 5). Такой подход целесообразен для оптимизации тренировочных программ с учетом повышенного уровня компрессионной нагрузки, вызываемой этими упражнениями.

Следует отметить, что на всех этапах подготовительного периода в подготовке биатлонистов преобладают циклические средства с невысокой компрессионной нагрузкой. Тем не менее видны и различия в отношении используемых средств, связанные с выбором тех из них,

которые наиболее эффективны для последовательного решения конкретных задач спортивной подготовки.

ОП характеризуется значительной долей упражнений с повышенной компрессионной нагрузкой (бег, бег с палками) в общем объеме используемых циклических средств. На данном этапе в подготовку также включается большой объем прыжковых упражнений. Причем именно для этого этапа характерно существенное преобладание прыжков из неглубокого приседа, выполнение которых связано с «жесткой» амортизацией в фазе подседа, сопровождающейся значительной нагрузкой на сухожильную часть растягиваемых мышц и костнохрящевые структуры нижних конечностей.

Для СП характерно увеличение объема выполняемой нагрузки и повышение «специализированности» используемых средств. Соответственно, наблюдается постепенное снижение объема неспецифичной беговой нагрузки и возрастание абсолютного и относительного объемов лыжероллерной подготовки — упражнений с «мягкой» амортизацией в уступающей фазе движения, при выполнении которых основную нагрузку несут скелетные мышцы, а не суставные поверхности. Такое перераспределение приводит к некоторому снижению суммарного компрессионного воздействия циклических средств на ОДА. Вместе с тем на этот период приходится выполнение значительной прыжковой нагрузки, хотя по сравнению с ОП можно отметить выравнивание количества подходов при выполнении прыжков из глубокого и неглубокого приседа.

В рамках ПС в еще большей степени возрастает объем «специализированных» нагрузок, сопровождающийся снижением доли лыжероллерной подготовки и переходом к использованию в большом объеме средств

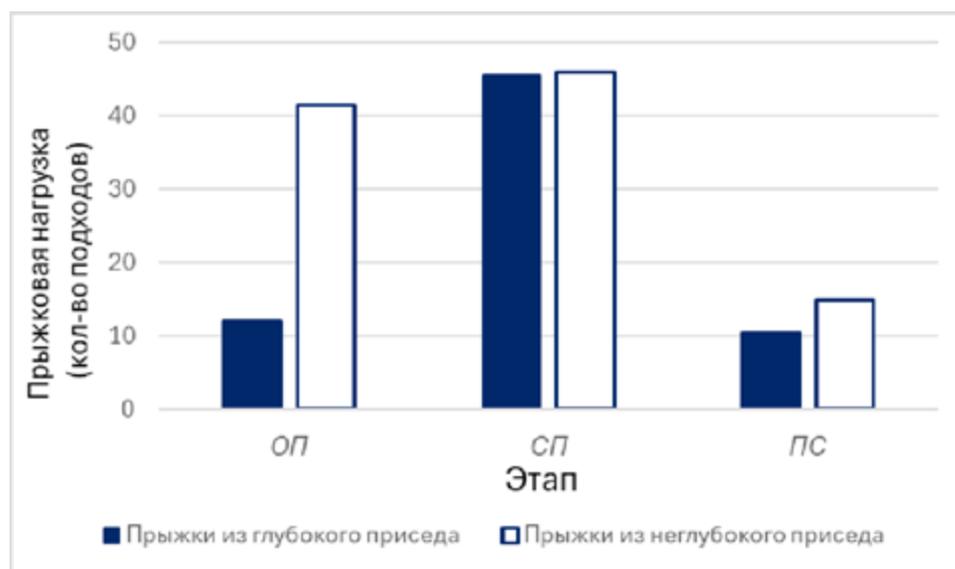


Рис. 5. Объемы прыжковой нагрузки, выполняемой биатлонистами высокого класса на этапах подготовительного периода (медианные значения группы), где ОП — общеподготовительный, СП — специально-подготовительный, ПС — предсоревновательный
Fig. 5. Volumes of jumping load performed by elite biathletes at the stages of the early season (median group values), GP — general preliminary stage, SP — special preliminary stage, PS — precompetition stage

подготовки лыжной, с точки зрения «компрессионности» воздействия классифицируемой нами как «комбинированная». Объем средств прыжковой подготовки, отличающихся высокой величиной компрессионного воздействия, на этом этапе снижается до минимума.

Полученные данные позволяют сопоставить изменения концентраций изучаемых маркеров и особенности содержания и направленности подготовки биатлонистов на отдельных этапах ПП. Отношения концентраций остеокальцина к β -CrossLaps и P1NP к β -CrossLaps используются для оценки баланса процессов синтеза-деградации и ремоделирования костной ткани [12]. Можно отметить, что в процессе выполнения программы ПП — от ОП к ПС — наблюдается тенденция к увеличению остеогенеза в ответ на тренировочную нагрузку, а процесс ремоделирования достоверно преобладает над процессом деградации костного матрикса на СП ($p < 0,05$). Концентрации маркеров остеогенеза и резорбции у биатлонистов свидетельствуют о повышенном уровне костного обмена и ремоделирования ткани в ответ на тренировочные стимулы, при этом на СП процесс ремоделирования преобладает над процессом деградации. Механическая нагрузка при использовании роллеров и лыжной подготовки более щадяще воздействует на костную ткань, вызывая остеогенный ответ и активацию костных клеток.

В проведенном исследовании были проанализированы случаи превышения верхних границ клинической нормы концентраций остеокальцина и P1NP, указывающие на высокий уровень процесса образования костного матрикса у спортсменов. Обнаружено, что на ОП выходы за пределы физиологических норм остеокальцина и P1NP наблюдаются в 11,3% случаев, на СП — в 8,9 и 2,0% случаев, на ПС — в 16,3 и 4,7% случаев, среди которых однонаправленное превышение концентраций данных маркеров соответствующих верхних границ референтных диапазонов на ОП, СП и ПС зафиксировано в 75,0, 25,0 и 28,6% случаев соответственно. На ОП концентрации β -CrossLaps выходили за пределы верхней границы популяционных норм в 38,0% случаев, на СП и ПС — в 31,1 и 37,2% случаев соответственно. В 90% случаев повышенные концентрации β -CrossLaps сопровождалась высокими концентрациями маркеров остеогенеза (выше верхних Q (75%) квартилей или выходящими за верхние границы референтных интервалов, что указывает на высокий уровень

Вклад авторов:

Федотова Елена Викторовна — концепция и дизайн исследования, написание первого варианта рукописи.

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

Сиделев Петр Алексеевич — сбор и обработка данных, статистический анализ результатов.

Дикунец Марина Александровна — концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта рукописи.

процесса ремоделирования костной ткани. При оценке взаимосвязи сывороточных концентраций маркеров формирования костного матрикса, проведенной с использованием ранговой корреляции Спирмена, рассчитаны коэффициенты корреляции, которые указывают на наличие сильной связи между переменными.

Таким образом, напряженные тренировки и вызываемый ими физический стресс в значительной степени влияют на активность клеток костной ткани биатлонистов высокого уровня. Оптимизация отношения циклических средств с разным уровнем компрессионной нагрузки при проведении специализированной тренировки способствует адаптивным изменениям, защищающим костную ткань от резорбции, вызванной интенсивными упражнениями. Ответная реакция костной ткани на физическую нагрузку зависит от характеристик выполненных спортсменом нагрузок (продолжительность, интенсивность, время восстановления, механическое напряжение). На протяжении всего этапа подготовки у спортсменов, имеющих повышенные концентрации β -CrossLaps, наблюдалось одновременное увеличение уровня P1NP, что указывает на ремоделирование костной ткани. Отсутствие однонаправленного и синхронизированного изменения маркеров костного метаболизма у спортсменов в совокупности с высоким уровнем их внутри- и межиндивидуальной вариативности несколько осложняют интерпретацию результатов. При проведении анализа концентрации маркеров костного метаболизма для диагностики и мониторинга нарушений, связанных с перегрузкой скелета при выполнении высокоинтенсивных тренировочных нагрузок, необходим индивидуальный подход с обязательным учетом специфики и параметров нагрузки, выполненной спортсменом на конкретном этапе макроцикла подготовки.

5. Заключение

Использование на ОП умеренного объема циклических упражнений с низкой компрессионной нагрузкой на ОДА и повышенного объема высокоинтенсивных упражнений с «жесткой» фазой амортизации усиливает процесс повреждения костно-хрящевых структур, но при этом не выходит за границы адаптационных возможностей механизмов ремоделирования кости, что постепенно повышает функциональную надежность ОДА биатлонистов.

Author's contribution:

Elena V. Fedotova — conceptualization and design, original draft preparation.

Grigorii A. Dudko — data collecting and processing, text review and editing.

Petr A. Sidelev — data collecting and processing, statistical analysis.

Marina A. Dikunets — conceptualization and design, final version approval.

Список литературы / References

1. **Abbott A., Bird M.L., Wild E., Brown S.M., Stewart G., Mulcahey M.K.** Part I: epidemiology and risk factors for stress fractures in female athletes. *Phys. Sportsmed.* 2019;48(1):17–24. <https://doi.org/10.1080/00913847.2019.1632158>
2. **Hamstra-Wright K.L., Bliven K.C.H., Napier C.** Training load capacity, cumulative risk, and bone stress injuries: a narrative review of a holistic approach. *Front Sports Act. Living.* 2021;3:665683. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.665683>
3. **Kraus E., Tenforde A.S., Nattiv A., Sainani K.L., Kussman A., Deakins-Roche M., Singh S., Kim B.Y., Barrack M.T., Fredericson M.** Bone stress injuries in male distance runners: higher modified female athlete triad cumulative risk assessment scores predict increased rates of injury. *Br. J. Sports Med.* 2019;53(4): 237–242. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099861>
4. **Frost H.M.** Skeletal structural adaptations to mechanical usage (SATMU): 1. Redefining Wolff's law: the bone modeling problem. *Anat. Rec.* 1990;226(4):403–413. <https://doi.org/10.1002/ar.1092260402>
5. **Miller T.L., Best T.M.** Taking a holistic approach to managing difficult stress fractures. *J. Orthop. Surg. Res.* 2016;11(1):98 <https://doi.org/10.1186/s13018-016-0431-9>
6. **Bertelsen M.L., Hulme A., Petersen J., Brund R.K., Sorensen H., Finch C.F., Parner E.T., Nielsen R.O.** A framework for the etiology of running-related injuries. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2017;27(11):1170–1180. <https://doi.org/10.1111/sms.12883>
7. **Abbott A., Bird M., Brown S.M., Wild E., Stewart G., Mulcahey M.K.** Part II: presentation, diagnosis, classification, treatment, and prevention of stress fractures in female athletes. *Phys. Sportsmed.* 2019;48(1):25–32. <https://doi.org/10.1080/00913847.2019.1636546>
8. **Saunier J., Chapurlat R.** Stress fracture in athletes. *Joint Bone Spine.* 2018;85(3):307–310. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2017.04.013>
9. **Banfi G., Lombardi G., Colombini A., Lippi G.** Bone metabolism markers in sports medicine. *Sports Med.* 2010;40(8):697–714. <https://doi.org/10.2165/11533090-000000000-00000>
10. **Мякинченко П.Е., Крючков А.С., Адодин Н.В., Мякинченко Е.Б.** Сравнение тренировочных нагрузок и показателей подготовленности биатлонистов и лыжников высокого класса. В: Современная система спортивной подготовки в биатлоне: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. Омск.: СибГУФК; 2022. [Myakinchenko P.E., Kryuchkov A.S., Adodin N.V., Myakinchenko E.B. Comparison of training loads and fitness indicators of biathlonsists and elite cross-country skiers. In: The modern system of sports training in biathlon: materials of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference. Omsk: SibGUFK Publ.; 2022. (In Russ.)].
11. **Мякинченко Е.Б., Крючков А.С., Фомиченко Т.Г.** Силовая подготовка спортсменов высокого класса в циклических видах спорта с преимущественным проявлением выносливости. Москва: Спорт; 2022. [Myakinchenko E.B., Kryuchkov A.S., Fomichenko T.G. Strength training of high-class athletes in cyclic sports with a predominant endurance exertion. Moscow: Sport Publ.; 2022. (In Russ.)].
12. **Fisher A., Fisher L., Srikusalanukul W., Smith P.N.** Bone turnover status: classification model and clinical implications. *Int. J. Med. Sci.* 2018;15(4):323–338. <https://doi.org/10.7150/ijms.22747>
13. **CLSI Document C28-A3c.** Defining, establishing and verifying reference intervals in the clinical laboratory; approved guideline. 3rd ed. Wayne, PA, USA: CLSI; 2008.
14. **Евгина С.А., Савельев Л.И.** Современные теория и практика референтных интервалов. *Лабораторная служба.* 2019;8(2):36–44. [Evgina S.A., Savel'ev L.I. Modern theory and practice of reference intervals. *Laboratory Service.* 2019;8(2):36–44. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/labs2019802136>

Информация об авторах:

Федотова Елена Викторовна, доктор педагогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории проблем спортивной подготовки 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 проблем спортивной подготовки ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, 10с1. ORCID: 0000-0002-1064-3283 (dudko.g.a@vniifk.ru)

Сиделев Петр Алексеевич, младший научный сотрудник лаборатории проблем спортивной подготовки ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, 10с1. ORCID: 0000-0001-9475-7730 (sidelev.p.a@vniifk.ru)

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

Information about authors

Elena V. Fedotova, D.Sc. (Pedagogy), Docent, Leading Researcher Laboratory of Sports Performance, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Russia, 105005, Moscow, Elizavetinsky lane, 10/1. ORCID: 0000-0002-3725-5651 (fedotova.e.v@vniifk.ru)

Grigorii A. Dudko*, Senior Researcher Laboratory of Sports Performance, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Russia, 105005, Moscow, Elizavetinsky lane, 10/1. ORCID: 0000-0002-1064-3283 (dudko.g.a@vniifk.ru)

Petr A. Sidelev, Junior Researcher Laboratory of Sports Performance, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Russia, 105005, Moscow, Elizavetinsky lane, 10/1. ORCID: 0000-0001-9475-7730 (sidelev.p.a@vniifk.ru)

Marina A. Dikunets, Candidate of Chemistry Sciences, Leading Researcher Laboratory of Sports Performance, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Russia, 105005, Moscow, Elizavetinsky lane, 10/1. ORCID: 0000-0002-5945-0722 (dikunets.m.a@vniifk.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.3>

УДК: 796.8

Тип статьи: Оригинальная статья / Original research



Особенности микробиома кишечника у спортсменов, занимающихся единоборствами

А.В. Шестопапов^{1,2,3}, Р.Ф. Фатхуллин^{1,2,*}, Т.В. Григорьева^{2,4}, Д.С. Мартыканова⁵,
Н.Х. Давлетова⁵, И.М. Колесникова^{1,2}, А.А. Иванова^{1,2}, С.А. Румянцев^{1,2}

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России, Москва, Россия

² ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

³ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Дмитрия Рогачева» Минздрава России, Москва, Россия

⁴ ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия

⁵ ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Казань, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучение особенностей кишечного микробиома у молодых мужчин, профессионально занимающихся единоборствами.

Материалы и методы: в исследовании приняли участие 36 молодых мужчин в возрасте от 18 до 26 лет. У участников исследования проводили отбор образцов кала и затем из полученных образцов выделяли бактериальную ДНК.

Результаты: сравнивая микробом кишечника спортсменов с контрольной группой, можно проследить положительное влияние занятий спортом на общее разнообразие представителей микробиоты кишечника. При анализе таксономического состава стоит отдельно отметить увеличение представителей лактат-продуцирующих бактерий и повышенное содержание *Akkermansia muciniphila* у спортсменов.

Заключение: результаты исследования указывают на влияние спортивных тренировок на микробиоту кишечника человека и позволяют предположить наличие тесной двусторонней связи «микробиом — мышечная ткань».

Ключевые слова: микробиом, лактат, пребиотики, муцин, мышечные волокна

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: статья подготовлена на основании результатов, полученных в ходе реализации Соглашения о предоставлении гранта в форме субсидии из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научных центров мирового уровня, выполняющих исследования и разработки по приоритетам научно-технологического развития, от 20 апреля 2022 года (№ 075-15-2022-310).

Соблюдение этических стандартов: Все процедуры, выполненные в исследовании с участием людей, соответствуют этическим стандартам Национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 года и ее последующим изменениям или сопоставимым нормам этики. Проведение научно-исследовательской работы одобрено Локальным этическим комитетом (ЛЭК) ФГБОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России (протокол № 186 от 26.06.2019) и Локальным независимым этическим комитетом (ЛНЭК) ФГБОУ ВО «РостГМУ» Минздрава России (протокол № 20/19 от 12.12.2019). От каждого из включенных в исследование участников было получено информированное добровольное согласие.

Для цитирования: Шестопапов А.В., Фатхуллин Р.Ф., Григорьева Т.В., Мартыканова Д.С., Давлетова Н.Х., Колесникова И.М., Иванова А.А., Румянцев С.А. Особенности микробиома кишечника у спортсменов, занимающихся единоборствами. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(1):14–24. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.3>

Поступила в редакцию: 26.03.2024

Принята к публикации: 05.06.2024

Online first: 23.07.2024

Опубликована: 26.08.2024

* Автор, ответственный за переписку

Features of the intestinal microbiome in athletes engaged in martial arts

Alexander V. Shestopalov^{1,2,3}, Rail F. Fatkhullin^{1,2,*}, Tatiana V. Grigorieva^{2,4}, Dilyara S. Martykanova⁵,
Naila H. Davletova⁵, Irina M. Kolesnikova^{1,2}, Anna A. Ivanova^{1,2}, Sergey A. Roumiantsev^{1,2}

¹National Medical Research Center for Endocrinology, Moscow, Russia

²N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

³Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Moscow, Russia

⁴Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

⁵Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, Russia

ABSTRACT

The purpose of the study: the study of the characteristics of the intestinal microbiome in young men who are professionally engaged in sports.

Materials and methods: the study involved 36 young men aged 18 to 26 years. Fecal samples were taken from the study participants and then bacterial DNA was isolated from the obtained samples.

Results: comparing the intestinal microbe of athletes with the control group, it is possible to trace the positive effect of sports on the overall diversity of representatives of the intestinal microbiota. When analyzing the taxonomic composition, it is worth separately noting the increase in representatives of lactate-producing bacteria and the increased content of *Akkermansia muciniphila* in athletes.

Conclusions: the results of the study indicate the effects of sports training on the human gut microbiota and suggest the presence of a close two-way relationship "microbiome — muscle tissue".

Keywords: microbiome, lactate, prebiotics. mucin, muscle fibers

Acknowledgements: the article was prepared on the basis of the results obtained in the course of the implementation of the Agreement on granting grant in the form of a subsidy from the federal budget to provide state support for the creation and development of world-class scientific centers performing research and development on the priorities of scientific and technological development of April 20, 2022 world-class scientific centers that perform research and development on priorities of scientific and technological development dated April 20, 2022 (№ 075-15-2022-310).

Compliance with ethical standards: all procedures performed in the research involving human participants comply with the ethical standards of the National Committee on Research Ethics and the 1964 Declaration of Helsinki and its subsequent revisions or comparable ethical standards. The conduct of the research work is approved by the Local Ethical Committee (LEC) of N.I. Pirogov FSGBOU RNIMU of the Ministry of Health of Russia (Minutes No. 186 of 26.06.2019) and the Local Independent Ethical Committee (LIEC) of the FGOBU VO RostGMU of the Ministry of Health of Russia (protocol No. 20/19 of 12.12.2019). Informed voluntary consent was obtained from each of the participants included in the study. informed voluntary consent was obtained from each of the participants included in the study.

For citation: Shestopalov A.V., Fatkhullin R.F., Grigorieva T.V., Martykanova D.S., Davletova N.H., Kolesnikova I.M., Ivanova A.A., Roumiantsev S.A. Features of the intestinal microbiome in athletes engaged in martial arts. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(1):14–24. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.3>

Received: 26 March 2024

Accepted: 5 June 2024

Online first: 23 July 2024

Published: 26 August 2024

*Corresponding author

1. Введение

Диета является важным фактором в подготовке спортсменов, обеспечивая их потребности в энергетических и пластических субстратах. С этой целью в спорте высших достижений переходят на диеты с высоким содержанием белка. Высокое потребление белка и простых углеводов, низкое потребление клетчатки могут отрицательно повлиять на микробиоту кишечника. И наоборот, потребление достаточного количества пищевых волокон, разнообразных источников белка и ненасыщенных жиров, особенно омега-3 жирных кислот, в сочетании с пребиотиками

и синбиотиками может положительно повлиять на микробиом человека [1].

В последние годы появляется все больше исследований, демонстрирующих роль микробиоты кишечника в достижении спортивных результатов. Высокое разнообразие микробиоты кишечника напрямую связано с увеличением мышечной массы. Микробиота кишечника может управлять развитием, ростом, функционированием мышц и их способностью адаптироваться к тренировкам через ось «микробиом — мышцы» [2, 3]. Она взаимодействует со скелетными мышцами через воспалительный иммунный ответ, регуляцию аутофагии

и функции митохондрий, белковый анаболизм, энергетический обмен и обмен липидов, нервно-мышечные связи, потенцирование окислительного стресса, модуляцию эндокринной функции и управление инсулинорезистентностью. Пищевые добавки, пробиотики и/или пребиотики, такие как короткоцепочечные жирные кислоты, и физические упражнения влияют на состав микробиоты кишечника, улучшают функцию скелетных мышц [4]. Микробиота кишечника может вносить свой вклад в спортивные результаты за счет выработки метаболитов — регуляторов оси «микробиом — мышцы», влияющих на физиологию желудочно-кишечного тракта (всасывание питательных веществ, целостность барьера, подвижность, газообразование) и модуляции иммунного ответа, в частности регулируя деятельность ассоциированной с кишечником лимфоидной ткани (Gut-associated lymphoid tissue, GALT) [1]. Кроме того, кишечная микробиота синтезирует витамины, аминокислоты, короткоцепочечные жирные кислоты и другие компоненты, необходимые для функционирования мышечной ткани [5].

Однако ось «микробиом — мышцы» является двусторонней и высокие уровни физической активности оказывают значительное влияние на кишечную флору. Анализируя современные исследования, все чаще можно проследить взаимосвязь изменения состава микробиоты кишечника и физической активностью [6–8]. У людей с разной степенью физической активности или физической подготовки наблюдался различный состав микробиоты [9].

Некоторые микроорганизмы, численность которых ассоциирована с физическими упражнениями (особенно продуценты короткоцепочечных жирных кислот), могут играть роль в поддержании адекватного функционирования кишечного эпителия, увеличении толщины слизи и улучшении иммунного статуса [6–8, 10, 11]. Однако большинство имеющихся исследований, посвященных этому вопросу, проведены на животных моделях [10, 11], а в работах с участием людей не всегда учитывался возрастной фактор, что является критичным, так как с возрастом выработка пищеварительного секрета меняется, обуславливая изменения в фекальной микробиоте [12–14]. Поэтому целью настоящего исследования стало изучение особенностей кишечного микробиома у молодых мужчин, профессионально занимающихся спортом (единоборствами).

2. Материалы и методы

В исследовании приняли участие 18 лиц мужского пола в возрасте 15–19 лет, которые обучались в Поволжском государственном университете физической культуры, спорта и туризма (г. Казань) и имели спортивную квалификацию кандидата в мастера спорта или мастера спорта. Все спортсмены регулярно в течение 9–12 лет занимались дзюдо, таэквондо или борьбой на поясах.

Все спортсмены не имели сопутствующей хронической патологии и не предъявляли жалоб на состояние здоровья в момент участия в исследовании. Величина ИМТ у спортсменов находилась на уровне нормальных значений этого показателя. Критериями исключения являлись продолжительные перерывы (более трех месяцев) в тренировочном процессе.

В контрольную группу были включены 18 здоровых лиц мужского пола от 15 до 19 лет, не занимающихся спортом, без сопутствующей хронической патологии, которые не предъявляли жалоб на состояние здоровья в момент обследования. Величины ИМТ у них соответствовали уровню нормы.

Участники основной и контрольной групп не имели статистически значимых отличий в возрасте, массе тела и росте ($p > 0,05$) (табл. 1).

Исследования компонентного состава тела проводились на базе Поволжского государственного университета физической культуры, спорта и туризма. Параметры состава тела (вес в килограммах, мышечная масса в килограммах и процентах, внутренний жир в килограммах и процентах, безжировая масса тела в килограммах, индекс массы тела, индекс безжировой массы тела, костная масса в килограммах, протеин в килограммах, основной обмен веществ в килокалориях) оценивались методом биоэлектрического импеданса с помощью анализатора “Tanita MC980” (Япония).

У участников исследования проводили отбор образцов кала. Из полученных образцов выделяли бактериальную ДНК с использованием набора QIAamp Fast DNA Stool Mini Kit (QIAGEN GmbH, Германия) с последующим секвенированием варибельного участка v3-v4 гена 16S рРНК на платформе MiSeq (Illumina, Inc., США). Полученные риды были проанализированы программой QIIME v.1.9.1 (Knight and Caporaso labs., США) с использованием референсной базы данных Greengenes v.13.8

Таблица 1

Сведения о возрасте, массе тела и росте обследуемых контрольной группы и спортсменов

Table 1

Information on age, body weight and height in the control group and athletes

Показатель	Спортсмены	Контрольная группа	<i>p</i>
Рост (см)	175,7 [170,83; 179,08]	171,7 [167,6; 181,8]	0,83
Масса тела (кг)	66,1 [62,9; 70,9]	61,1 [53,8; 75,6]	0,77
Возраст (лет)	18,5 [18,0; 19,0]	17,9 [16,5; 19,0]	0,27

(Second Genome, Inc., США) с 97% порогом сходства между последовательностями.

Относительная представленность бактериальных таксонов в общем пуле ридов была получена долями (от 0 до 1), которые рассчитывались на основе количества картированных видов для каждого таксона. Таким образом, при анализе таксономической принадлежности бактериальной ДНК кала исследовали доли отдельных таксонов в общем пуле бактериальной ДНК кала (от 0 до 1) и частота выделения таксонов у разных исследуемых групп. Для оценки α -разнообразия микробиома были рассчитаны общее количество наблюдаемых операционных таксономических единиц (operational taxonomic units, OTUs), филогенетическое разнообразие, индексы Chao1, Shannon и Simpson.

Статистическая обработка полученных результатов проводилась в программе анализа данных IBM SPSS Statistics 27 и Microsoft Excel. При анализе распределений количественных данных определяли меры центральной тенденции — медиану и меры дисперсии — интерквартильный размах в виде 25 и 75 перцентилей (Me [Q1; Q3]). Для определения статистической значимости непрерывных величин малых выборок применялись непараметрические тесты критерия Манна — Уитни. Для сравнения частоты встречаемости отдельных таксонов использовали χ^2 Пирсона. Все различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

3. Результаты

Анализ результатов исследования компонентного состава тела обследованных спортсменов позволил установить, что масса жировой ткани у них снижена на 25,75%, а масса мышечной массы выше, чем у обследуемых контрольной группы на 25,22% (табл. 2).

Характеристики α -разнообразия кишечного микробиома не показали статистически значимых различий между группой спортсменов и контрольной группой (табл. 3).

Анализ таксономического состава микробиоты кишечника продемонстрировал, что микробиом спортсменов не имеет статистически значимых различий в сравнении с контрольной группой в содержании доминантных филумов бактерий *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes* и *Proteobacteria* (рис.).

Несмотря на сходство таксономического профиля микробиома, у спортсменов отмечались статистически значимые изменения в содержании минорных филумов — увеличение доли и частоты встречаемости *Cyanobacteria*, *Elusimicrobia* и *Tenericutes* (табл. 4).

Цианобактерии широко распространены в морской, пресной воде, почве и коре некоторых растений. Некоторые из этих цианобактерий могут продуцировать ряд токсинов (микроцистины, нодуларины, цилиндроспермопсин, анатоксин А, сакситоксины), токсичность которых для человека до сих пор остается предметом

Таблица 2

Компонентный состав тела обследованных спортсменов

Table 2

Body composition of the examined athletes

Группа обследуемых	ИМТ (кг/м ²)	Масса жировой ткани (кг)	Масса мышечной ткани (кг)
Спортсмены	22,1 [20,3;23,0]	4,9 [3,9;7,6]	57,1 [55,0;60,8]
Контрольная группа	20,6 [19,7;21,4]	6,6 [5,3;10,5]	45,6 [41,5;63,7]

Таблица 3

Показатели α -разнообразия кишечного микробиома у исследуемых групп

Table 3

Indicators of the α -diversity of the intestinal microbiome in the studied groups

	Спортсмены	Контрольная группа
Индекс Simpson	0,976 [0,965; 0,982]	0,982 [0,969; 0,984]
Индекс Shannon	8,032 [7,775; 8,432]	8,094 [7,297; 8,620]
OTUs	2389,0 [1709,0; 2633,8]	2275,0 [1748,8; 2789,5]
Индекс Chao1	4950,0 [3230,3; 5677,4]	4811,4 [3522,2; 5449,3]
Филогенетическое разнообразие	43,16 [38,14; 46,35]	40,70 [36,07; 46,35]

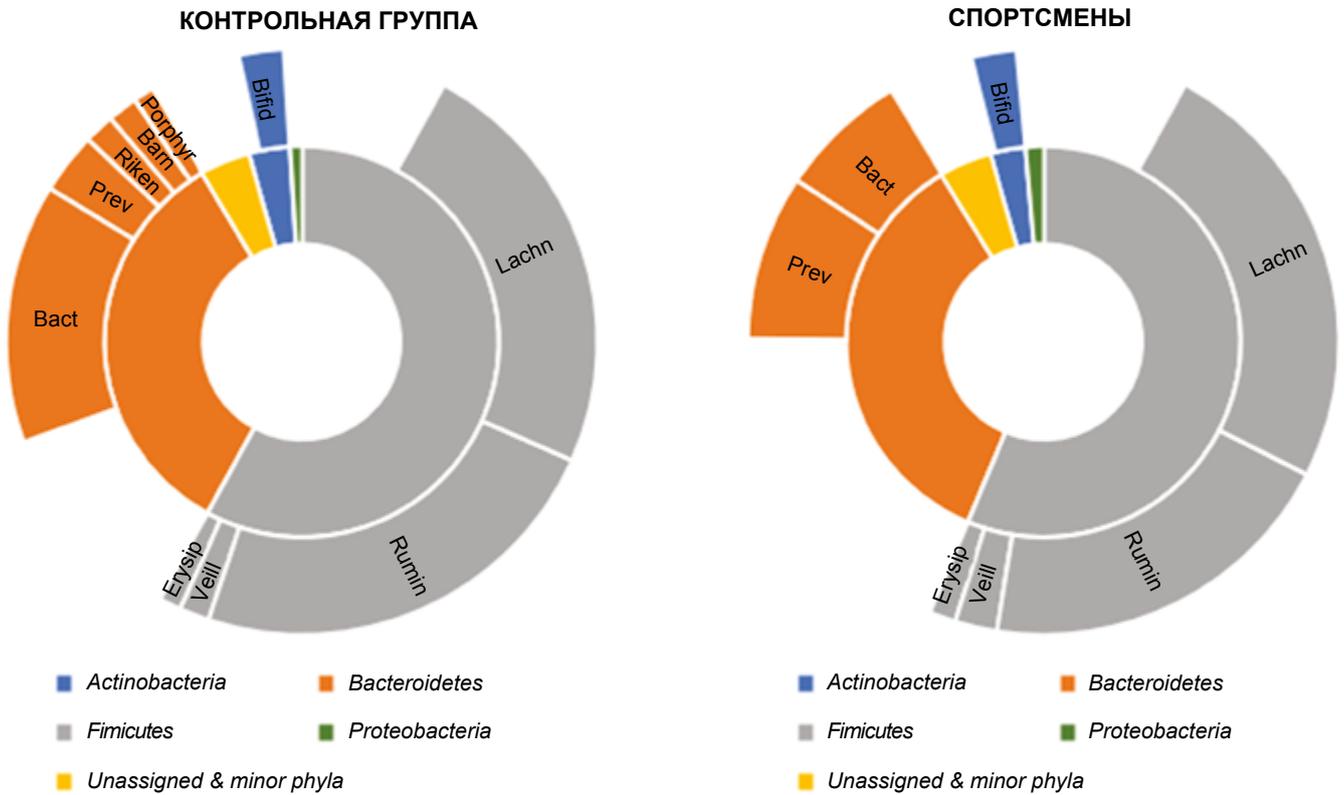


Рис. Таксономическая структура кишечного микробиома в исследуемых группах
 Примечание: в диаграммы включены идентифицированные филумы и семейства, чья доля в кишечном микробиоме превышала 1% (Me ≥ 0,01). Unassigned & minor phyla — неидентифицированные и минорные филумы; Bifid — *Bifidobacteriaceae*; Bact — *Bacteroidaceae*; Porphyr — *Porphyromonadaceae*; Prev — *Prevotellaceae*; Riken — *Rikenellaceae*; [Barn] — *[Barnesiellaceae]*; Lachn — *Lachnospiraceae*; Rumin — *Ruminococcaceae*; Veill — *Veillonellaceae*; Erysip — *Erysipelotrichaceae*.
 Fig. Taxonomic structure of the intestinal microbiome in the studied groups
 Note: The diagrams include identified phylum and families whose proportion in the intestinal microbiome exceeded 1% (Me ≥ 0.01). Unassigned & minor phyla — unidentified and minor phylum; Bifid — *Bifidobacteriaceae*; Bact — *Bacteroidaceae*; Porphyr — *Porphyromonadaceae*; Prev — *Prevotellaceae*; Riken — *Rikenellaceae*; [Barn] — *[Barnesiellaceae]*; Lachn — *Lachnospiraceae*; Rumin — *Ruminococcaceae*; Veill — *Veillonellaceae*; Erysip — *Erysipelotrichaceae*.

Таблица 4

Статистически значимые различия в частоте встречаемости (%) и доли (Me [Q1; Q3] × 10³) минорных филумов микробиома кишечника у исследуемых групп

Table 4

Statistically significant differences in the frequency of occurrence (%) and the proportion (Me [Q1; Q3] × 10³) of minor phylum of the intestinal microbiome in the studied groups

Филум	Спортсмены	Контрольная группа
Cyanobacteria	100 % 0,24 [0,10;4,00]	33,3%* 0,00 [0,00;0,20]*
Elusimicrobia	50 % 0,003 [0,000;0,070]	5,6%* 0,000 [0,000; 0,000]*
Tenericutes	100 % 0,61 [0,20;3,00]	61,1%* 0,14 [0,00; 0,80]*

Примечание: * — различия статистически значимы (p < 0,05).
 Note: * — the differences are statistically significant (p < 0.05).

дискуссий [15]. *Elusimicrobia* чаще всего встречаются в грунтовых водах, но при этом способны находиться и в организме человека и животных. Считается, что представители данного филума ведут гетеротрофный или автотрофный образ жизни, имеющий прямую связь с кислородом или нитратов/нитрит-зависимого дыхания или различных органических соединений, комплекс зависимого ацетогенеза азотфиксации с водородом и углекислым газом в качестве субстратов [16]. С чем связано увеличение содержания в кишечнике спортсменов *Cyanobacteria* и *Elusimicrobia* и последствия таких изменений остаются неясными. Причины увеличения *Tenericutes* у спортсменов также сложно установить. До сих пор неясно, что именно является главным критерием для роста количества представителей данного филума: факторы окружающей среды, генетика или образ жизни, поскольку физиологические факторы хозяина, такие как ИМТ и возраст, по-видимому, не являются значимыми факторами, влияющими на их количество [17].

Несмотря на схожесть таксономического состава кишечного микробиома филумов у спортсменов и лиц со средней физической активности, на уровне семейств, родов и видов были обнаружены значимые различия. Ожидается большинство выявленных различий было обнаружено среди наиболее представленных филумов — *Firmicutes* и *Bacteroidetes*, однако наблюдались и в менее представленных филумах (табл. 5).

Преобладающими семействами в исследуемых группах были *Lachnospiraceae*, *Ruminococcaceae*, *Bacteroidaceae*, *Prevotellaceae*. Среди основных семейств кишечного микробиома изменения касались только *Bacteroidaceae*, содержание которого было снижено у спортсменов.

4. Дискуссия

Выявленное в данном исследовании снижение доли и частоты встречаемости *Bacteroidaceae* можно считать закономерным, так как частота встречаемости данного филума имеет отрицательную корреляцию с уровнем лактата в крови [18], который, очевидно, повышается в крови у спортсменов во время интенсивных тренировок. Несмотря на то что в ряде ранее проведенных работ было показано снижение *Ruminococcaceae* в кишечном микробиоме у спортсменов [1, 19], в настоящем исследовании не было обнаружено изменение доли данного семейства в кишечном микробиоме. Однако среди спортсменов, занимающихся единоборствами, в два раза чаще по сравнению с контрольной группой обнаруживалась ДНК *Ruminococcus flavefaciens*.

Среди изменений в содержании представителей филума *Firmicutes* обращает внимание увеличение количества лактатпродуцирующих бактерий *Lactobacillus ruminis* (семейство *Lactobacillaceae*) и *Lactococcus garvieae* (семейство *Streptococcaceae*). В работах Clark и соавт. и Аюа и соавт. также было обнаружено повышение количества лактобактерий в кишечнике у лиц, занимающихся

единоборствами в течение длительного времени, что проводило к снижению содержания малонового диальдегида и повышению активности антиоксидантов [20, 21]. Молочнокислые бактерии (*Lactobacillus*, *Lactococcus*) вырабатывают перекись водорода и D-молочную кислоту, что имеет особое значение, так как пероксид и лактат подавляют размножение многих микробных патогенов [22]. *Lactobacillus* и *Lactococcus* способны улучшать усвояемость белка из пищи (особенно из молочных продуктов) [23], что может быть полезным для лиц с высоким уровнем физической активности.

На фоне увеличения в микробиоме спортсменов лактат-продуцентов увеличивалось и содержание представителей семейства *Veillonellaceae*, которые разлагают молочную кислоту, тем самым потенциально способствуя улучшению спортивных результатов [24]. Было показано, что содержание *Veillonellaceae* в кишечнике повышается в условиях гипоксии, например при анаэробных нагрузках [25].

Интересным выглядит увеличение в кишечном микробиоме спортсменов *Coprococcus eutactus*. В исследовании с участием животных (мышей) было продемонстрировано, что они и *Eubacterium rectale* продуцируют амиды жирных кислот — лиганды каннабиноидного рецептора CB1. Известно, что эндогенные каннабиноиды причастны к развитию «эйфории бегуна», способствуя повышению мотивации к физической активности [26]. Кроме того, *Coprococcus eutactus* способны продуцировать короткоцепочечные жирные кислоты бутират и ацетат [27]. Бутират обладает противовоспалительными свойствами, активизирует ряд регуляторных путей, что приводит к увеличению выработки АТФ и, в конечном счете, к улучшению метаболизма мышечных волокон [5].

У спортсменов также наблюдалось увеличение *Eubacterium bifforme* и *Collinsella aerofaciens*, которые не только продуцируют бутират, но и способны модифицировать желчные кислоты [28–30], которые теоретически могут регулировать митохондриальный биогенез клеток скелетных мышц.

Из кала у спортсменов чаще выделялась ДНК представителей филума *Verrucomicrobia* и его основного таксона *Akkermansia muciniphila*, увеличение которого неоднократно отмечалось у лиц с высоким уровнем физической активности [8, 31, 32]. Деградируя муцин, эти бактерии повреждают защитную оболочку кишечника, но при этом стимулирует выработку муцина, из-за чего слизистая оболочка постоянно обновляется. Активность представителей *Verrucomicrobia* связывают с увеличением толщины кишечной слизи, кишечного барьера и иммунных сигнальных функций [31]. Содержание *Akkermansia muciniphila* отрицательно коррелирует с некоторыми заболеваниями, включая воспалительные заболевания кишечника, ожирение и диабет [32].

В кишечном микробиоме спортсменов изменялось соотношение представителей рода *Bacteroides*. Несмотря

Таблица 5

Статистически значимые различия в частоте встречаемости (%) и доли (Me [Q1; Q3]) таксонов минорных филумов у исследуемых групп

Table 5

Statistically significant differences in frequency of occurrence (%) and proportion (Me [Q1; Q3]) taxa of minor phylum in the studied groups

Семейство	Род	Вид	Спортсмены	Контрольная группа
<i>Coriobacteriaceae</i> (филум <i>Actinobacteria</i>)			100 % 0,008 [0,004; 0,01]	100 % 0,005 [0,002; 0,014]
	Collinsella		100 % 0,004 [0,002; 0,007]	72,2 %* 0,002 [0,0003; 0,009]
		<i>C. aerofaciens</i>	100 % 0,004 [0,002; 0,007]	72,2 % 0,002 [0,0002; 0,009]*
	Slackia		66,7 % 0,0001 [0; 0,0033]	16,7 %* 0 [0; 0]*
<i>Desulfovibrionaceae</i> (филум <i>Proteobacteria</i>)			94,4 % 0,0012 [0,0006; 0,004]	94,4 % 0,0013 [0,0005; 0,002]
	Desulfovibrio		83,3 % 0,0006 [0,00007; 0,003]	38,9 %* 0 [0; 0,0015]
		D. D168	44,4 % 0 [0; 0,0001]	11,1 %* 0 [0; 0]*
<i>Succinivibrionaceae</i> (филум <i>Proteobacteria</i>)			65,6 % 0,00007 [0; 0,0001]	27,8 %* 0 [0; 0,00005]
	Succinivibrio		68 % 0,00007 [0; 0,0001]	16 %* 0 [0; 0] *
<i>Elusimicrobiaceae</i> (филум <i>Elusimicrobia</i>)			50,0 % 0,00003 [0; 0,00007]	5,6 %* 0 [0; 0]
<i>Verrucomicrobiaceae</i> (филум <i>Verrucomicrobia</i>)			88,9 % 0,0004 [0,0002; 0,002]	55,6 %* 0,0001 [0; 0,001]
	Akkermansia		88,9 % 0,0004 [0,0002; 0,002]	55,6 %* 0,0001 [0; 0,0014]
		<i>A. muciniphila</i>	88,9 % 0,0004 [0,0002; 0,002]	55,6 %* 0,0001 [0,0001; 0,001]

Примечание: * — различия статистически значимы.

Note: * — the differences are statistically significant.

на снижение *Bacteroides uniformis*, у них увеличивалось количество *Bacteroides barnesi* и *Bacteroides plebeius*. Высокую численность *Bacteroides uniformis* в кишечнике связывают с повышенной выносливостью [33]. Снижение их количества в кишечном микробиоме спортсменов, занимающихся единоборствами, может быть следствием особенностей этого вида спорта, к которому больше представлена силовая нагрузка, чем длительная и преимущественно аэробная. Увеличение *Bacteroides plebeius* также может иметь потенциально позитивные последствия для спортсменов. Так, их применение в качестве пробиотика в экспериментах на мышцах с хронической болезнью почек способствовало восстановлению кишечного барьера, уменьшало концентрацию микробных метаболитов в плазме, снижало провоспалительный статус и уменьшало атрофию мышц [34].

Почти четырехкратное увеличение частоты выделения ДНК рода *Slackia* из образцов кала спортсменов

также может быть результатом особенностей физической нагрузки борцов. Подобное предположение подтверждается исследованием Needleman и соавт., которые обнаружили увеличение представленности *Slackia isoflavoniconvertans* у профессиональных спортсменов-регбистов (преобладание силовой нагрузки в тренировочном процессе) по сравнению с лицами, не занимающимися спортом [35].

Представители семейств *Paraprevotellaceae* (род *Paraprevotella*) и *Prevotellaceae* (*Prevotella stercorea*) чаще идентифицировались в кишечном микробиоме спортсменов, что, по-видимому, является особенностью лиц с высоким уровнем физической активности. В исследовании Whisner и соавт., проведенном среди студентов, была выявлена закономерность: при высокой физической активности доля *Paraprevotellaceae* повышалась по сравнению со студентами, сообщившими о низком уровне физической активности [36]. В другом исследовании

была обнаружена отрицательная корреляция между содержанием *Paraprevotellaceae* и *Prevotellaceae* и жировой массой и положительная корреляция с содержанием мышечной массы [37]. *Prevotella* также была увеличена у гребцов [38], а также у взрослых, длительное время выполняющих упражнения средней интенсивности в условиях повышенного потребления кислорода мышцами [39]. Представители рода *Prevotella* участвуют в синтезе незаменимой кислоты L-лизина, играющей важную роль в снижении мышечной усталости и способствующей мышечной целостности, а лизин микробного происхождения вносит свой вклад в аминокислотный пул организма-хозяина [40].

Сравнивая полученные в проведенном исследовании результаты о повышении численности *Succinivibrionaceae* (род *Succinivibrio*) и *Desulfovibrio* (*Desulfovibrio D168*) у спортсменов с данными других авторов, однозначную взаимосвязь с физическими нагрузками с выявить не удалось. Некоторые авторы, напротив, демонстрируют обеднение данных таксонов в кишечном микробиоме при выполнении физических упражнений [41, 42]. Возможно, решающее значение в изменении представленности *Succinivibrio*

Вклад авторов:

Шестопалов Александр Вячеславович — идея и планирование работы, написание и редактирование манускрипта.

Фатхуллин Раиль Фэридович — планирование, сбор и обработка данных, написание манускрипта.

Григорьева Татьяна Владимировна — идея, сбор данных, написание манускрипта.

Мартыканова Диляра Сафовна — сбор и обработка данных.

Давлетова Наиля Ханифовна — сбор и обработка данных.

Колесникова Ирина Максимовна — обработка данных, написание манускрипта.

Иванова Анна Аркадьевна — обработка данных, написание манускрипта.

Румянцев Сергей Александрович — идея и планирование работы, редактирование манускрипта.

Литература / References

1. Hughes R.L., Holscher H.D. Fueling Gut Microbes: A Review of the Interaction between Diet, Exercise, and the Gut Microbiota in Athletes. *Adv. Nutr.* 2021;12(6):2190–2215. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab077>
2. Gizard F., Fernandez A., De Vadder F. Interactions between gut microbiota and skeletal muscle. *Nutr. Metab. Insights.* 2020;13:1178638820980490. <https://doi.org/10.1177/1178638820980490>
3. Donati Zeppa S., Agostini D., Gervasi M., Annibali G., Amatori S., Ferrini F., et al. Mutual Interactions among Exercise, Sport Supplements and Microbiota. *Nutrients.* 2019;12(1):17. <https://doi.org/10.3390/nu12010017>
4. Castellanos N., Diez G.G., Antúnez-Almagro C., Bailén M., Bressa C., González Soltero R., et al. A critical mutu-

ality of *Desulfovibrio D168* оказывают не физические нагрузки, а особенности питания.

5. Заключение

Интенсивные физические нагрузки, характерные для спортсменов, занимающихся единоборствами, способствуют накоплению в микробном сообществе кишечника лактат-продуцирующих и лактат-потребляющих бактерий, увеличению количества бутират-образующих представителей кишечного микробиома, способных также к продукции вторичных желчных кислот. Помимо этого у спортсменов повышалось количество бактерий, благотворно влияющих на состояние кишечной стенки и снижающих ее проницаемость.

Тесная двусторонняя связь между микробным сообществом кишечника и мышечной тканью позволяет рассматривать влияние на микробиом как потенциальное средство для увеличения количества и качества мышц и тем самым улучшать спортивные результаты. Однако для достижения этой цели требуется более детальное выяснение сложной взаимосвязи между спортивными результатами и микробиомом, а также лежащими в ее основе механизмами.

Author's contribution:

Alexander V. Shestopalov — idea and work planning, manuscript writing and editing.

Rail F. Fatkhullin — planning, data collection and processing, manuscript writing.

Tatiana V. Grigorieva — idea, data collection, manuscript writing.

Dilyara S. Martykanova — data collection and processing.

Naïla H. Davletova — data collection and processing.

Irina M. Kolesnikova — data processing, manuscript writing.

Anna A. Ivanova — data processing, manuscript writing.

Sergey A. Roumiantsev — idea and work planning, manuscript editing.

alism-competition interplay underlies the loss of microbial diversity in sedentary lifestyle. *Frontiers in Microbiology.* 2020;10:3142. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.03142>

5. Завьялова А.Н., Новикова В.П., Игнатова П.Д. Ось «микробиота — мышцы». Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2022;(11):60–69. [Zavyalova A.N., Novikova V.P., Ignatova P.D. Axis "microbiota — muscles". *Experimental and clinical gastroenterology.* 2022;207(11):60–69. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-207-11-60-69>

6. Monda V., Villano I., Messina A., Valenzano A., Esposito T., Moscatelli F., et al. Exercise Modifies the Gut Microbiota with Positive Health Effects. *Oxid. Med. Cell Longev.* 2017;2017:3831972. <https://doi.org/10.1155/2017/3831972>

7. Mailing L.J., Allen J.M., Buford T.W., Fields C.J., Woods J.A. Exercise and the gut microbiome: A review of the evidence, potential mechanisms, and implications for human health.

Exerc. Sport Sci. Rev. 2019;47:75–85. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000183>

8. **Gallè F., Valeriani F., Cattaruzza M.S., Ubaldi F., Romano S.V., Liguori G.** Exploring the association between physical activity and gut microbiota composition: A review of current evidence. *Ann. Ig.* 2019;31(6):582–589. <https://doi.org/10.7416/ai.2019.2318>

9. **Przewłócka K., Folwarski M., Kaźmierczak S., Iedleka K., Skonieczna-Żydecka K., Kaczor J.J.** Gut-M Axis Exists and May Affect Skeletal Muscle Adaptation to Training. *Nutrients.* 2020;12(5):1451. <https://doi.org/10.3390/nu12051451>

10. **Cerdá B., Pérez M., Pérez-Santiago J.D., Tornero-Aguilera J.F., González-Soltero R., Larrosa M.** Gut Microbiota Modification: Another Piece in the Puzzle of the Benefits of Physical Exercise in Health? *Front. Physiol.* 2016;7:51. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00051>

11. **Mitchell C.M., Davy B.M., Hulver M.W., Neilson A.P., Bennett B.J., Davy K.P.** Does Exercise Alter Gut Microbial Composition? A Systematic Review. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2019;51(1):160–167. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001760>

12. **Carey R.A., Montag D.** Exploring the relationship between gut microbiota and exercise: Short-chain fatty acids and their role in metabolism. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* 2021;7(2):e000930. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2020-000930>

13. **Ribeiro F.M., Lopes G., da Cunha Nascimento D., Pires L., Mulder A.P., Franco O.L., Petriz B.** An overview of the level of dietary support in the gut microbiota at different stages of life: A systematic review. *Clin. Nutr. ESPEN.* 2021;42:41–52. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.01.024>

14. **Mariat D., Firmesse O., Levenez F., Guimaraes V.D., Sokol H., Dore J., Corthier G., Furet J.P.** The Firmicutes/Bacteroidetes ratio of the human microbiota changes with age. *BMC Microbiol.* 2009;9:123. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-9-123>

15. **Solter P.F., Beasley V.R.** Phycotoxins. In: **Haschek W.M., Rousseaux C.G., Wallig M.A., eds.** *Haschek and Rousseaux's Handbook of Toxicologic Pathology.* 3rd ed. Academic Press; 2013, p. 1155–1186. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415759-0.00038-8>

16. **Méheust R., Castelle C., Carnevali P.** Groundwater Elusimicrobia are metabolically diverse compared to gut microbiome Elusimicrobia and some have a novel nitrogenase paralog. *The ISME Journal.* 2020;14(12):2907–2922. <https://doi.org/10.1038/s41396-020-0716-1>

17. **Fukuchi M., Sugita M., Banjo M., Yonekura K., Sasuga Y.** The impact of a competitive event and the efficacy of a lactic acid bacteria-fermented soymilk extract on the gut microbiota and urinary metabolites of endurance athletes: An open-label pilot study. *PLoS One.* 2022;17(1):e0262906. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262906>

18. **Bressa C., Bailén-Andrino M., Pérez-Santiago J., González-Soltero R., Pérez M., Montalvo-Lominchar M.G., et al.** Differences in gut microbiota profile between women with active lifestyle and sedentary women. *PLoS ONE.* 2017;12(2):e0171352. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171352>

19. **McKenna C.F., Salvador A.F., Hughes R.L., Scaroni S.E., Alamilla R.A., Askow A.T., et al.** Higher protein intake during resistance training does not potentiate strength, but modulates gut microbiota, in middle-aged adults: a randomized control trial. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 2021;320(5):e900–13. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00574.2020>

20. **Clark A., Mach N.** Exercise-induced stress behavior, gut-microbiota-brain axis and diet: a systematic review for athletes. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2016;13(1):43. <https://doi.org/10.1186/s12970-016-0155-6>

21. **Aya V., Flórez A., Perez L., Ramirez J.D.** Association between physical activity and changes in intestinal microbiota composition: A systematic review. *PLoS ONE.* 2021;16(2):e0247039. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247039>

22. **Красникова Л.В., Гунькова П.И., Маркелова В.В.** Микробиология молока и молочных продуктов: Лабораторный практикум. СПб.: НИУ ИТМО; 2013. [**Krasnikova V., Gunkova P.I., Markelova V.V.** Microbiology of milk and dairy products: Laboratory workshop. St. Petersburg: ITMO Research Institute; 2013 (In Russ.)].

23. **Meisel H., Bockelmann W.** Bioactive peptides encrypted in milk proteins: proteolytic activation and tropho-functional properties. In: **Konings W.N., Kuipers O.P., In 't Veld J.H.J.H., eds.** *Lactic Acid Bacteria: Genetics, Metabolism and Applications.* Springer, Dordrecht; 1999, p. 207–215. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2027-4_10

24. **Dong W., Wang Y., Liao S., Lai M., Peng L., Song G.** Reduction in the Choking Phenomenon in Elite Diving Athletes Through Changes in Gut Microbiota Induced by Yogurt Containing *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12: A Quasi Experimental Study. *Microorganisms.* 2020;8(4):597. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8040597>

25. **Dohnalová L., Lundgren P., Carty J.R.E., Goldstein N., Wenski S.L., Nanudorn P., et al.** A microbiome-dependent gut-brain pathway regulates motivation for exercise. *Nature.* 2022;612(7941):739–747. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05525-z>

26. **Siebers M., Biedermann S., Fuss J.** Do Endocannabinoids Cause the Runner's High? Evidence and Open Questions. *Neuroscientist.* 2023;29(3):352–369. <https://doi.org/10.1177/10738584211069981>

27. **Notting F., Pirovano W., Sybesma W., Kort R.** The butyrate-producing and spore-forming bacterial genus *Coprococcus* as a potential biomarker for neurological disorders. *Gut Microbiome.* 2023;4:e16. <https://doi.org/10.1017/gmb.2023.14>

28. **Mukherjee A., Lordan C., Ross R.P., Cotter P.D.** Gut microbes from the phylogenetically diverse genus *Eubacterium* and their various contributions to gut health. *Gut Microbes.* 2020;12(1):1802866. <https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1802866>

29. **Doden H.L., Wolf P.G., Gaskins H.R., Anantharaman K., Alves J.M.P., Ridlon J.M.** Completion of the gut microbial epi-bile acid pathway. *Gut Microbes.* 2021;13(1):1–20. <https://doi.org/10.1080/19490976.2021.1907271>

30. **Qin P., Zou Y., Dai Y., Luo G., Zhang X., Xiao L.** Characterization a Novel Butyric Acid-Producing Bacterium *Collinsella aerofaciens* Subsp. *Shenzhenensis* Subsp. *Nov.* *Microorganisms.* 2019;7(3):78. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7030078>

31. **Patrice D., Willem M.** Next-Generation Beneficial Microbes: The Case of *Akkermansia muciniphila*. *Front. Microbiol.* 2017;8:1765. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01765>

32. **Ottman N., Geerlings S.Y., Aalvink S., de Vos W.M., Belzer C.** Action and function of *Akkermansia muciniphila* in microbiome ecology, health and disease. *Best Pract. Res. Clin. Gastroenterol.* 2017;31(6):637–642. <https://doi.org/10.1016/j.bpg.2017.10.001>

33. **Morita H., Kano C., Ishii C., Kagata N., Ishikawa T., Hirayama A., et al.** *Bacteroides uniformis* and its preferred substrate, α -cyclodextrin, enhance endurance exercise performance in mice and human males. *Sci Adv.* 2023;9(4):eadd2120. <https://doi.org/10.1126/sciadv.add2120>

34. **Pei T., Zhu D., Yang S., Hu R., Wang F., Zhang J., et al.** *Bacteroides plebeius* improves muscle wasting in chronic kidney disease by modulating the gut-renal muscle axis. *J. Cell Mol. Med.* 2022;26(24):6066–6078. <https://doi.org/10.1111/jcmm.17626>

35. Needleman I., Klein B., Hendrickson J., Davrandi M., Gallagher J., Ashley P., Spratt D. Microbiome analysis in elite sport. *Br. J. Sports Med.* 2021;55(S1):A132. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-ioc.316>

36. Whisner C.M., Maldonado J., Dente B., Krajmalnik-Brown R., Bruening M. Diet, physical activity and screen time but not body mass index are associated with the gut microbiome of a diverse cohort of college students living in university housing: A cross-sectional study. *BMC Microbiol.* 2018;18:210. <https://doi.org/10.1186/s12866-018-1362-x>

37. Dupuit M., Rance M., Morel C., Bouillon P., Boscaro A., Martin V., et al. Effect of concurrent training on body composition and gut microbiota in postmenopausal women with overweight or obesity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2022;54(3):517–529. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002809>

38. Clark A., Mach N. Exercise-induced stress behavior, gut-microbiota-brain axis and diet: a systematic review for athletes.

J. Int. Soc. Sports Nutr. 2016;13(1):43. <https://doi.org/10.1186/s12970-016-0155-6>

39. Zhu Q., Jiang S., Du G. Effects of exercise frequency on the gut microbiota in elderly individuals. 2020;9(8):e1053. <https://doi.org/10.1002/mbo3.1053>

40. Wang Z., Chen K., Wu C., Chen J., Pan H., Liu Y., et al. An emerging role of *Prevotella histicola* on estrogen deficiency-induced bone loss through the gut microbiota-bone axis in postmenopausal women and in ovariectomized mice. *Am. J. Clin. Nutr.* 2021;114(4):1304–1313. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab194>

41. Aya V., Jimenez P., Muñoz E., Ramírez J.D. Effects of exercise and physical activity on gut microbiota composition and function in older adults: a systematic review. *BMC Geriatr.* 2023;23(1):364. <https://doi.org/10.1186/s12877-023-04066-y>

42. Li G., Jin B., Fan Z. Mechanisms Involved in Gut Microbiota Regulation of Skeletal Muscle. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2022;2022:2151191. <https://doi.org/10.1155/2022/2151191>

Информация об авторах:

Шестопалов Александр Вячеславович, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой биохимии и молекулярной биологии Института фармациии и медицинской химии ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Россия, 117997, г. Москва, ул. Островитянова, 1; заведующий лабораторией биохимии сигнальных систем ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России, Россия, 117292, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, 11; ORCID:0000-0002-1428-7706 (al-shest@yandex.ru)

Фатхуллин Раиль Фэридович, ассистент кафедры биохимии и молекулярной биологии Института фармациии и медицинской химии ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Россия, 117997, г. Москва, ул. Островитянова, 1; научный сотрудник лаборатории биохимии сигнальных путей ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России, Россия, 117292, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, 11; ORCID:0009-0000-9495-2616 (rail.rail88@mail.ru)

Григорьева Татьяна Владимировна, к.б.н., научный сотрудник ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России, Россия, 117292, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, 11; ведущий научный сотрудник НИЛ «Генетика микроорганизмов» Института фундаментальной медицины и биологии ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Россия, 420021, г. Казань, ул. Парижской Коммуны, 9; ORCID:0000-0001-5314-7012 (tatabio@inbox.ru)

Мартыканова Диляра Сафовна, к.б.н., доцент, доцент кафедры адаптивной физической культуры и безопасности жизнедеятельности, старший научный сотрудник НИИ физической культуры и спорта ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420010, г. Казань, ул. Деревня Универсиады, 35; ORCID:0000-0003-3217-6855 (dilmart@mail.ru)

Давлетова Наиля Ханифовна, к.м.н., доцент, доцент кафедры медико-биологических дисциплин ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420010, г. Казань, ул. Деревня Универсиады, 35; доцент кафедры общей гигиены ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 420012, г. Казань, ул. Бутлерова, 49; ORCID:0000-0002-2014-1746 (davletova0681@mail.ru)

Колесникова Ирина Максимовна, к.б.н., преподаватель кафедры биохимии и молекулярной биологии Института фармациии и медицинской химии ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Россия, 117997, г. Москва, ул. Островитянова, 1; научный сотрудник лаборатории биохимии сигнальных путей ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России, Россия, 117292, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, 11 <https://orcid.org/0000-0003-0269-0343> (ir.max.kolesnikova@gmail.com)

Иванова Анна Аркадьевна, д.м.н., проф., доцент кафедра онкологии, гематологии и лучевой терапии ПФ ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Россия, 117997, г. Москва, ул. Островитянова, 1; научный сотрудник лаборатории биохимии сигнальных путей ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России, Россия, 117292, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, 11

Румянцев Сергей Александрович, член-корр. РАН, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой онкологии, гематологии и лучевой терапии педиатрического факультета ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Россия, 117997, г. Москва, ул. Островитянова, 1; зам. директора ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России, Россия, 117292, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, 11 (s_roumiantsev@mail.ru)

Information about the authors:

Alexander V. Shestopalov, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor, Holder of the Department of biochemistry and molecular biology, Pirogov Russian National Research Medical University, Russia, 117997, Moscow, Ostrovityanova str., 1; Holder of the Laboratory of Biochemistry of Signal Pathways, National Medical Research Center of Endocrinology, Ministry of Public Health of Russia, Russia, 117292, Moscow, str. Dmitry Ulyanov, 11; ORCID:0000-0002-1428-7706 (al-shest@yandex.ru).

Rail F. Fatkhullin, Assistant of the Department of biochemistry and molecular biology, Pirogov Russian National Research Medical University, Russia, 117997, Moscow, Ostrovityanova st., 1; Researcher of the Laboratory of Biochemistry of Signal Pathways, National Medical Research Center of Endocrinology, Russia, 117292, Moscow, str. Dmitry Ulyanov, 11 11; ORCID:0009-0000-9495-2616 (rail.rail88@mail.ru)

Tatiana V. Grigoryeva, Ph.D. (Biology), Leading Researcher, Laboratory of Biochemistry of Signal Pathways, National Medical Research Center of Endocrinology Russia, 117292, Moscow, str. Dmitry Ulyanov, 11; Leading Researcher of the Research Laboratory “Genetics of Microorganisms”, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan (Privolzhskiy) Federal University, Russia, 420021, Kazan, str. Paris Commune, 18; ORCID:0000-0001-5314-7012 (tatabi o@inbox.ru)

Dilyara S. Martykanova, Ph.D. (Biology), Assistant Professor, Associate Professor of the Department of Adaptive Physical Culture and Life Safety, Senior Researcher at the Research Institute of Physical Culture and Sports, Povolzhskiy State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Russia, 420010, Kazan, str. Universiade Village, 35 (dilmar t@mail.ru)

Nailya Ch. Davletova, M.D., Ph.D. (Medicine), Assistant Professor, Associate Professor of the Department of Medical and Biological Disciplines of the Povolzhskiy State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Russia, 420010, Kazan, str. Universiade Village, 35; Associate Professor of the Department of General Hygiene of the Kazan State Medical University, Russia, 420012, Kazan, str. Butlerova, 49; ORCID:0000-0003-3217-6855 (davletova0681@mail.ru)

Irina M. Kolesnikova, Ph.D. (Biology), Lecturer at the Department of Biochemistry and Molecular Biology of the Institute of Pharmacy and Medical Chemistry of the Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, 1 Ostrovityanova str., Moscow, 117997, Russia; researcher at the Laboratory of Biochemistry of Signaling Pathways of the Federal State Budgetary Institution National Medical Research Center of Endocrinology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Dmitriy Ulyanov str. 11, Moscow, 117292, Russia; ORCID:0000-0003-0269-0343 (ir.max.kolesnikova@gmail.com)

Anna A. Ivanova, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor, Associate Professor, Department of Oncology, Hematology and Radiation Therapy, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov” of the Ministry of Health of Russia, Russia, 117997, Moscow, st. Ostrovityanova, 1; Researcher, Laboratory of Biochemistry of Signaling Pathways, Federal State Budgetary Institution National Medical Research Center for Endocrinology, Ministry of Health of Russia, 11 Dmitriy Ulyanov str. 11, Moscow, 117292

Sergey A. Roumiantsev, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences; Holder of the Department of oncology, haematology and radiation therapy, Pirogov Russian National Research Medical University, Russia, 117997, Moscow, Ostrovityanova str., 1; Deputy Director of the National Medical Research Center of Endocrinology, Ministry of Public Health of Russia, Russia, 117292, Moscow, str. Dmitry Ulyanov, 11 (s_roumiantsev@mail.ru)



Sleep quality and sports performance in physically impaired athletes of individual sports

Fatemeh Ahmadi^{1,2}, Mohammad Amin Safari³, Hamid Reza Sadeghipour^{1,2}, Sara Zare Karizak¹, Abdossaleh Zar^{1,2}, Pantelis Theo Nikolaidis^{4,*}

¹ Department of Sport Science, School of Literature and Humanities, Persian Gulf University, Bushehr, Iran

² Persian Gulf Sports, Nutrition and Wellness Research and Technology Group, School of Literature and Humanities, Persian Gulf University, Bushehr, Iran

³ Department of Sport Science, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Shiraz, Shiraz, Iran

⁴ School of Health and Caring Sciences, University of West Attica, Athens, Greece

ABSTRACT

Aim: To investigate the relationship between sleep quality and sports performance of individuals with physical impairments in individual sports.

Methods: Three hundred and thirty-eight athletes (age: 36.43 ± 10.81 yrs.; 145 women and 193 men) participated in the study. Volunteers completed a five-part questionnaire on sleep quality. Based on the information available in the Provincial boards and the Veterans and Disabled Federation, the positions obtained by each athlete were considered as a criterion measure of sports performance.

Results: Result showed that in women the positions obtained at the Provincial, National and International level was significantly higher compared with male athletes ($p < 0.05$). There was no significant relationship between sleep quality and athletic performance of women, men and total (both men and women) athletes in individual sports at the Provincial level (women: $r = 0.070$, $p = 0.409$; men: $r = -0.844$, $p = 0.242$ and men and women: $r = -0.029$, $p = 0.600$); National level (women: $r = 0.093$, $p = 0.271$; men: $r = 0.020$, $p = 0.785$, men and women: $r = 0.039$, $p = 0.474$) and International level (women: $r = 0.024$, $p = 0.781$; men: $r = 0.094$, $p = 0.191$, men and women: $r = -0.078$, $p = 0.151$).

Conclusion: There was no significant difference in sleep quality between male and female athletes with physical impairments. No significant relationship was observed between athletic performance and sleep quality between the two groups. In future research, field studies can be used to evaluate this relationship.

Keywords: sleep quality, disabled athletes, sports performance

Acknowledgments: the authors of the article thank all the participants in the study, as well as the Federation of Veterans and the Disabled of Iran.

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

For citation: Ahmadi F., Safari M.A., Sadeghipour H.R., Karizak S.Z., Zar A., Nikolaidis P.T. Sleep quality and sports performance in physically impaired athletes of individual sports. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(1):25–31. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.5>

Received: 11 June 2024

Accepted: 02 July 2024

Online first: 19 August 2024

Published: 26 August 2024

*Corresponding author

Качество сна и спортивные результаты у спортсменов с ограниченными физическими возможностями в индивидуальных видах спорта

Фатемех Ахмади^{1,2}, Мохаммад Амин Сафари³, Хамид Реза Садегхипур^{1,2}, Сара Заре Каризак¹, Абдоссалех Зар^{1,2}, Пантелис Тео Николаидис^{4,*}

¹ Кафедра спортивных наук, Школа литературы и гуманитарных наук, Университет Персидского залива, Бушер, Иран

² Исследовательская и технологическая группа по спорту, питанию и здоровью, Школа литературы и гуманитарных наук, Университет Персидского залива, Бушер, Иран

³ Кафедра спортивной науки, факультет педагогических наук и психологии, Университет Шираз, Шираз, Иран

⁴ Школа здравоохранения и наук об уходе, Университет Западной Аттики, Афины, Греция

АННОТАЦИЯ

Цель: изучить взаимосвязи между качеством сна и спортивными результатами спортсменов с ограниченными физическими возможностями в индивидуальных видах спорта.

Методы: В исследовании приняли участие триста тридцать восемь спортсменов (возраст: $36,43 \pm 10,81$ года; 145 женщин и 193 мужчины). Участники заполнили пятичастный опросник о качестве сна. В качестве основного критерия спортивной результативности рассматривались места, занятые каждым спортсменом, на основании информации, имеющейся в провинциальных советах и Федерации ветеранов и инвалидов.

Результаты: Результаты показали, что у женщин места, полученные на провинциальном, национальном и международном уровне, были значительно выше по сравнению с мужчинами ($p < 0,05$). Не было обнаружено значительной связи между качеством сна и спортивными результатами женщин, мужчин и обоих полов в индивидуальных видах спорта на провинциальном (женщины: $r = 0,070$, $p = 0,409$; мужчины: $r = -0,844$, $p = 0,242$, оба пола: $r = -0,029$, $p = 0,600$); национальном (женщины: $r = 0,093$, $p = 0,271$; мужчины: $r = 0,020$, $p = 0,785$, оба пола: $r = 0,039$, $p = 0,474$) и международном (женщины: $r = 0,024$, $p = 0,781$; мужчины: $r = 0,094$, $p = 0,191$, оба пола: $r = -0,078$, $p = 0,151$) уровнях.

Выводы: Между спортсменами и спортсменками с ограниченными физическими возможностями не было выявлено существенной разницы в качестве сна. Между спортивными результатами и качеством сна в этих двух группах не наблюдалось значительной взаимосвязи. В будущих исследованиях для оценки этой взаимосвязи могут быть использованы полевые исследования.

Ключевые слова: качество сна, спортсмены-инвалиды, спортивные результаты

Благодарности: Авторы статьи благодарят всех участников исследования, а также Федерацию ветеранов и инвалидов Ирана.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ахмади Ф., Сафари М.А., Садегхипур Х.Р., Каризак С.З., Зар А., Николаидис П.Т. Качество сна и спортивные результаты у спортсменов с ограниченными физическими возможностями в индивидуальных видах спорта. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(1):25–31. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.5>

Поступила в редакцию: 11.06.2024

Принята к публикации: 02.07.2024

Online first: 19.08.2024

Опубликована: 26.08.2024

* Автор, ответственный за переписку

1. Introduction

Sleep is a dynamic and organized biological process that has an important impact on resilience and health and is an important part of human life [1] and therefore poor sleep quality can be considered an indicator of disease(s) [2]. Research findings show that decreased sleep quality has a significant effect on fatigue, impaired cellular repair, impaired memory and learning, gastrointestinal disorders, metabolic diseases, decreased immune function, and ultimately reduced quality of life and reduced life expectancy [3]. On the other hand, physically active people have good health in various physical and mental dimensions, and in connection with sleep, the American Sleep Disorders Association considers

exercise and physical activity an important part of the sleep process [4].

Exercise and sports activity are mentioned as an effective factor in improving the quality of sleep [5]. Accordingly, sleep quality is hypothesized to affect the performance and athletic outcomes of athletes. Many athletes, despite having good performance in individual or group training, have poor performance in the field and the cause of these problems, apart from effective technical factors, can be attributed to factors affecting their mental state, including sleep status [6]. Reports also indicated that athletes are particularly concerned about the impact of insomnia caused by exercise programs, travel, or pre-competition stress on their athletic performance [7]. Research

findings in this field are contradictory as Abbasi et al. reported that sleep deprivation adversely affects reaction time and balance but had no effect on their agility and neuromuscular coordination [8]. While Bougard et al. reported no effect of sleep deprivation on balance [9]. It was reported that short-term sleep deprivation has no effect on anaerobic performance, but adversely affects reaction time as cognitive function [10].

However, despite proving the effect of quality sleep on different aspects of health, athletes may not have good sleep quality due to their training and competitive conditions, which can affect their athletic performance. In people with impairments and veterans, apart from these conditions, their physical condition also has a greater impact on their sleep quality compared with a 'normal' population [11]. However, an impairment is considered as a deprivation and an inappropriate status (representation) of the person that interferes with the natural social and cultural roles of the person and thus affects their sleep quality [12]. Attending sports activities for this group of people in the community can improve their physical and mental health and can also positively affect their sleep quality [13]. However, sleep plays a very important role in regulating the physiological functions of the body, and any disturbance in these functions can affect the quality of sleep. The veterans and the physically impaired people may have these problems exacerbated due to physical impairments [5, 14].

It has been shown that stress, depression and anxiety caused by the physical condition can strongly and negatively affect sleep quality. Research findings suggest that increased stress impairs sleep quality [15], an issue that can be more pronounced in athletes with impairments depending on their unique physical condition. Although in some previous studies, the quality of sleep of physically impaired people has been reported to be better than physically inactive impaired people [11]. However, the impact of sleep quality of impaired and veteran athletes at National and International levels on their athletic performance has been less studied. Accordingly, the purpose of the present study was to investigate the relationship between sleep quality and sports performance among physically impaired and veteran athletes.

2. Methods

This descriptive-analytical research (correlational study) was conducted in 2021 in Iran.

Volunteers

All physically impaired athletes participating in Provincial, National and International competitions made up the population of the present study via their local sport in body. Three hundred and thirty-eight individual sports (Such as Archery, weightlifting, shooting, Track and Field) athletes participated in the present study (age: 36.43 ± 10.81 yrs.; 145 women and 193 men). Criteria for entering the study included informed consent to participate, no mental illness, and a willingness to cooperate and complete a questionnaire. All ethical considerations regarding the confidentiality of the volunteers' information were observed and the present study received ethical

approval with the code IR.JUMS.REC.1399.045 from the Ethics Committee of Jahrom University of Medical Sciences (Fars Province, Iran).

Procedure

After the approval of the plan by the Veterans and Disabled Federation and with the co-operation of the various sports delegations of the Veterans and Disabled of the Provinces, all stages of the work were sent in writing to the sports delegations through the Federation. Before data collection, the Petersburg Sleep Questionnaire, as well as how to implement the research plan, were fully explained to the participants. Each volunteer completed a questionnaire of the Petersburg Sleep Questionnaire and, based on the information available from the Provincial boards and the Veterans and Disabled Federation, the positions ('position' refers to whether the athlete competed at Provincial, National, or International level) obtained by each athlete was considered as a criterion measure for sports performance.

Petersburg Sleep Questionnaire

To assess sleep quality, the Petersburg Sleep Questionnaire was used which included 9 questions that are categorized into 7 clinically derived components of: mental quality of sleep, delayed sleep, duration of sleep, efficiency and effectiveness of sleep, sleep disturbance, amount of sleeping pills, dysfunction [16]. All of the above components are calculated based on the results of the questionnaire. The score of each question is in the form of a Likert-type scale and between 0 and 3, and a score of 3 on each scale indicates a maximum negative score. The overall score of this questionnaire is between 0 and 21, and high scores indicate low sleep quality. A score above 5 indicates poor sleep quality. Its reliability and validity have been confirmed in various studies, which have a reliability of 0.83 and validity between 86.5 and 89.6 [17].

Sports performance

Based on the information available in the Provincial sports delegations and the Veterans and Disabled Federation, the positions obtained by each athlete were considered as a criterion for sports performance.

Information analysis method

Descriptive statistics were used to determine the mean and standard deviation and a regression correlation test (Pearson Product Moment Correlation Coefficient) was used to investigate the relationship between research variables in the inferential statistics section. Where the data was not normally distributed a *Mann-Whitney U* test was used to compare men versus women. $P \leq 0.05$ was considered to indicate a statistically significant difference.

3. Results

Assessing the sleep quality of individual athletes

The results of the *Mann-Whitney U* test about sleep quality of individual athletes showed that there was no

statistically significant difference between women and men in the subjective sleep quality, sleep latency, sleep duration, habitual sleep efficiency, sleep disturbances, use of sleeping medication, daytime dysfunction and overall sleep quality ($p > 0.05$) (Table 1).

Assessing the number of winning positions by individual athletes

The results of the Mann–Whitney *U* test of the positions obtained by female and male athletes in individual sports showed that in women the positions obtained at the Provincial level, National and International level was significantly higher than their male counterparts ($p < 0.05$), (Table 2).

Assessing the relationship between sleep quality and sports performance of athletes at different Provincial, National and International levels

The results showed that there was no significant relationship between sleep quality and athletic performance of women athletes in individual sports at the Provincial ($r = 0.070$, $p = 0.409$), National ($r = 0.093$, $p = 0.271$) and International

($r = 0.024$, $p = 0.781$) levels. Also in male athletes, there were no significant relationship found between sleep quality and sports performance at the Provincial ($r = -0.844$, $p = 0.242$), National ($r = 0.020$, $p = 0.785$) and International ($r = -0.094$, $p = 0.191$) levels. Overall, no significant relationship was observed between sleep quality and sports performance of athletes (total male and female) at the Provincial ($r = -0.029$, $p = 0.600$), National ($r = 0.039$, $p = 0.474$) or at the International ($r = -0.078$, $p = 0.151$) levels (Table 3).

значимым.

4. Discussion

In the present study, the relationship between sleep quality and sports performance of physically impaired athletes in individual disciplines was investigated. The results of this study showed that the sleep quality of athletes was “good” based on scores from the Petersburg Sleep Questionnaire. There was no significant difference between sleep quality and its components in the two groups of male and female athletes. In the study of Ahmadi et al, professional cyclists had better sleep quality than non-athletes [11], which shows the importance of exercise and physical activity in improving the sleep

Table 1

Results of the Mann–Whitney U test on the sleep quality of individual athletes

Таблица 1

U-критерий Манна-Уитни по качеству сна у спортсменов

Variable	Women		Men		p value
	MR	SoR	MR	SoR	
Subjective sleep quality	159.63	22667	176.65	32624	0.081
Sleep latency	161.98	23001	174.95	34289	0.208
Sleep duration	167.77	23823	170.76	33468	0.773
Habitual sleep efficiency	164.15	23310	173.37	33981	0.368
Sleep disturbances	176.06	25001	164.74	32290	0.226
Use of sleeping medication	169.41	24056	169.56	33234	0.986
Daytime dysfunction	165.33	23477	172.52	33814	0.188
Overall sleep quality	161.96	22998	174.96	34293	0.225

Note: MR — Mean Rank, SoR — Sum of Ranks, * — p value less than 0.05 considered as significant.

Примечание: MR — Средний ранг, SoR — сумма рангов, * — значение p меньше 0,05 считается статистически значимым.

Table 2

The results of the Mann–Whitney U test on the number of winning positions (Gold, silver and bronze medals) by individual athletes

Таблица 2

U-критерий Манна-Уитни по количеству завоеванных золотых, серебряных и бронзовых медалей отдельными спортсменами

Variable	Women		Men		p value
	MR	SoR	MR	SoR	
Provincial Championship	180.50	25631	161.53	31660	0.030*
National Championship	180.35	25609	161.64	31682	0.020*
International Championship	189.27	26.877	155.17	30414	0.001*

Note: MR — Mean Rank, SoR — Sum of Ranks, * — p value less than 0.05 considered as significant.

Примечание: MR — Средний ранг, SoR — сумма рангов, * — значение p меньше 0,05 считается статистически значимым.

Table 3

The relationship between sleep quality and sports performance of athletes at different levels, Provincial, National and International

Таблица 3

Взаимосвязь между качеством сна и спортивными результатами спортсменов на провинциальном, национальном и международном уровнях

	Sports performance						
		Provincial Level		National Level		International level	
		<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
Sleep Quality	Women	0.070	0.409	0.93	0.271	-0.024	0.781
	Men	-0.084	0.242	0.020	0.785	-0.094	0.191
	Women and Men	-0.029	0.600	0.039	0.474	-0.078	0.151

Note: * — *p* value less than 0.05 considered as significant.

Примечание: * — значение *p* меньше 0,05 считается статистически значимым.

quality of people with physical impairments. Another study showed that people with physical impairments participating in public sports have better sleep quality [18]. Tofighi et al. also showed that 12 weeks of aerobic activity improved the quality of sleep of both physically active and inactive people with impairments [5].

However, in the present study, no significant difference was observed between male and female athletes in terms of sleep quality and its components, which shows the positive effect of exercise and physical activity on sleep quality in both sexes. Research by Monama et al. showed that in blind football players, there was no correlation between ‘burnout’ and sleep quality [19]. Another study showed that the participation of children with physical and hearing impairments in three months’ ice skating program significantly improved their sleep quality. In the study reported by Dursun et al, the psychological components of children with impairments increased with exercise, which can also improve their quality of sleep and life [20]. All these findings show that exercise and physical activity is an effective intervention to improve the sleep quality of people with impairments that can, in turn, improve their health.

In the present study, the average number of medals won by women in all three levels of Province, National and International representation was higher than men, which can be probably attributed to the greater number of competitions held for women. But an important result of our study was that there was no significant difference between sleep quality and exercise performance of men and women with impairments, which can be attributed to the positive effect of exercise and physical activity on improved sleep quality. Our findings show the importance of exercise and physical activity on the quality of sleep and ultimately the quality of life of people with impairments. Because women are at greater levels of stress affecting sleep quality; example a study by Hrozanova et al found that women accounted for approximately 2% of the variance in poor sleep quality, which may be caused by the general experience of women’s anxiety

and stress [21]. The study of Rodrigues et al showed that all the psychological parameters of the physically impaired participants in the 2012 Paralympic Games in men and women were normal and 67.5% of them possessed good sleep quality [22]. Although in the latter study, the relationship between sports performance and sleep quality was not studied, however, considering the importance of sleep quality for athletes, it can be considered an important factor in their overall performance.

However, in the present study, no significant relationship was observed between athletic performance and sleep quality in either male or female athletes. In the study of Esteves et al it was reported that athletes with visual impairments, who had more sleep, have better athletic performance [23]. However, in the latter study, a stress test was used in simulating formal conditions, while in the present study, sports performance was based on medals won. Therefore, considering the achievements of these athletes and the amount of “good” sleep, it can be hypothesised that their medals (in other words, their athletic performance) was influenced by the quality of their sleep. Wheelchair rugby players in a study reported by Sanz-Milonr et al also did not show a decrease in the amount and quality of their sleep, which indicated the effect of exercise on their sleep quality and athletic performance [24]. However, research findings emphasize the benefits of physical activity on improving sleep quality, and epidemiological studies have shown a positive and significant relationship between exercise and physical activity and sleep quality. Exercise improves sleep, which improves athletes’ health, and thus improves individual performance in various areas [25]. It seems that in relation to athletes with impairments, whose abilities are less affected by physical limitations, this issue can have an effect on the quality of sleep and ultimately athletic performance by having a positive psychological impact. While collecting information from the subjects, their classification status has not been investigated. Therefore, this can be mentioned as a limitation of the present study.

5. Conclusion

In general, the results of the present study showed that the sleep quality of male and female athletes with impairment was not significantly different, while in the relationship between sports performance and sleep quality, there was no

Author contributions:

Fatemeh Ahmadi — conceptualization and design of the research, data collection or data analysis and interpretation, preparation of the article or its critical revision in terms of meaningful intellectual content.

Mohammad Amin Safari — preparation of the article or its critical revision in terms of meaningful intellectual content.

Hamid Reza Sadeghipour — preparation of the article or its critical revision in terms of meaningful intellectual content.

Sara Zare Karizak — preparation of the article or its critical revision in terms of meaningful intellectual content.

Abdossaleh Zar — conceptualization and design of the research, data collection or data analysis and interpretation, preparation of the article or its critical revision in terms of meaningful intellectual content

Pantelis Theo Nikolaidis — preparation of the article or its critical revision in terms of meaningful intellectual content.

References / Список литературы

1. Hays R.D., Martin S.A., Sesti A.M., Spritzer K.L. Psychometric properties of the medical outcomes study sleep measure. *Sleep Med.* 2005;6(1):41–44. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2004.07.006>
2. Saremi A., Shavandi N., Bayat N. The effect of aerobic training on ghrelin and leptin serum levels and sleep quality in obese and overweight men. *J. Arak Uni. Med. Sci.* 2012;15(1):52–60. Available at: <http://jams.arakmu.ac.ir/article-1-934-en.html>
3. Ebrahimi Torkmani B., Shakhkhouian M., Azizkhahe Alanag S., Fasihi A. Comparison of the Relationship between Sleep Quality and Pulmonary Function and Biochemical Composition of the Body in Athletic and Non-Athlete Girls. *Health Res. J.* 2018;3(3):187–195. <https://doi.org/10.29252/hrjbaq.3.3.187>
4. Sheen Y.H., Choi S.H., Jang S.J., Baek J.H., Jee H.M., Kim M.A., Chae K.Y., Han M.Y. Poor sleep quality has an adverse effect on childhood asthma control and lung function measures. *Pediatr. Int.* 2017;59(8):917–922. [doi/abs/10.1111/ped.13312](https://doi.org/10.1111/ped.13312)
5. Tofighi A., Nozad J., Babae S., Dastah S. Effect of aerobic exercise training on General Health indices in Inactive Veterans. *Iran J. War Publ. Health.* 2013;5(2):40–45. Available at: <http://ijwph.ir/article-1-264-en.html>
6. Najafi F., Heydarinejad S., Shetabbushehri S.N. The relationship between the leadership style of coaches, group cohesion and competitive anxiety in women's Futsal Premier League. *Sport Management Studies.* 2018;10(47):185–204. <https://doi.org/10.22089/smrj.2018.1670.1378>
7. Leger D., Metlaine A., Choudat D. Insomnia and sleep disruption: relevance for athletic performance. *Clin. Sports Med.* 2005;24(2):269–285. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2004.12.011>
8. Abbasi Z., Koushki Jm., Daryanoosh F., Asghari S. Influence of Sleep Deprivation on Indices of Skill Related Physical Fitness In Female Athletes During Morning And Evening. *J. Exerc. Physical Act.* 2015;15(1):1881–1888. Available at: <https://sid.ir/paper/264971/en>
9. Bougard C., Davenne D. Effects of sleep deprivation and time-of-day on selected physical abilities in off-road motor-

cycle riders. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2012;112(1):59–67. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1948-6>

Вклад авторов:

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

Мохаммад Амин Сафари — подготовка статьи и ее рецензия с точки зрения значимого интеллектуального содержания.

Хамид Реза Садегхипур — подготовка статьи и ее рецензия с точки зрения значимого интеллектуального содержания.

Сара Заре Каризак — подготовка статьи и ее рецензия с точки зрения значимого интеллектуального содержания.

Абдоссалех Зар — концептуализация и дизайн исследования, сбор данных, их анализ и интерпретация, подготовка статьи и ее критическая рецензия с точки зрения значимого интеллектуального содержания.

Пантелис Тео Николаидис — подготовка статьи и ее рецензия с точки зрения значимого интеллектуального содержания.

cycle riders. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2012;112(1):59–67. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1948-6>

10. Taheri M., Arabameri E. The effect of sleep deprivation on choice reaction time and anaerobic power of college student athletes. *Asian J. Sports Med.* 2012;3(1):15. <https://doi.org/10.5812/asjasm.34719>

11. Ahmadi M.A., Zar A., Vahdatpoor H., Ahmadi F. The role of professional sports on quality of sleep and life in veterans and disabled professional cycling team athletes. *Health and Development Journal (JHAD).* 2018;7(2):111–120. <https://doi.org/10.22062/jhad.2020.91280>

12. Latifi Gr., Farrokhvandi A. Effective factors on life quality of war-injured of Dezfol. *Social Development and Welfare Planning.* 2012;3(9):81–122. Available at: <https://sid.ir/paper/157764/en>

13. Mandani B., Hosseini S., Saadat Abadi M., Farahbod M. Effect of group exercise program on quality of life in post-traumatic stress disorder war veterans. *Iran J. War Pub. Health.* 2015;7(2):91–98. Available at: <http://ijwph.ir/article-1-461-en.html>

14. Baldwin C.M., Griffith K.A., Nieto F.J., O'connor G.T., Walsleben J.A., Redline S. The association of sleep-disordered breathing and sleep symptoms with quality of life in the Sleep Heart Health Study. *Sleep.* 2001;24(1):96–105. <https://doi.org/10.1093/sleep/24.1.96>

15. Liu Y., Li T., Guo L., Zhang R., Feng X., Liu K. The mediating role of sleep quality on the relationship between perceived stress and depression among the elderly in urban communities: a cross-sectional study. *Pub. Health.* 2017;149:21–27. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2017.04.006>

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

17. Atadokht A. Sleep Quality And Its Related Factors Among University Students. *J. Helath Care.* 2015;17(1):9–18.

18. Hatami S., Saboonchi R., Sekhavat A., Ahar M., Mo- savi H. Comparing the quality of life among participated and

non-participated veterans and imperfectives in sport activities. *J. Sport Bio. Res.* 2012;2(7):29–36. Available at: <https://sid.ir/paper/240500/en>

19. **Monma T., Kohda Y., Yamane M., Mitsui T., Ando K., Takeda F.** Prevalence and risk factors of sleep disorders in visually impaired athletes. *Sleep Med.* 2021;79:175–182. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.11.011>

20. **Dursun O.B., Erhan S.E., Ibiş E.Ö., Esin I.S., Keleş S., Şirinkan A., et al.** The effect of ice skating on psychological well-being and sleep quality of children with visual or hearing impairment. *Disabil. Rehabil.* 2015;37(9):783–789. <https://doi.org/10.3109/09638288.2014.942002>

21. **Hrozanova M., Moen F., Pallesen S.** Unique predictors of sleep quality in junior athletes: the protective function of mental resilience, and the detrimental impact of sex, worry and perceived stress. *Front. Psychol.* 2019;10:1256. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01256>

Information about the authors:

Fatemeh Ahmadi, Ph.D., Researcher, Department of Sport Science, School of Literature and Humanities, Persian Gulf University; Iran, 75131, Bushehr, Persian Gulf Street. Researcher, Persian Gulf Sports, Nutrition and Wellness Research and Technology Group, School of Literature and Humanities, Persian Gulf University; Iran, 75131, Bushehr, Persian Gulf Street. ORCID: 0000-0003-0163-7807 (F.ahmadi@mehr.pgu.ac.ir)

Mohammad Amin Safari, Ph.D., Researcher, Department of Sport Science, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Shiraz; Iran, 84334–71946, Shiraz, Jomhoori Eslami boulevard. ORCID: 0000-0003-4091-0124 (m.a.safari@shirazu.ac.ir)

Hamid Reza Sadeghipour, Ph.D, Assistant professor, Department of Sport Science, School of Literature and Humanities, Persian Gulf University; Iran, 75131, Bushehr, Persian Gulf Street. Researcher, Persian Gulf Sports, Nutrition and Wellness Research and Technology Group, School of Literature and Humanities, Persian Gulf University; Iran, 75131, Bushehr, Persian Gulf Street. ORCID: 0000-0001-6656-3963 (h.sadeghi@yahoo.com)

Sara Zare Karizak, Ph.D., Assistant professor, Department of Sport Science, School of Literature and Humanities, Persian Gulf University; Iran, 75131, Bushehr, Persian Gulf Street. ORCID: 0000-0002-6927-7062 (sarazarekarizak@yahoo.com)

Abdossaleh Zar, Ph.D., Associate professor, Department of Sport Science, School of Literature and Humanities, Persian Gulf University; Iran, 75131, Bushehr, Persian Gulf Street. Researcher, Persian Gulf Sports, Nutrition and Wellness Research and Technology Group, School of Literature and Humanities, Persian Gulf University; Iran, 75131, Bushehr, Persian Gulf Street. ORCID: 0000-0002-8884-6224 (salehzar@pgu.ac.ir)

Pantelis Theo Nikolaidis*, Ph.D., Adjunct lecturer, School of Health and Caring Sciences, University of West Attica; Greece, 12243, Athens, Ag. Spyridonos str. ORCID: 0000-0001-8030-7122 (pademil@hotmail.com)

Информация об авторах:

Фатемех Ахмади, доктор философии, научный сотрудник, факультет спортивных наук, Школа литературы и гуманитарных наук, Университет Персидского залива; Иран, 75131, Бушер, улица Персидского залива. Научный сотрудник, группа исследований и технологий в области спорта, питания и здорового образа жизни, Школа литературы и гуманитарных наук, Университет Персидского залива; Иран, 75131, Бушер, улица Персидского залива. ORCID: 0000-0003-0163-7807 (F.ahmadi@mehr.pgu.ac.ir)

Мохаммад Амин Сафари, доктор философии, научный сотрудник, кафедра спортивных наук, факультет педагогических наук и психологии, Ширазский университет; Иран, 84334 — 71946, Шираз, бульвар Джомхури Эслами. ORCID: 0000-0003-4091-0124 (m.a.safari@shirazu.ac.ir)

Хамид Реза Садегхипур, доктор философии, доцент, кафедра спортивных наук, Школа литературы и гуманитарных наук, Университет Персидского залива; Иран, 75131, Бушер, улица Персидского залива. Научный сотрудник, группа исследований и технологий в области спорта, питания и здоровья, Школа литературы и гуманитарных наук, Университет Персидского залива; Иран, 75131, Бушер, улица Персидского залива. ORCID: 0000-0001-6656-3963 (h.sadeghi@yahoo.com)

Сара Заре Каризак, доктор философии, доцент, кафедра спортивных наук, Школа литературы и гуманитарных наук, Университет Персидского залива; Иран, 75131, Бушер, улица Персидского залива. ORCID: 0000-0002-6927-7062 (sarazarekarizak@yahoo.com)

Абдоссалех Зар, доктор философии, доцент, кафедра спортивной науки, Школа литературы и гуманитарных наук, Университет Персидского залива; Иран, 75131, Бушер, улица Персидского залива. Научный сотрудник, группа исследований и технологий в области спорта, питания и здоровья, Школа литературы и гуманитарных наук, Университет Персидского залива; Иран, 75131, Бушер, улица Персидского залива. ORCID: 0000-0002-8884-6224 (salehzar@pgu.ac.ir)

Пантелис Тео Николаидис*, доктор философии, адъюнкт-профессор, Школа здравоохранения и наук об уходе, Университет Западной Аттики; Греция, 12243, Афины, улица Spyridonos. ORCID: 0000-0001-8030-7122 (pademil@hotmail.com)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.1>

УДК: 796.015.6

Тип статьи: Оригинальная статья / Original research



Использование шкалы воспринимаемого усилия в профилактике травматизма у юных футболистов

А.В. Борисова¹, Ф.В. Тахавиева¹, М.М. Кузнецова², И.С. Долгалев^{2,*}, Я.И. Преображенский³,
З.О. Шабанова², Э.А. Малякина⁴, М.С. Бутовский^{1,5}

¹ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, Казань, Россия

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

³ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Минздрава России, Ярославль, Россия

⁴ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского»

⁵Футбольный клуб «Рубин», Казань, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: оценить возможность использования шкалы воспринимаемого усилия Борга CR10 в тренировочном процессе у юных футболистов и ее роль в профилактике травматизма.

Материалы и методы: в исследовании приняли участие 48 профессиональных спортсменов 15–17 лет. Ежедневно на протяжении семи месяцев в течение 20 минут после окончания тренировки им предлагалось оценить степень воспринимаемого усилия по шкале Борга CR10. Одновременно вместе с футболистами интенсивность тренировки по данной шкале оценивали тренеры команды. Также был проведен ретроспективный анализ мышечных травм и повреждений связочно-капсульного аппарата суставов в различные периоды годового макроцикла в течение двух последовательных соревновательных сезонов.

Результаты: показатель оценок спортсменов по шкале Борга CR10 в подготовительный, соревновательный и переходный этап соревновательного макроцикла составляет $5,08 \pm 1,28$, $5,00 \pm 1,16$ и $4,67 \pm 1,38$ соответственно. При этом оценка тренера за вышеперечисленные периоды — $4,78 \pm 0,89$, $5,09 \pm 1,05$ и $4,82 \pm 0,99$. Общая оценка игроков и тренеров составляет $5,20 \pm 1,85$ и $4,96 \pm 1$. При этом нет статистически значимых различий между оценкой переносимостью нагрузки между игроками и тренерами за весь сезон ($p = 0,288$).

Было выявлено снижение травматизма среди юных профессиональных футболистов в период после внедрения в тренировочный процесс оценки уровня воспринимаемой нагрузки при использовании шкалы Борга CR10 по сравнению с периодом, когда она не применялась ($p = 0,028$).

Заключение: шкала Борга является простым методом оценки уровня тренировочной нагрузки и может быть использована для своевременной корректировки тренировочного процесса профессиональных футболистов 15–17 лет с целью снижения травматизма.

Ключевые слова: соккер, переносимость нагрузки, юные спортсмены, спортивный травматизм

Для цитирования: Борисова А.В., Тахавиева Ф.В., Кузнецова М.М., Долгалев И.С., Преображенский Я.И., Шабанова З.О., Бутовский М.С. Использование шкалы воспринимаемого усилия в профилактике травматизма у юных футболистов. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(1):32–40. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.1>

Поступила в редакцию: 18.08.2022

Принята к публикации: 31.05.2024

Online first: 28.06.2024

Опубликована: 26.08.2024

* Автор, ответственный за переписку

Scale of perceived exertion as injury prevention tool for young football players

Alena V. Borisova¹, Farida V. Takhavieva¹, Maria M. Kuznetsova², Ilya S. Dolgalev^{2,*}, Yaroslav I. Preobrazhensky³, Zumrud O. Shabanova², Ellina A. Malyakina⁴, Mikhail S. Butovsky^{1,5}

¹Kazan State Medical University, Kazan, Russia

²Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

³Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russia

⁴Russian Scientific Center of Surgery named after Academician Boris Petrovsky, Moscow, Russia

⁵Football Club "Rubin", Kazan, Russia

ABSTRACT

Objective: evaluation of the feasibility of using the Borg CR10 perceived exertion scale in the training process of young football players and its role in injury prevention.

Material and methods: 48 athletes aged 15–17 were examined by scale of perceived exertion during the 7 month every day within 20 minutes after the training. The coaches also assessed the degree of perceived exertion. A comparative retrospective analysis of injuries was done for the periods of the mycrocycle of the youth football league of the seasons 2020–2021 and 2021–2022 based on muscle injuries, ligament and joint capsular injuries.

Results: Athletes' scores on the Borg CR10 scale in the preparation, competition and transitional stages of the competitive macrocycle are 5.08 ± 1.28 , 5.00 ± 1.16 and 4.67 ± 1.38 , respectively. The coaches' scores for the aforementioned periods are 4.78 ± 0.89 , 5.09 ± 1.05 and 4.82 ± 0.99 . The total scores of players and coaches is 5.20 ± 1.85 and 4.96 ± 1 respectively. Moreover, there is no statistically significant difference between the rate of perceived exertion between players and coaches for the whole season ($p = 0.288$).

There is a decreased injury rate in young professional athletes group when the Borg CR10 scale of perceived exertion is measured in a season with the use of this scale compared to a season where the Borg CR 10 scale was not used ($p = 0.028$).

Conclusion: the Borg CR10 scale is a useful methodology for assessing the level of perceived exertion of a young athlete and can be used for early training corrections in order to reduce injuries.

Keywords: soccer, load tolerance, young athletes, sports injuries

For citation: Borisova A.V., Takhavieva F.V., Kuznetsova M.M., Dolgalev I.S., Preobrazhensky Y.I., Shabanova Z.O., Malyakina E.A., Butovsky M.S. Scale of perceived exertion as injury prevention tool for young football players. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(1):32–40. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.1>

Received: 18 August 2022

Accepted: 31 May 2024

Online first: 28 June 2024

Published: 26 August 2024

*Corresponding author

1. Введение

Современный спорт характеризуется высоким уровнем напряженности тренировочной и соревновательной деятельности. В основе тренировочного процесса лежит адаптация к физической нагрузке при условии соответствия параметров нагрузок состоянию спортсменов. Большой объем тренировочных нагрузок без учета индивидуальных особенностей спортсменов и адекватного постнагрузочного восстановления может привести к развитию нефункционального перенапряжения, тогда как нагрузки недостаточной интенсивности могут не вызвать необходимых адаптаций, способствующих улучшению работоспособности [1, 2, 3].

В детско-юношеском спорте проблема сохранения здоровья приобретает особую актуальность, поскольку недооценка тренером возрастных анатомо-физиологических

особенностей организма детей, неадекватные по объему и интенсивности тренировочные и соревновательные нагрузки могут повлечь за собой нарушения гармоничности развития, снижение резистентности, возникновение функциональной или органической патологии и увеличить травматизм [4, 5]. Для снижения риска возникновения перенапряжения и травм необходим мониторинг тренировочной нагрузки [6–9]. В связи с этим легко объясним значительный интерес специалистов в области спортивной медицины и тренеров к поиску быстрого, неинвазивного и широкодоступного метода оценки переносимости нагрузки для своевременной коррекции тренировочного процесса и, как следствие, достижения максимального спортивного результата на фоне оптимальной тренировочной нагрузки. Особенно данная задача актуальна в командных видах спорта, где тренеру

и врачу необходимо одновременно производить мониторинг состояния большого количества спортсменов. Тренеры, спортсмены и врачи должны тщательно следить за тренировочной нагрузкой, оптимизируя спортивные результаты и не допуская явления перетренированности [10, 11]. Для объективной оценки перетренированности или мониторинга переносимости нагрузки может использоваться определение целого ряда гематологических показателей, таких как креатинкиназа, малоновый альдегид, миоглобин, 3-метил-гистидин, скелетный тропонин, а также показатели, характеризующие изменения в энергообмене и нейроэндокринной системе [12–15]. Тем не менее поиск субъективных современных методов контроля переносимости нагрузки представляется актуальным для использования в условиях ограниченных финансовых или организационных ресурсов. Для этой цели в практике подготовки спортсменов используют множество параметров, в том числе включающей в себя оценку уровня воспринимаемой нагрузки с помощью различных модификаций шкал Борга, а также визуально аналоговой шкалы [16].

Простая и доступная для повсеместного использования шкала Борга становится общепринятым методом переносимости нагрузки, хорошо коррелирующим с частотой сердечных сокращений и концентрацией лактата в капиллярной крови [17–21]. Первый вариант шкалы Борга (шкала Борга 6–20) субъективно оценивал уровень нагрузки с помощью числового диапазона от 6 до 20. В настоящее время наиболее часто используется шкала Борга CR10, являющаяся упрощенным вариантом шкалы Борга 6–20. Существует также шкала Борга CR100, которая показала свою эффективность, сопоставимую со шкалой Борга CR10 в определении уровня переносимости нагрузки у профессиональных элитных футболистов [10, 22]. Ограничением исследования оценки воспринимаемой нагрузки с помощью шкалы Борга являются различные стандарты использования данной шкалы спортивными врачами и тренерами, а также субъективность оценки. В международных базах данных можно обнаружить множество исследований с участием взрослых спортсменов с использованием шкалы Борга, однако до сих пор существует дефицит данных при ее использовании среди юных профессиональных спортсменов [23]. Это обуславливает необходимость исследования шкалы Борга CR10 как метода оценки влияния тренировочной нагрузки и ее переносимости на состояние юных футболистов, что является важной составляющей сохранения здоровья спортсмена.

Целью нашего исследования является оценка роли шкалы воспринимаемого усилия Борга CR10 в профилактике травматизма у юных элитных футболистов.

2. Материалы и методы

В исследовании приняли участие 48 юных профессиональных спортсменов 15–17 лет из двух команд на этапе спортивного совершенствования (игроки юношеской

футбольной лиги — 1 (далее ЮФЛ-1) и юношеской футбольной лиги — 2 (далее ЮФЛ-2). В течение всего периода наблюдения участники не менялись. В исследовании также принимали участие три тренера: два тренера команд и один тренер по общей физической подготовке. Шкала Борга CR10 — это числовая шкала, которая колеблется от 0 до 10, где 0 означает «вообще никакого напряжения», а 10 означает «максимальное напряжение». При измерении уровня воспринимаемой нагрузки юный спортсмен выбирал число, которое наилучшим образом, по его субъективному суждению, описывает полученный уровень нагрузки во время физической активности. Тренеры команды также оценивали по данной шкале переносимость тренировки своих подопечных. Оценка проводилась на протяжении семи месяцев, при этом сбор оценок проходил в течение 20 минут после окончания тренировки. Данные о спортсмене, дате заполнения шкалы Борга CR10 и количестве набранных баллов вводились в таблицу Excel на протяжении всего периода исследования и впоследствии использовались медицинским штабом команд юношеской футбольной лиги.

Также был проведен сравнительный ретроспективный анализ травматизма по периодам годового макроцикла юношеской футбольной лиги сезонов 2020–2021/2021–2022. Он проводился на основе подсчета абсолютного количества травм у юных спортсменов за анализируемый период с использованием классификации, основанной на разделении травм на мышечные повреждения, капсульно-связочного аппарата и костные повреждения. Подсчет количества травм проводился на основании соответствия одной травмы одному игроку.

В первом сезоне (2020/2021) оценка переносимости нагрузки у юных футболистов не проводилась, в сезоне же 2021/2022 спортсмены и тренеры регулярно оценивали уровень воспринимаемого усилия с использованием шкалы Борга CR10. Уровень травматизма в течение каждого из сезонов сравнивался в подготовительный этап, обеспечивающий приобретение «спортивной формы» (январь, февраль), соревновательный этап, в котором игроки находятся в наилучшей физической форме, играют максимальное количество игр (март, апрель, май) и переходный этап, обеспечивающий активный отдых, поддерживающий тренированность на определенном уровне (ноябрь, декабрь).

Для статистической обработки использована программа SPSS. Статистическую значимость различий в травматизме между сезонами 2020–2021 и 2021–2022 оценивали с использованием непараметрического критерия Вилкоксона. Сравнение оценок переносимости нагрузки тренерами и игроками за периоды сезона производилась с помощью *t*-критерия Стьюдента. За уровень статистической значимости различий был принят $p < 0,05$.

Исследование не ущемляло права и не подвергало опасности благополучие участников в соответствии

с требованиями биомедицинской этики, предъявляемыми Хельсингской декларацией Всемирной медицинской ассоциации.

3. Результаты

Показатель оценок спортсменов по шкале Борга CR10 в подготовительный, соревновательный и переходный этап соревновательного макроцикла составляет $5,08 \pm 1,28$, $5,00 \pm 1,16$ и $4,67 \pm 1,38$ соответственно. При этом оценка тренера за вышеперечисленные периоды — $4,78 \pm 0,89$, $5,09 \pm 1,05$ и $4,82 \pm 0,99$. Общая оценка игроков и тренеров составляет $5,20 \pm 1,85$ и $4,96 \pm 1$. Кроме того, нет статистически значимых различий между оценкой переносимости нагрузки между игроками и тренерами как за весь сезон ($p = 0,288$), так и в разные периоды. Оцениваемая игроками нагрузка за подготовительный период была выше, чем за переходный ($p < 0,001$). Соревновательный период игроки оценивали выше, чем переходный ($p < 0,001$). При этом тренеры оценивали соревновательный период статистически значимо выше переходного ($p = 0,013$).

На подготовительном этапе количество травм в обоих сезонах было наименьшим (28) по сравнению с переходным (44) и соревновательным (39) этапами. Однако было отмечено большее количество повреждений мышц бедра в сезоне 2020/2021 по сравнению с сезоном 2021/2022 (13 и 4 соответственно) (рис. 1).

На соревновательном этапе обращает на себя внимание большее количество повреждений связочного аппарата голеностопного сустава и мышечных повреждений бедра в сезоне 2020/2021 (10 и 12 случаев соответственно) по сравнению с сезоном 2021/2022, в котором количество повреждений 2 и 6 соответственно. Кроме того, было отмечено снижение травм капсульно-связочного аппарата коленного сустава (5 и 1 соответственно) и повреждений мышц голени (3 до 0 соответственно).

На переходном этапе также было отмечено большее количество повреждений капсульно-связочного аппарата голеностопного сустава и мышечных повреждений бедра в сезоне 2020/2021 (10 и 12 соответственно) по сравнению с сезоном 2021/2022, в котором было только одно повреждение связок голеностопного сустава и шесть повреждений мышц бедра. Та же тенденция сохраняется для повреждений связочного аппарата коленного сустава (3 в сезоне 2020/2021 и 1 в сезоне 2021/2022), а также для повреждений мышц голени и спины.

Рассмотрение структуры травматизма в сезоне 2020/2021 выявило 83 повреждения за семь месяцев. Среди них наиболее часто встречались мышечные повреждения (44,6%) и повреждения капсульно-связочного аппарата (42,2%). В аналогичный период в сезоне 2021/2022 общее количество повреждений снизилось до 28 ($p = 0,028$). В общей же структуре повреждений количество мышечных повреждений было преобладающим (75,0% всех травм), при этом абсолютное количество мышечных травм снизилось с 48 до 21 случая.

На долю повреждений капсульно-связочного аппарата крупных суставов пришлось 25%.

4. Обсуждение

Использование шкалы Борга CR10 является эффективным методом профилактики травм в юношеском футболе, в котором оценка тренировочной нагрузки на организм спортсмена довольно сложна в связи со спецификой данного вида спорта (командный, технически и тактически сложный вид спорта, требующий хорошего функционального состояния спортсмена, выполнения множества ускорений во время одного тренировочного занятия) [24–26].

Анализ травматизма показал, что на подготовительном этапе количество травм наименьшее, что может быть связано с меньшей интенсивностью тренировочных нагрузок.

При анализе структуры травматизма выявляется четкая зависимость в абсолютном уменьшении количества травм в сезоне, где использовалась шкала оценки переносимости нагрузки Борга CR10. Кроме того, повышенное количество травм наблюдается в ситуациях, когда спортсмены оценили интенсивность физических нагрузок выше, чем тренер.

При использовании шкалы Борга CR10 среди как тренеров, так и спортсменов появляется возможность коррекции индивидуального тренировочного процесса спортсмена для достижения оптимального эффекта в микроциклах.

Однако ограничивающим фактором исследования является коррекция тренировочного процесса футболиста не только на основании впервые примененной в группе юных спортсменов шкалы Борга CR10. Совместно с ней исследователи на постоянной основе используют методы оценки мышечной силы с помощью компьютеризированного роботизированного аппарата Biodex, полноценное восстановление и разминку перед тренировками для профилактики травматизма на основании современных научных данных [27, 28]. Необходимо отметить, что субъективное восприятие напряжения юными футболистами может зависеть не только от физической нагрузки, но и от психоэмоционального состояния спортсменов, зачастую не учитываемого тренером [4, 29, 30]. Ограничивающим фактором является и нелинейная многокомпонентная природа травматизма. Причина повышенного травматизма в сезоне 2020–2021 по сравнению с сезоном 2021–2022 может заключаться не только в отсутствии использования шкалы переносимости нагрузки Борга CR10, но и быть обусловлена плохой мышечной силой, некачественным сном и восстановлением, неполноценной разминкой, травмами в анамнезе, игровой позицией и даже недостаточной коммуникацией между тренером и медицинским штабом [31–35]. Случаи, в которых тренер команды и игрок одинаково оценивали тренировку, позволяют предположить, что игрок находится в оптимальной физической

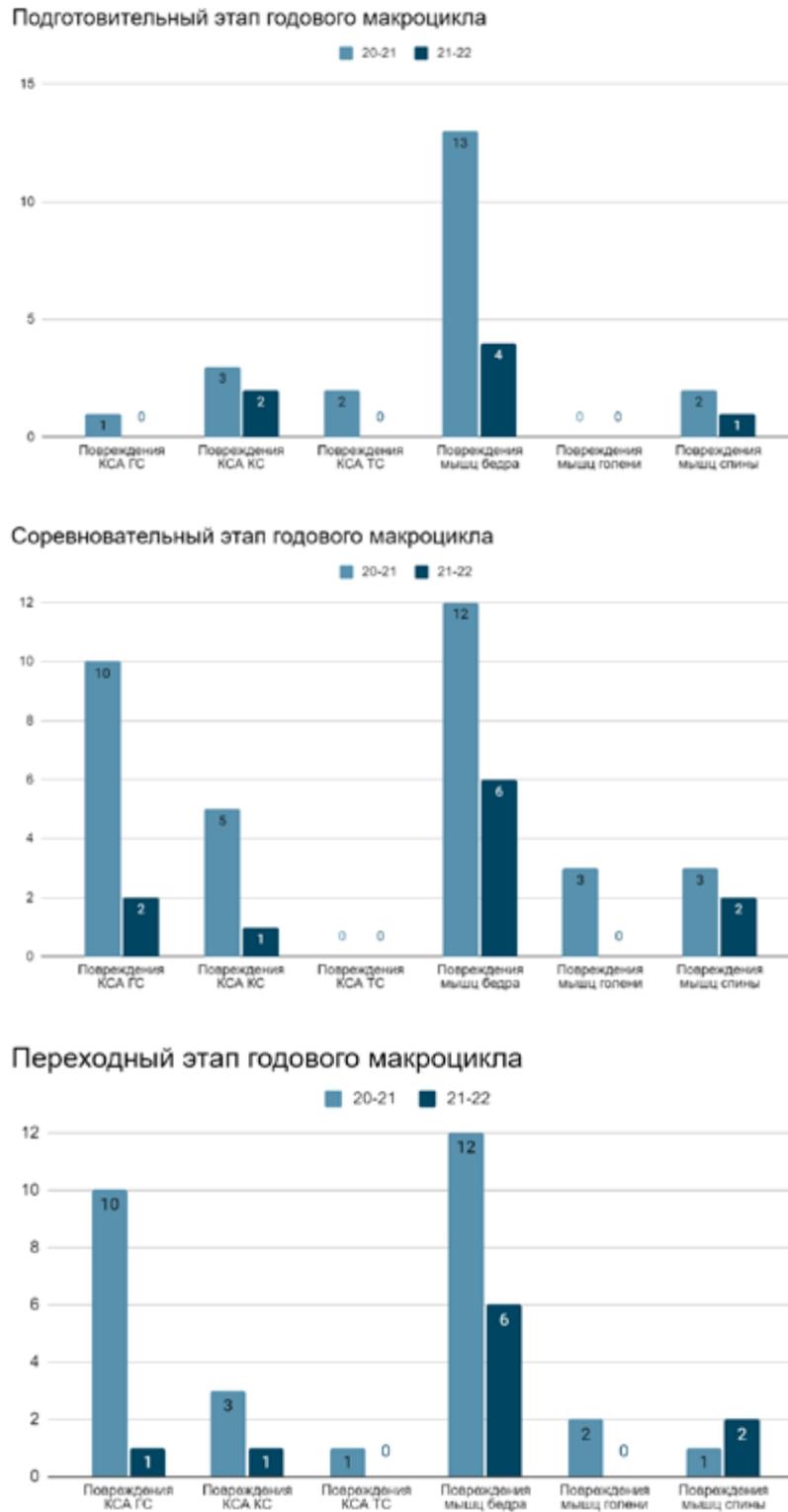


Рис. 1. Сравнительный анализ травматизма в годовом макроцикле ЮФЛ-1 и ЮФЛ-2 сезонов 2020/2021 и 2021/2022 (абсолютная величина)

Fig. 1. A comparative analysis of injuries during 1-year macrocycle in youth football league –1 and youth football league –2 in seasons 2020/2021 and 2021/2022 (absolute value)

Примечание: КСА ГС — капсульно-связочный аппарат голеностопного сустава; КСА КС — капсульно-связочный аппарат коленного сустава; КСА ТС — капсульно-связочный аппарат тазобедренного сустава.

Note: КСА ГС — Capsule-ligamentous apparatus of the ankle joint; КСА КС — capsule-ligamentous apparatus of the knee joint; КСА ТС — capsule-ligamentous apparatus of the hip joint.

форме и нагрузка рассчитана корректно. Более же высокая оценка спортсменом нагрузки по сравнению с оценкой той же нагрузки тренером может свидетельствовать о возможном переутомлении спортсмена, которое является значимым фактором риска травматизма [36–38]. Таким образом, можно предположить, что данная шкала позволяет не только оценить уровень интенсивности тренировочного процесса, но и способствовать снижению уровня травматизма у юных футболистов. Данные о том, что тренировочная перегрузка является одним из факторов, сопряженных с травматизмом, подтверждаются исследованиями самого высокого методологического уровня [39, 40]. Кроме того, в ведущих научных базах данных имеются исследования с сопоставимыми результатами при использовании шкалы переносимости нагрузки Борга CR 10 в группе элитных спортсменов, а также повышенных показателях шкалы Борга после пиковых нагрузок в соревновательный период [41, 42]. Также шкала Борга CR10 была эффективно использована при проведении реабилитационных мероприятий благодаря оценке уровня усталости спортсмена и оптимизации нагрузки в период ее осуществления. Изучение

Вклад авторов:

Борисова Алена Владимировна — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Тахавиева Фарида Вазиховна — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Кузнецова Мария Максимовна — написание текста и редактирование текста, связь с редакцией, сбор и обработка материала, коммуникация с редакцией, утверждение окончательного варианта статьи.

Долгалева Илья Сергеевич — написание текста и редактирование текста, сбор и обработка материала, коммуникация с редакцией, утверждение окончательного варианта статьи.

Преображенский Ярослав Игоревич — написание текста и редактирование текста, сбор и обработка материала, утверждение окончательного варианта статьи.

Шабанова Зумруд Омаровна — написание текста и редактирование текста, сбор и обработка материала, утверждение окончательного варианта статьи.

Малыкина Элина Альбертовна — написание текста и редактирование текста, сбор и обработка материала, утверждение окончательного варианта статьи.

Бутовский Михаил Сергеевич — идея и концепт исследования, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи.

Список литературы/ References

1. Schoenfeld B.J., Grgic J., Ogborn D., Krieger J.W. Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low-vs. High-Load Resistance Training: A Systematic Review and Meta-analysis. *J. Strength Cond. Res.* 2017;31(12):3508–3523. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002200>

этого вопроса должно стать предметом будущих исследований.

К ограничению проведенного исследования следует отнести общую статистику по травмам с контактным механизмом и травмам, связанным с перегрузкой (overuse). Также ограничением исследования является сравнительно небольшая выборка профессиональных юных футболистов.

5. Заключение

Применение шкалы Борга можно рекомендовать в тренировочном процессе у юных футболистов в связи с необходимостью использования быстрых простых неинвазивных методов обследования воспринимаемого усилия для профилактики травматизма в футболе при условии оценки тренировочной нагрузки не только самим футболистом, но и тренером. Ежедневный мониторинг воспринимаемого усилия по шкале Борга CR10 и своевременная коррекция тренировочного процесса позволяют снизить количество повреждений мышечной ткани и капсульно-связочного аппарата крупных суставов.

Authors' contribution:

Alena V. Borisova — concept and design of the research, collection and processing of data, writing and editing of the text, approval of the final version of the article, responsibility for the completeness of all parts of the article.

Farida V. Takhaviyeva — concept and design of the research, collection and processing of data, writing and editing of the text, approval of the final version of the article, responsibility for the completeness of all parts of the article.

Maria M. Kuznetsova — text writing and text editing, communication with editors, data collection, data analysis, approval of the final version of the article.

Ilya S. Dolgalev — text writing and text editing, communication with editors, data collection, data analysis, approval of the final version of the article.

Yaroslav I. Preobrazhensky — text writing and text editing, data analysis, approval of the final version of the article.

Zumrud O. Shabanova — text writing and text editing, data collection, data analysis, approval of the final version of the article.

Ellina A. Malyakina — text writing and text editing, data collection, data analysis, approval of the final version of the article.

Mikhail S. Butovsky — research idea and concept, writing, editing, approval of the final version of the article.

2. Oranchuk D.J., Storey A.G., Nelson A.R., Cronin J.B. Isometric training and long-term adaptations: Effects of muscle length, intensity, and intent: A systematic review. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2019;29(4):484–503. <https://doi.org/10.1111/sms.13375>

3. Calleja-González J., Mielgo-Ayuso J., Miguel-Ortega Á., Marqués-Jiménez D., Del Valle M., Ostojic S.M., Sampaio J., Terrados N., Refoyo I. Post-exercise Recovery Methods Focus

on Young Soccer Players: A Systematic Review. *Front. Physiol.* 2021;12:505149. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.505149>

4. **Хрущев С.В.** Актуальные проблемы детской спортивной медицины. В: Медико-биологическое обеспечение спорта высших достижений. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 24–25 мая 2011 года. Казань: Казанская государственная медицинская академия; 2011, с. 20–24. [**Chrushev S.V.** Actual problems of childrens sport medicine. In: Medico-biological support of sports of highest achievements. Materials of the Russian scientific practical conference, Kazan, May 24–25, 2011. Kazan: Kazan State Medical Academy; 2011, p. 20–24. (In Russ.)].

5. **Bezuglov E., Malyakin G., Emanov A., Malyshev G., Shoshorina M., Savin E., Lazarev A., Morgans R.** Are Late-Born Young Soccer Players Less Mature Than Their Early-Born Peers, Although No Differences in Physical and Technical Performance Are Evident? *Sports (Basel)*. 2023;11(9):179. <https://doi.org/10.3390/sports11090179>

6. **Thorpe R., Atkinson G., Drust B., Gregson W.** Monitoring Fatigue Status in Elite Team Sport Athletes: Implications for Practice. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2017;12(Suppl 2):S227–S234. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0434>

7. **Drew M.K., Finch C.F.** The Relationship Between Training Load and Injury, Illness and Soreness: A Systematic and Literature Review. *Sports Med.* 2016;46(6):861–883. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0459-8>

8. **Eckard T.G., Padua D.A., Hearn D.W., Pexa B.S., Frank B.S.** The Relationship Between Training Load and Injury in Athletes: A Systematic Review. *Sports Med.* 2018;48(8):1929–1961. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0951-z>

9. **Damsted C., Glad S., Nielsen R.O., Sørensen H., Malisoux L.** Is there evidence for an association between changes in training load and running-related injuries? A Systematic Review. *Int. J. Sports Phys. Ther.* 2018;13(6):931–942. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.11.022>

10. **Brink M.S., Frencken W.G., Jordet G., Lemmink K.A.** Coaches' and players' perceptions of training dose: not a perfect match. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2014;9(3):497–502. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0009>

11. **Inoue A., Dos Santos Bunn P., Crivoi do Carmo E., Lat-tari E., Bezerra da Silva E.** Internal Training Load Perceived by Athletes and Planned by Coaches: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med. Open.* 2022;8(1):35. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00420-3>

12. **Petibois C., Cazorla G., Poortmans J.R., Déléris G.** Biochemical aspects of overtraining in endurance sports: a review. *Sports Med.* 2002;32(13):867–878. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232130-00005>; **Rogero M.M., Mendes R.R., Tirapegui J.** Aspectos neuroendócrinos e nutricionais em atletas com overtraining [Neuroendocrine and nutritional aspects of overtraining]. *Arq. Bras. Endocrinol. Metabol.* 2005;49(3):359–368. <https://doi.org/10.1590/s0004-27302005000300006>

13. **Simmons R., Doma K., Sinclair W., Connor J., Leicht A.** Acute Effects of Training Loads on Muscle Damage Markers and Performance in Semi-elite and Elite Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med.* 2021;51(10):2181–2207. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01486-x>

14. **Безуглов Э.Н., Шошорина М.С., Талибов О.Б.** Выраженность и динамика изменения сывороточной концентрации биохимических маркеров повреждения мышечной ткани у опытного ультрамарафонца после преодоления дистанции 165 км на фоне сохраняющейся физической нагрузки. Спор-

тивная медицина: наука и практика. 2023;13(2):13–17. [**Bezuglov E.N., Shoshorina M.S., Talibov O.B.** The severity and dynamics of changes in the serum concentration of biochemical markers of muscle tissue damage in an experienced ultramarathon runner after overcoming a distance of 165 km against the background of continuing physical activity. *Sports medicine: research and practice.* 2023;13(2):13–17. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.2.7>

15. **Хайтин В.Ю., Матвеев С.В., Гришин М.Ю.** Уровень креатинфосфокиназы крови как критерий восстановления у профессиональных футболистов в соревновательном периоде. Спортивная медицина: наука и практика. 2018;8(4):22–27. [**Khaitin V.Yu., Matveev S.V., Grishin M.Yu.** The level of serum creatine phosphokinase as a criterion of recovery in professional soccer players during the competitive period. *Sports medicine: research and practice.* 2018;8(4):22–27. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2018.4.22>

16. **Capodaglio E.M.** Comparison between the CR10 Borg's scale and the VAS (visual analogue scale) during an arm-cranking exercise. *J. Occup. Rehabil.* 2001;11(2):69–74. <https://doi.org/10.1023/a:1016649717326>

17. **Foster C., Boulosa D., McGuigan M., Fusco A., Cortis C., Arney B.E., et al.** 25 Years of Session Rating of Perceived Exertion: Historical Perspective and Development. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2021;16(5):612–621. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0599>

18. **Arney B.E., Glover R., Fusco A., Cortis C., de Koning J.J., van Erp T., Jaime S., Mikat R.P., Porcari J.P., Foster C.** Comparison of RPE (Rating of Perceived Exertion) Scales for Session RPE. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2019;14(7):994–996. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0637>

19. **Mann R.H., Williams C.A., Clift B.C., Barker A.R.** The Validation of Session Rating of Perceived Exertion for Quantifying Internal Training Load in Adolescent Distance Runners. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2019;14(3):354–359. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0120>

20. **Bok D., Rakovac M., Foster C.** An Examination and Critique of Subjective Methods to Determine Exercise Intensity: The Talk Test, Feeling Scale, and Rating of Perceived Exertion. *Sports Med.* 2022;52(9):2085–2109. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01690-3>

21. **Kozina Z.L., Iermakov S.S., Kadutskaya L.A., Sobyainin F.I., Krzeminski M., Sobko I.N., Ryepko O.A.** Comparative characteristic of correlation between pulse subjective indicators of girl students' and school girls' reaction to physical load. *Physical Education of Students.* 2016;20(4):24–34. <https://doi.org/10.15561/20755279.2016.0403>

22. **Fanchini M., Ferraresi I., Modena R., Schena F., Coutts A.J., Impellizzeri F.M.** Use of CR100 Scale for Session Rating of Perceived Exertion in Soccer and Its Interchangeability With the CR10. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2016;11(3):388–392. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0273>

23. **Rebello A., Pereira J.R., Martinho D.V., Valente-Dos-Santos J.** Rating of Perceived Exertion in Professional Volleyball: A Systematic Review. *J. Hum. Kinet.* 2023;87:143–155. <https://doi.org/10.5114/jhk/161614>

24. **Bortnik L., Bruce-Low S., Burger J. A., Alexander J., Harper D., Morgans R., Carling C., McDaid K., Rhodes D.** Physical match demands across different playing positions during transitional play and high-pressure activities in elite soccer. *Biol. Sport.* 2024;41(2):73–82. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2024.131815>

25. **Morgans R., Bezuglov E., Orme P., Burns K., Rhodes D., Babraj J., Di Michele R., Oliveira R.** The Physical Demands of

Match-Play in Academy and Senior Soccer Players from the Scottish Premiership. *Sports*. 2022;10(10):150. <https://doi.org/10.3390/sports10100150>

26. **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(Suppl 1):1–13. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01108.x>

27. **Liporaci R.F., Yoshimura S., Baroni B.M.** Perceptions of Professional Football Players on Injury Risk Factors and Prevention Strategies. *Sci. Med. Footb.* 2022;6(2):148–152. <https://doi.org/10.1080/24733938.2021.1937689>

28. **Bezuglov E., Lazarev A., Khaitin V., Chegin S., Tikhonova A., Talibov O., Gerasimuk D., Waszkiewicz Z.** The Prevalence of Use of Various Post-Exercise Recovery Methods after Training among Elite Endurance Athletes. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021;18(21):11698. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111698>

29. **Thorpe R., Atkinson G., Drust B., Gregson W.** Monitoring Fatigue Status in Elite Team Sport Athletes: Implications for Practice. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2017;12(Suppl 2):227–234. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2016-0434>

30. **Van Cutsem J., Marcora S., De Pauw K., Bailey S., Meeusen R., Roelands B.** The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance: A Systematic Review. *Sports Med.* 2017;47(8):1569–1588. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0672-0>

31. **Ekstrand J., Lundqvist D., Davison M., D'Hooghe M., Pensaard A.M.** Communication quality between the medical team and the head coach/manager is associated with injury burden and player availability in elite football clubs. *Br. J. Sports Med.* 2019;53(5):304–308. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099411>

32. **Krutsch W., Lehmann J., Jansen P., Angele P., Fellner B., Achenbach L., Krutsch V., Nerlich M., Alt V., Loose O.** Prevention of severe knee injuries in men's elite football by implementing specific training modules. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2020;28(2):519–527. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05706-w>

33. **Bizzini M., Dvorak J.** FIFA 11+: an effective programme to prevent football injuries in various player groups worldwide—a narrative review. *Br. J. Sports Med.* 2015;49(9):577–579. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094765>

34. **Mandorino M., Figueiredo A.J., Gjaka M., Tessitore A.** Injury incidence and risk factors in youth soccer players: a sys-

tematic literature review. Part II: Intrinsic and extrinsic risk factors. *Biol. Sport*. 2023;40(1):27–49. <https://doi.org/10.5114/biol-sport.2023.109962>

35. **Бутовский М.С., Малякин Г.И., Капралова Е.С., Вахидов Т.М., Королева Е.Д.** Взаимосвязь между нарушениями сна и травматизмом у молодых элитных футболистов. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2023;13(3):5–11. [Butovskiy M.S., Malyakin G.I., Kapralova E.S., Vakhidov T.M., Koroleva E.D. Sleep disorders and their relation to injuries among young elite soccer players. *Sports medicine: research and practice*. 2023;13(3):5–11. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.1>

36. **Drew M.K., Finch C.F.** The Relationship Between Training Load and Injury, Illness and Soreness: A Systematic and Literature Review. *Sports Med.* 2016;46(6):861–883. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0459-8>

37. **Eckard T.G., Padua D.A., Hearn D.W., Pexa B.S., Frank B.S.** The Relationship Between Training Load and Injury in Athletes: A Systematic Review. *Sports Med.* 2018;48(8):1929–1961. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0951-z>

38. **Damsted C., Glad S., Nielsen R.O., Sørensen H., Malisoux L.** Is there evidence for an association between changes in training load and running-related injuries? A Systematic Review. *Int. J. Sports Phys. Ther.* 2018;13(6):931–942. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.11.022>

39. **Drew M.K., Finch C.F.** The Relationship Between Training Load and Injury, Illness and Soreness: A Systematic and Literature Review. *Sports Med.* 2016;46(6):861–883. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0459-8>

40. **Jiang Z., Hao Y., Jin N., Li Y.** A Systematic Review of the Relationship between Workload and Injury Risk of Professional Male Soccer Players. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022;19(20):13237. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013237>

41. **Rago V., Vigh-Larsen J.F., Deylami K., Muschinsky A., Mohr M.** Use of Rating of Perceived Exertion-Based Training Load in Elite Ice Hockey Training and Match-Play. *J. Strength Cond. Res.* 2022;36(10):2837–2843. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003915>

42. **Clemente F.M., Rabbani A., Araújo J.P.** Ratings of perceived recovery and exertion in elite youth soccer players: Interchangeability of 10-point and 100-point scales. *Physiol. Behav.* 2019;210:112641. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.112641>

Информация об авторах:

Борисова Алена Владимировна, к.м.н., доцент кафедры реабилитации и спортивной медицины ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет», Россия, Казань, 420012, ул. Бултерова, 49. ORCID: 0000-0002-6786-0510 (doc-borisova@bk.ru)

Тахавиева Фарида Вазиховна, д.м.н., профессор, заведующая кафедрой реабилитации и спортивной медицины ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет», Россия, Казань, 420012, ул. Бултерова, 49; ORCID: 0000-0002-7387-8944 (fartah@list.ru)

Кузнецова Мария Максимовна, студентка 5-го курса ИКМ им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, Москва, 119048, ул. Трубецкая, 8; ORCID: 0000-0001-9411-9472 (maria.maksimovna.kuznetsova@gmail.com)

Долгалев Илья Сергеевич, студент 5-го курса ИКМ им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России» (Сеченовский Университет), Россия, Москва, 119048, ул. Трубецкая, 8; ORCID: 0009-0001-5910-3413 (Idolgaliev@mail.ru)

Преображенский Ярослав Игоревич, студент 6-го курса ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Минздрава России», Россия, Ярославль, 150000, ул. Революционная, 5; ORCID: 0000-0002-7622-2123 (yasix23@mail.ru)

Шабанова Зумруд Омаровна, студентка 6-го курса ИКМ им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, Москва, 119048, ул. Трубецкая, 8; ORCID: 0009-0001-4926-8986 (zumrud.shabanova2000@gmail.com)

Малякина Элина Альбертовна, ординатор 2-го года по специальности пластическая хирургия ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского», Россия, Москва, 119991, Абрикосовский пер., 2; ORCID: 0000-0002-6433-9068 (golieva133@yandex.ru)

Бутовский Михаил Сергеевич, к.м.н., ассистент кафедры реабилитации и спортивной медицины ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет», Россия, Казань, 420012, ул. Бутлерова, 49; руководитель медицинского департамента футбольного клуба «Рубин», Россия, Казань, 420127, ул. Копылова, 2; ORCID: 0000-0003-1295-9457 (dr mike81@inbox.ru)

Information about authors

Alena V. Borisova, Ph.D., Associate Professor of the Department of Rehabilitation and Sports medicine, Kazan State Medical University, Russia, Kazan, 420012, Butlerova St., 49. ORCID: 0000-0002-6786-0510 (doc-borisova@bk.ru)

Farida V. Takhavieva, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Rehabilitation and Sports medicine, Kazan State Medical University, Russia, Kazan, 420012, Butlerova St., 49; ORCID: /0000-0002-7387-8944 (fartah@list.ru).

Maria M. Kuznetsova, 5th year student of Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Russia, Moscow, 119048, 8, Trubetskaya St.; ORCID: 0000-0001-9411-9472 (maria.maksimovna.kuznetsova@gmail.com)

Илья S. Dolgalev, 5th year student of Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Russia, Moscow, 119048, 8, Trubetskaya St.; ORCID: 0009-0001-5910-3413 (Idolgalev@mail.ru)

Yaroslav I. Preobrazhensky, 6th year student of Yaroslavl State Medical University, Russia, Yaroslavl, 150000, 5, Revolutionary str.; ORCID: 0000-0002-7622-2123 (yasix23@mail.ru)

Zumrud O. Shabanova, 6th year student of Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Russia, Moscow, 119048, 8, Trubetskaya St.; ORCID: 0009-0001-4926-8986 (zumrud.shabanova2000@gmail.com)

Ellina A. Malyakina, 2nd year Resident of Petrovsky National Research Centre of Surgery, Russia, Moscow, 119435, 2, Abrikosovky Lane; ORCID: 0000-0002-6433-9068 (golieva133@yandex.ru)

Mikhail S. Butovsky, Ph.D. (Medicine), Assistant of the Department of Rehabilitation and Sports medicine, Kazan State Medical University, Russia, Kazan, 420012, Butlerova St., 49; Head of the Medical Department of Rubin Football Club, Russia, Kazan, 420127, Kopylova St., 2; ORCID: 0000-0003-1295-9457 (dr mike81@inbox.ru)

Влияние дыхательного упражнения йоги «уддияна» на показатели кровотока в краевом синусе

А.В. Фролов^{1,*}, С.А. Ермолаева¹, М.Д. Дидур²

¹ ООО «Санкт-Петербургский институт восточных методов реабилитации», Санкт-Петербург, Россия

² ФБГУН «Институт мозга человека им. Н.П. Бехтерева Российской академии наук», Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель: изучение влияния дыхательного упражнения йоги «уддияна бандха» (УБ) на параметры кровотока в краевом синусе (КС).

Материалы и методы: В исследовании приняли участие 16 человек, у которых в положении сидя оценивался кровоток в КС на фоне свободного дыхания, во время произвольного экспираторного апноэ (ПЭА) продолжительностью 5 секунд и во время выполнения УБ (продолжительностью 5 секунд). Выполнялась регистрация максимальной скорости кровотока (V_{max}), усредненной по времени максимальной скорости V_{mean} и индекса фазности (ИФ).

Результаты: V_{max} после ПЭА (2-й этап) в течение 5 секунд не показала значимых различий по сравнению со свободным дыханием (1-й этап); в течение 5 секунд выполнения УБ (3-й этап) была значимо выше исходного (1-й этап), $p < 0,001$, а также выше ПЭА после глубокого выдоха (2-й этап), $p < 0,001$. V_{mean} после ПЭА (2-й этап) в течение 5 секунд была без значимых различий по сравнению со свободным дыханием (1-й этап). В течение 5 секунд выполнения УБ (3-й этап) V_{mean} была выше исходного (1-й этап), $p < 0,001$, а также выше ПЭА (2-й этап), $p < 0,009$. На фоне свободного дыхания (1-й этап) и ПЭА (2-й этап) значения ИФ были без значимых различий по сравнению с УБ (3-й этап).

Выводы: Дыхательное упражнение УБ увеличивает максимальную линейную скорость кровотока V_{max} и усредненную по времени максимальную скорость кровотока V_{mean} в КС, что может указывать на активизацию церебрального венозного оттока во время выполнения упражнения. УБ не оказывает значимого влияния на показатели фазности кровотока в КС.

Ключевые слова: венозный отток, краевой синус, йога, дыхательные упражнения, дуплексное сканирование

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: авторы выражают глубокую благодарность профессору, д.м.н. В.П. Куликову и заведующей отделением гематологии СЗГМУ Е.С. Павлюченко за неоценимую помощь в проведении этой работы, а также всем волонтерам, принявшим участие в настоящем исследовании.

Для цитирования: Фролов А.В., Ермолаева С.А., Дидур М.Д. Влияние дыхательного упражнения йоги «уддияна» на показатели кровотока в краевом синусе. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(1):41–49. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.4>

Поступила в редакцию: 23.04.2024

Принята к публикации: 17.07.2024

Online first: 07.08.2024

Опубликована: 26.08.2024

* Автор, ответственный за переписку

Influence of the yoga breathing exercise “uddiyana” on blood flow in the marginal sinus

Artem V. Frolov^{1*}, Sargylana A. Ermolaeva¹, Michael D. Didur²

¹ St. Petersburg Institute of Oriental Rehabilitation Methods, St. Petersburg, Russia

² Bekhtereva Human Brain Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT

Purpose: Studying the effect of the Uddiyana Bandha (UB) yoga breathing exercise on blood flow in the marginal sinus (MS).

Materials and methods: The study involved 16 people in whom blood flow in the MS was assessed against the background of free breathing, during voluntary expiratory apnea (VEA) — 5 seconds, and during UB — 5 seconds. The maximum blood flow velocity (V_{max}), the time-averaged maximum velocity V_{mean} , and the index phase character (IP) were recorded.

Results: When recording V_{max} during VEA (stage 2) for 5 seconds, it did not show significant differences compared to free breathing (stage 1); within 5 seconds of execution, the UB (stage 3) was significantly higher than the baseline (stage 1), $p < 0.001$, and also higher than the VEA (stage 2), $p < 0.001$. V_{mean} PEA (stage 2) for 5 seconds was without significant differences compared to free breathing (stage 1). During 5 seconds of UB execution (stage 3), V_{mean} was higher than the baseline (stage 1), $p < 0.001$, and also higher than VEA (stage 2), $p < 0.009$. Against the background of free breathing (stage 1) and PEA (stage 2), the values of IP and were without significant differences compared to UB (stage 3).

Conclusions: The UB breathing exercise increases the maximum linear blood flow velocity V_{max} and the time-averaged maximum blood flow velocity V_{mean} in the MS, which may indicate activation of cerebral venous outflow during the exercise.

Keywords: venous outflow, marginal sinus, yoga, breathing exercises, duplex sonography

Acknowledgements: the authors express their deep gratitude to professor, D.Sc. (Medicine) V.P. Kulikov and chief of the Hematology Department of the North-Western State Medical University E.S. Pavlyuchenko for their invaluable assistance in carrying out this work, as well as to all the volunteers who took part in this study.

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

For citation: Frolov A.V., Ermolaeva S.A., Didur M.D. Influence of the yoga breathing exercise “uddiyana” on blood flow in the marginal sinus. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(1):41–49. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.4>

Received: 23 April 2024

Accepted: 17 July 2024

Online first: 07 August 2024

Published: 26 August 2024

*Corresponding author

1. Введение

Уддияна бандха (далее — уддияна) — дыхательное упражнение йоги, выполняемое путем произвольного экспираторного апноэ (ПЭА) после полного выдоха. Относится к динамическим дыхательным упражнениям, обычно выполняемым стоя или сидя, и представляет собой скоординированное с дыханием глубокое втягивание расслабленных мышц брюшного пресса и всей абдоминальной области дорсально и краниально (назад и вверх под ребра) за счет сокращения наружных межреберных мышц при сомкнутой голосовой щели (рис. 1). Начиная с первой половины XX века сотрудниками института «Кайвальядхам» (Лонавль, Индия) осуществлен ряд исследовательских работ, оценивающих изменения давления в полостях тела и подтверждающих развитие отрицательного давления во время выполнения уддияны и аналогичных динамических дыхательных упражнений [1–6]. В работах Bhole и соавт. развитие отрицательного давления при выполнении уддияны было одновременно зарегистрировано в пищеводе, желудке, толстой кишке [7].

Одним из основных механизмов венозного возврата является присасывающее действие грудной клетки

на вдохе. Во время вдоха увеличивается внутренний объем грудной клетки и происходит снижение центрального венозного давления, приводящее к увеличению градиента между дистальными отделами венозного русла и устьями верхней и нижней полых вен. В результате происходит усиление возврата венозной крови к сердцу, уменьшение перегрузки объемом венозного русла. Увеличение венозного кровотока на вдохе особенно выражено в верхней полой вене [8].

Можно предполагать, что выполнение динамического дыхательного упражнения «уддияна», сопровождающееся формированием отрицательного давления в полости грудной клетки, оказывает на процессы венозного оттока действие, аналогичное вдоху, и улучшает процессы венозного возврата (в том числе церебрального); данный тезис может лечь в основу дальнейшей разработки методик респираторной реабилитации при нарушениях венозного оттока, а также способствовать лучшему пониманию взаимосвязей дыхания и венозной циркуляции.

Результаты исследований с применением функциональной магнитно-резонансной томографии показывают, что режим дыхания влияет на скоростные параметры кровотока во внутренних яремных венах и верхнем



Рис. 1. Выполнение упражнения «уддияна»
Fig. 1. Performing the “uddiyana” exercise

сагиттальном синусе головного мозга. Поскольку эффективный венозный дренаж имеет основополагающее значение для здоровья мозга в условиях нормы и патологии [9, 24], исследователи могут использовать эти данные для изучения влияния дыхательных упражнений на клинические показатели и венозный отток.

В исследовании Stolz и соавт. с участием здоровых добровольцев во внутричерепных венах и синусах отмечался слабопульсирующий кровоток с максимальной систолической скоростью кровотока до 20 см/с. Достоверных побочных различий скорости кровотока в парных венозных структурах выявлено не было. Прямой синус, поперечный синус и ростральную часть верхнего сагиттального синуса можно было обнаружить в 55–70% случаев. Частота обнаружения зависели от возраста — она снижалась по мере его увеличения. В результате авторы делают вывод о том, что транскраниальная доплерография позволяет надежно визуализировать значительную часть церебральной венозной системы [10]. Глубокое дыхание связывает взаимозависимый венозный и мозговой поток жидкости, что, скорее всего, опосредовано изменениями внутригрудного и внутрибрюшного давления [11].

Важнейшую роль в процессах церебрального венозного оттока играют синусы твердой мозговой оболочки. На данный момент подробно описана методика ультразвукового сканирования основных венозных синусов — прямого, поперечного, нижнего каменистого и сфенопариетального [12, 13], установлены нормальные значения показателей кровотока [14, 15].

Ультразвуковая идентификация краевых синусов (КС), обрамляющих полукольцом большое затылочное

отверстие, в меньшей степени отражена в специальной литературе [17]. Морфологические исследования в сочетании с магнитно-резонансной флебографией продемонстрировали, что правый и левый КС в 70% случаев не формируют циркулярный синус — наиболее вероятно, вследствие ненаполненности, так как в целом их наличие было зафиксировано в 83,3% случаев. Особенностью КС является дренаж крови преимущественно в вертебральную венозную систему, а не в югулярную [18].

Сонографические показатели кровотока в КС изучены и продемонстрированы отечественными исследователями [17]. Частота визуализации КС составила от 20% (у здоровых участников контрольной группы) до почти 55% у пациентов с черепно-мозговой травмой (ЧМТ), которым исследование проводилось из трансоксипитального доступа в положении лежа на животе. Средние показатели максимальной линейной скорости кровотока V_{max} составили 16 см/сек (контрольная группа здоровых) и 18 см/сек (группа пациентов с ЧМТ).

На сегодня отсутствуют исследования, изучающие влияние уддияны (и других дыхательных упражнений йоги) на церебральный венозный отток. Предлагаемая методика выполнения дыхательного упражнения потенциально может рассматриваться как элемент респираторной реабилитационной методики, направленно воздействующей на параметры церебральной венозной циркуляции. Исследование может дать важную информацию о влиянии дыхательных упражнений йоги на венозное кровообращение мозга и улучшить понимание взаимосвязей процессов дыхания и венозного возврата,

что может быть востребовано широким кругом специалистов в области реабилитации, физиологии и функциональной диагностики.

2. Материалы и методы

В исследовании изначально приняли участие 20 человек, считающих себя здоровыми, не курящих и не принимающих никаких фармакологических препаратов на постоянной основе. Из них кровотоков в краевом синусе определялся у 16 участников, которые и составили группу исследования. Средний возраст участников составил $42,1 \pm 5,4$ (95% ДИ 39,3–45,0) года. Участники имели опыт регулярной практики дыхательных упражнений йоги не менее 2 лет, в том числе опыт выполнения упражнения «уддияна».

Каждый из них был обследован в соответствии со стандартным протоколом исследования брахиоцефальных сосудов для исключения патологии, аномалий развития и венозной дисциркуляции. Наличие признаков венозной дисциркуляции [19] расценивалось как критерий исключения.

Регистрация кровотока методом дуплексного сканирования проводилась с использованием ультразвукового

сканера VIVID-T8 производства компании General Electric (США). Регистрация кровотока в краевом синусе выполнялась из трансокципитального доступа секторным фазированным датчиком 2–4 МГц.

Положение обследуемого: сидя на кушетке, ноги опущены (рис. 2).

Регистрация кровотока проводилась на фоне свободного дыхания (контроль 1), ПЭА после глубокого выдоха (в течение 5 секунд выполнения) (контроль 2), при выполнении испытуемым дыхательной техники йоги «уддияна» (в течение 5 секунд выполнения).

Последовательность из трех описанных выше этапов проводилась трехкратно, после чего рассчитывались средние данные по каждому из этапов.

Этап 2 (ПЭА после глубокого выдоха) был использован для разделения влияний гемодинамических эффектов упражнения «уддияна» и возможных гиперкапнических эффектов задержки дыхания, так как ранее было показано, что гиперкапния вызывает увеличение линейной скорости венозного кровотока [20].

Оценивалась максимальная линейная скорость кровотока V_{\max} (см/сек), усредненная по времени максимальная скорость кровотока V_{mean} (пример зарегистрированного спектра на рис. 3), а также индекс фазности (ИФ), рассчитываемый по формуле:

$$\text{ИФ} = (V_{\max} - V_{\min}) / V_{\max},$$

где V_{\max} — максимальная скорость; V_{\min} — минимальная скорость венозного кровотока на анализируемом участке спектра.

Описание методов статистического анализа

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.0.7 («Статтех», Россия). Количественные показатели оценивали на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро — Уилка. Для сравнения трех и более связанных групп по нормально распределенному количественному признаку применялся однофакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями. Статистическая значимость изменений показателя в динамике оценивалась с помощью следа Пиллая (Pillai's Trace). Апостериорный анализ проводился с помощью парного t -критерия Стьюдента с поправкой Холма.

Соблюдение этических норм

Исследование одобрено Этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета в области исследований с привлечением людей (№ 02–254 от 04.10.2023 г.).

3. Результаты

Динамика изменения V_{\max}

Максимальная линейная скорость кровотока V_{\max} , усредненная по времени максимальная скорость V_{mean}

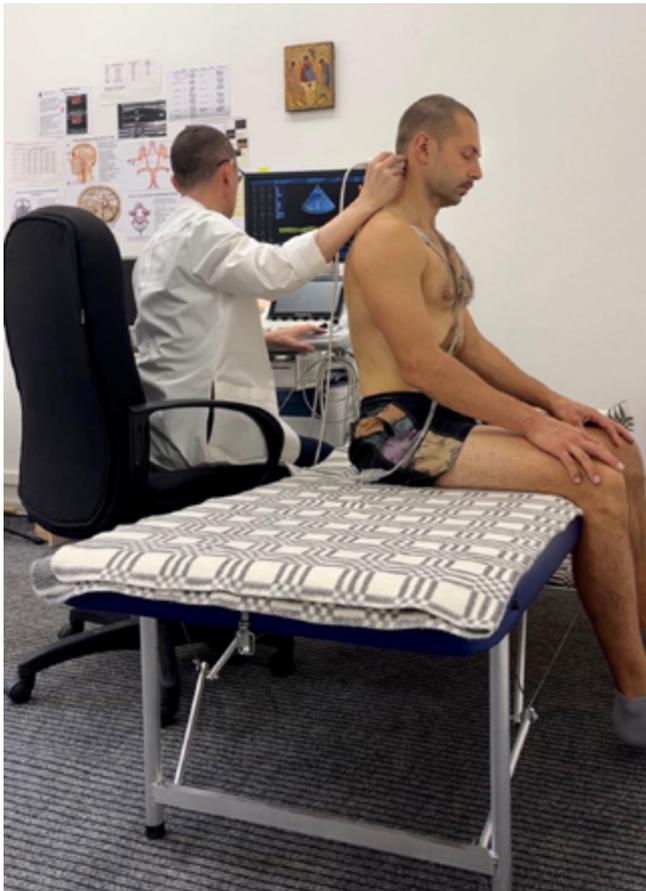


Рис. 2. Положение участника при выполнении упражнения «уддияна»
 Fig. 2. Position of the participant during performing the “uddiyana” exercise

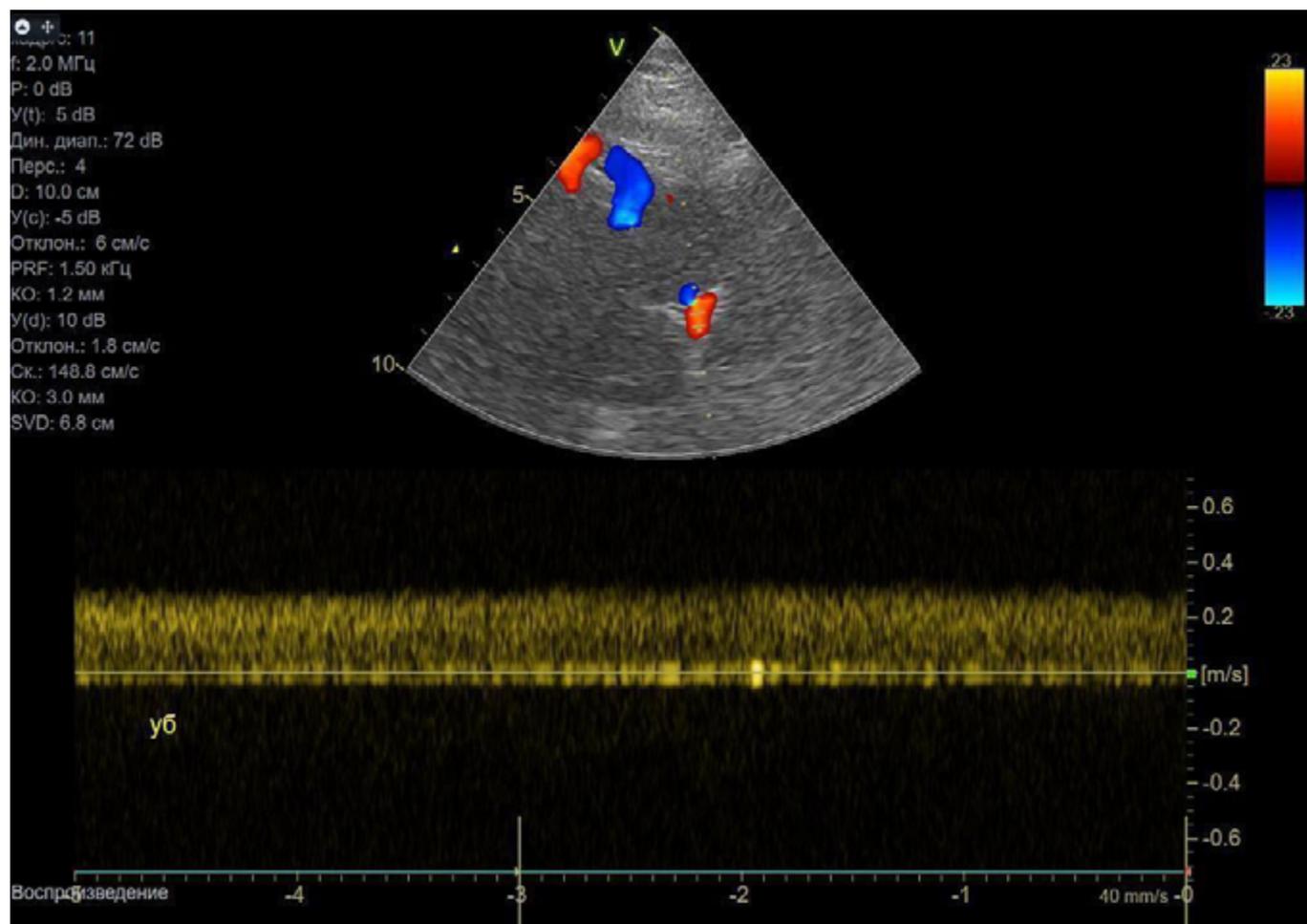


Рис. 3. Регистрация кровотока в КС во время выполнения упражнения «уддияна»
Fig. 3. Registration of blood flow in the marginal sinus during the “uddiyana” exercise

и индекс фазности (ИФ) оценивались во время свободного дыхания (1-й этап), при ПЭА при глубоком выдохе, время фиксации — 5 секунд (2-й этап), и при выполнении упражнения «уддияна», время фиксации — 5 секунд (3-й этап).

При регистрации после глубокого выдоха (2-й этап) в течение 5 секунд V_{max} не демонстрировала статистически значимых различий по сравнению с исходным свободным дыханием (1-й этап). В течение 5 секунд выполнения упражнения «уддияна» (3-й этап) V_{max} статистически значимо увеличилась выше исходного (1-й этап), $p < 0,001$, а также ПЭА после глубокого выдоха (2-й этап), $p < 0,001$ (рис. 4).

Динамика V_{mean}

Во время ПЭА на фоне глубокого выдоха (2-й этап) в течение 5 секунд V_{mean} оставалась без изменений по сравнению с исходным свободным дыханием (1-й этап). В течение 5 секунд выполнения упражнения «уддияна» (3-й этап) V_{mean} была выше исходного (1-й этап), $p < 0,001$, а также задержки после глубокого выдоха (2-й этап), $p < 0,009$.

Динамика ИФ

В течение 5 секунд выполнения упражнения «уддияна» (3-й этап) значения ИФ оставался без изменений относительно исходного (1-й этап), а также ПЭА после глубокого выдоха (2-й этап).

Обобщение результатов в количественном выражении представлено в таблице.

4. Обсуждение

Согласно предшествующим исследованиям, кровоток в краевом синусе определяется в 20% случаев у здоровых обследуемых; у пациентов с ЧМТ этот показатель составлял почти 55% [17]. В проведенном исследовании частота визуализации и возможность идентификации скоростных параметров кровотока в КС у здоровых были существенно выше: их удалось определить у 16 из 20 участников (80%). Столь существенную разницу данных можно объяснить тем, что в отличие от ранее проведенных исследований, регистрация кровотока проводилась не в стандартном положении (лежа на животе), а в положении сидя, что значительно меняет пути церебрального венозного оттока. В положении лежа

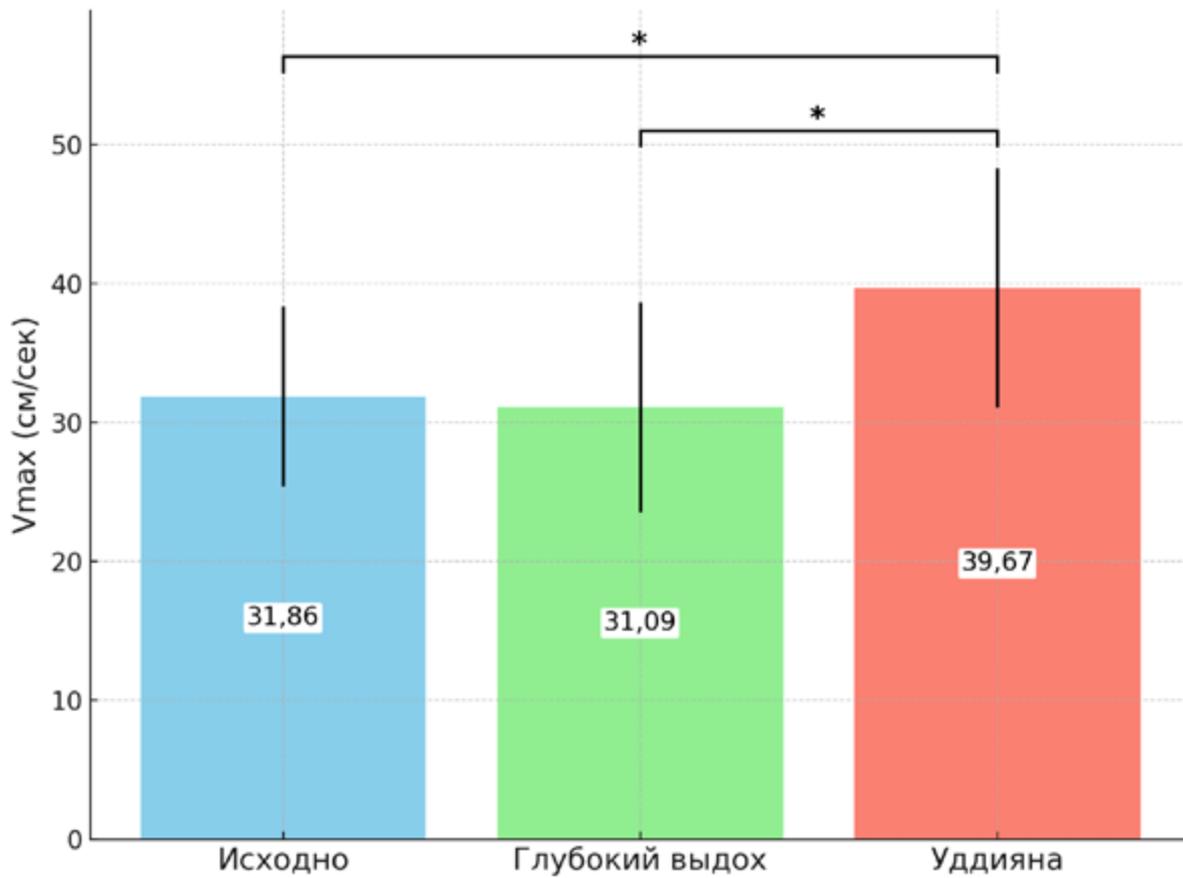


Рис. 4. Анализ динамики показателя V_{\max} : * — $p \leq 0,001$
 Fig. 4. Analysis of the dynamics of the V_{\max} indicator: * — $p \leq 0.001$

Таблица

Анализ динамики всех показателей

Table

Analysis of the dynamics of all indicators

Показатель	Этапы наблюдения			p
	Исходно (1)	Глубокий выдох (2)	Уддияна (3)	
	M ± SD (95% ДИ)	M ± SD (95% ДИ)	M ± SD (95% ДИ)	
V_{\max} (см/сек)	31,86 ± 12,16 (25,38–38,34)	31,09 ± 14,17 (23,54–38,64)	39,67 ± 16,16 (31,06–48,29)	< 0,001* $p_{2-3} < 0,001$ $p_{1-3} < 0,001$
V_{mean} (см/сек)	29,13 ± 10,12 (23,74–34,53)	28,66 ± 12,43 (22,04–35,28)	34,51 ± 12,13 (28,04–40,98)	< 0,001* $p_{2-3} = 0,009$ $p_{1-3} < 0,001$
ИФ, у. е.	0,20 ± 0,07 (0,17–0,24)	0,23 ± 0,08 (0,19–0,27)	0,23 ± 0,08 (0,19–0,27)	0,065

Примечание: * — различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$).
 Note: * — differences in indicators are statistically significant ($p < 0.05$).

у человека основным путем церебрального венозного оттока являются внутренние яремные вены. В вертикальном положении расположение этих вен выше уровня сердца приводит к их спадению. Альтернативным путем мозгового оттока является позвоночное венозное сплетение, и в вертикальном положении церебральный венозный отток происходит преимущественно через него [21]. Так как КС является частью дренажного тракта, направленного преимущественно в позвоночную, а не в югулярную венозную систему [18], то в вертикальном положении тела по сравнению с горизонтальным частота выявления кровотока в КС ожидаемо выше. Вероятно, с положением тела связана также разница показателя V_{max} в горизонтальном положении. У здоровых участников в исследовании Dicheskul и соавт. средние значения V_{max} составили 16,0 см/сек [17], а в проведенном исследовании (вертикальное положение) средние значения V_{max} по группе составили 31,86 см/сек. Ранее Dicheskul и соавт. отмечали, что при переходе в вертикальное положение максимальная скорость кровотока в позвоночных венах увеличивается вдвое [22], что в определенной степени согласуется с полученными результатами.

На 2-м этапе исследования (ПЭА 5 секунд после глубокого выдоха) скоростные показатели кровотока V_{max} и V_{mean} по сравнению с 1-м этапом (свободное дыхание) существенно не менялись. Средняя пиковая скорость кровотока в базальных венах возрастает при гиперкапнической пробе [20], однако в проведенном исследовании увеличения скоростных показателей при задержке дыхания не наблюдалось, что может свидетельствовать о том, что задержка дыхания в течение пяти секунд не оказывает гиперкапнических эффектов на церебральный венозный отток (во всяком случае, в КС).

При аналогичной по длительности ПЭА во время выполнения упражнения «уддияна» (3-й этап) V_{max} и V_{mean} статистически значимо возросли по сравнению с исходным свободным дыханием. Это может указывать на гемодинамические эффекты данного упражнения, независимые от гиперкапнических эффектов и изменений гомеостаза под влиянием ПЭА.

Используемый в данной работе показатель усредненной по времени максимальной скорости кровотока V_{mean} аналогичен ранее применяемому в оценке артериального кровотока ТАМАХ, и это понятие ранее неоднократно применялось в научных работах, посвященных оценке церебрального венозного оттока [17, 22, 23].

Индекс резистентности (ИР), в рутинной сонографической практике используемый для оценки периферического сосудистого сопротивления артериального русла, описан и для основных венозных сосудов и синусов. В работах на здоровых лицах для прямого, поперечного и верхнего сагиттального синуса средние значения RI составили $0,30 \pm 0,09$ [10]. Однако ИР отражает

физиологические параметры, связанные в первую очередь с сосудистым сопротивлением мелких резистивных артерий в бассейне конкретной артерии. В венозных же сосудах фазность скорости кровотока обусловлена рядом других механизмов — респираторными и кардиальными воздействиями, положением тела, влиянием пульсации расположенных рядом артериальных сосудов. Поэтому для характеристики фазности венозного кровотока логично использовать индекс фазности (ИФ).

В работе Дическул и соавт. [17] значение ИФ кровотока в краевом синусе по группе составило 0,42 (в положении лежа), в позвоночных венах в положении лежа ИФ достигал 0,7, а при пробе с ортостазом ИФ снижался до 0,15 (0,11–0,2) [22].

В проведенном нами исследовании значения ИФ (при регистрации кровотока в положении сидя) незначительно колебались от 0,2 (1-й этап) до 0,23 (2-й и 3-й этапы). То есть значимых колебаний данного параметра кровотока при выполнении упражнения «уддияна» в сравнении с исходными значениями выявлено не было. Полученные результаты позволяют считать, что стандартные воздействия на венозную фазность (респираторные и кардиальные) в положении сидя не оказывают существенного влияния на кровоток в краевом синусе (как исходно при свободном дыхании, так и при выполнении упражнения).

С учетом полученных результатов можно предполагать, что упражнение «уддияна», а также дыхательные упражнения в целом потенциально могут рассматриваться как элемент комплексной реабилитации при нарушениях церебрального венозного кровообращения. Для подтверждения данного утверждения требуются дальнейшие исследования на группах пациентов, имеющих ультразвуковые и клинические признаки венозной мозговой дисциркуляции.

В цели данного исследования не входил анализ различий параметров кровотока в КС в зависимости от положения тела, однако полученные результаты позволяют предполагать такую зависимость.

5. Заключение

Дыхательное упражнение йоги «уддияна» увеличивает максимальную линейную скорость кровотока и усредненную по времени максимальную скорость кровотока в краевом синусе, но не оказывает значимого влияния на показатель фазности кровотока.

Количественные характеристики кровотока, полученные в настоящем исследовании, отличаются от полученных ранее другими авторами, что может быть обусловлено разным положением тела (стандартным положением лежа и положением сидя). Полученные значения целесообразно учитывать в дальнейших исследованиях влияния дыхательных упражнений на показатели церебральной гемодинамики.

Вклад авторов:

Фролов Артем Владимирович — концепция и дизайн исследования, сбор и интерпретация данных, написание текста рукописи;

Ермолаева Саргылана Александровна — статистическая обработка данных, написание текста рукописи;

Дидур Михаил Дмитриевич — написание и окончательное утверждение текста рукописи.

Author contributions:

Artem V. Frolov — concept and design of the study, collection and interpretation of data, writing of the manuscript;

Sargylana A. Ermolaeva — statistical data processing, writing of the manuscript;

Michael D. Didur — writing and final approval of the manuscript text.

Литература / References

- Kuvalayananda S.** What is Uddiyana? *Yoga Mimamsa*. 2024;I(2):100.
- Kuvalayananda S.** What is Nauli? *Yoga Mimamsa*. 1924;I(1):25.
- Kuvalayananda S.** The Discovery of Partial vacuum in the colon in Nauli. *Yoga Mimamsa*. 1924;I(1):27.
- Kuvalayananda S.** Madhavadasa Vacuum. *Yoga Mimamsa*. 1924;I(2):96.
- Kuvalayananda S.** Experiments on Intra-gastric pressure. *Yoga Mimamsa*. 1928;III(1):10.
- Bhole M.V., Karambelkar P.V.** Water suction in internal cavities during uddiyana and nauli. *Yoga Mimamsa*. 1971;XIII(1):26–32.
- Bhole M.V., Karambelkar P.V.** Pressure changes in internal cavities during uddiyana and nauli. *Yoga Mimamsa*. 1971;XIII(1):19–25.
- Шмидт Р., Тевс Г., ред.** Физиология человека. 3-е изд. Москва: Мир; 2007. [Schmidt R., Thews G., editors. *Human Physiology*. 2nd ed. Springer; 1989. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-73831-9>]
- Laganà M.M., Pirastru A., Ferrari F., Di Tella S., Cazzoli M., Pelizzari L., Jin N., Zacà D., Alperin N., Baselli G., et al.** Cardiac and Respiratory Influences on Intracranial and Neck Venous Flow, Estimated Using Real-Time Phase-Contrast MRI. *Biosensors*. 2022;12(8):612. <https://doi.org/10.3390/bios12080612>
- Stolz E., Kaps M., Kern A., Babacan S.S., Dorndorf W.** Transcranial Color-Coded Duplex Sonography of Intracranial Veins and Sinuses in Adult: Reference Data From 130 Volunteers. *Stroke*. 1999;30(5):1070–1075. <https://doi.org/10.1161/01.str.30.5.1070>
- Kollmeier J.M., Gürbüz-Reiss L., Sahoo P., Badura S., Elebracht B., Keck M., et al.** Deep breathing couples CSF and venous flow dynamics. *Scientific Reports*. 2022;12:2568. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06361-x>
- Schreiber S.J., Stolz E., Valdueza J.M.** Transcranial ultrasonography of cerebral veins and sinuses. *Eur. J. Ultrasound*. 2002;16(1-2):59–72. [https://doi.org/10.1016/s0929-8266\(02\)00051-4](https://doi.org/10.1016/s0929-8266(02)00051-4)
- Doepf F., Hoffmann O., Lehmann R., Einhäupl K.M., Valdueza J.M.** The inferior petrosal sinus: assessment by transcranial Doppler ultrasound using the suboccipital approach. *J. Neuroimaging*. 1999;9(4):193–197. <https://doi.org/10.1111/jon199994193>
- Baumgartner R.W., Nirkko A.C., Müri R.M., Gönner F.** Transoccipital power-based color-coded duplex-sonography of cerebral sinuses and veins. *Stroke*. 1997;28(7):1319–1323. <https://doi.org/10.1161/01.str.28.7.1319>
- Baumgartner R.W., Gönner F., Arnold M., Müri R.M.** Transtemporal Power- and Frequency-Based Color-Coded Duplex Sonography of Cerebral Veins and Sinuses. *Am. J. Neuroradiol*. 1997;18(9):1771–1781.
- Valdueza J.M., Schmierer K., Mehraein S., Einhäupl K.M.** Assessment of normal flow velocity in basal cerebral veins. *Stroke*. 1996;27(7):1221–1225. <https://doi.org/10.1161/01.str.27.7.1221>
- Дическул М.Л., Жестовская С.И., Куликов В.П.** Цветовое дуплексное сканирование краевых синусов мозга. *Сибирский медицинский журнал*. 2013; 28(2):56–58. [Dicheskul M.L., Zhestovskaya S.I., Kulikov V.P. Color ultrasound duplex scanning of the marginal sinuses of the brain. *Siberian Medical Journal*. 2013;28(2):56–58. (In Russ.)].
- San Millan Ruiz D., Gailloud P., Rufenacht D.A., Delavelle J., Henry F., Fasel J.H.D.** The craniocervical venous system in relation to cerebral venous drainage. *AJNR Am. J. Neuroradiol*. 2002;23(9):1500–1508.
- Куликов В.П.** Основы ультразвукового исследования сосудов. Москва: Издательский дом «Видар»; 2015. [Kulikov V.P. *The Basis of Ultrasound Vessels Research*. Moscow: “Vidar” Publishing House; 2015. (In Russ.)].
- Куликов В.П., Дическул М.Л., Добрынина К.А.** Реакция церебральной венозной гемодинамики на гиперкапнию. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2007;93(8):852–859. [Kulikov V.P., Dicheskul M.L., Dobrynnina K.A. Cerebral venous hemodynamics’ reaction to hypercapnia. *Russian Journal of Physiology*. 2007;93(8):852–859. (In Russ.)].
- Gisolf J., Van Lieshout J.J., Van Heusden K., Pott F., Stok W.J., Karemaker J.M.** Human cerebral venous outflow pathway depends on posture and central venous pressure. *The Journal of Physiology*. 2004;560(1):317–327. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.070409> .
- Дическул М.Л., Куликов В.П., Маслова И.В.** Ультразвуковая характеристика венозного кровотока по позвоночным венам. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2008;(4):33–40. [Dicheskul M.L., Kulikov V.P., Maslova I.V. Ultrasound characterization of vertebral venous outflow. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2008;(4):33–40. (In Russ.)].
- Дическул М.Л., Куликов В.П.** Допплерографическая оценка венозной орбитальной и мозговой гемодинамики в остром периоде легкой черепно-мозговой травмы. Медицинская визуализация. 2011;(4):101–104. [Dicheskul M.L., Kulikov V.P. Dopplerographic estimation venous orbital and cerebral hemodynamics in the acute period of brain concussion. *Medical Visualization*. 2011;(4):101–104. (In Russ.)].
- Смоленский А.В., Шевелев О.А., Петрова М.В., Юрьев М.Ю., Шевелева Е.О., Тарасов А.В., Мирошников А.Б.** Профилактика осложнений спортивной черепно-мозговой травмы. Спортивная медицина: наука и практика. 2022;12(1):64–72. [Smolenskiy A.V., Shevelev O.A., Petrova M.V., Yuryev M.Yu., Sheveleva E.O., Tarasov A.V., Miroshnikov A.B. Prevention of traumatic brain injury complications in sports. *Sports medicine: research and practice*. 2022;12(1):64–72. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.1.3>

Информация об авторах:

Фролов Артем Владимирович*, врач ЛФК и врач функциональной диагностики ООО «Санкт-Петербургский институт восточных методов реабилитации», Россия, г. Санкт-Петербург, 191186, Невский проспект, д. 30а, пом. 2.8 (polyclinic@list.ru)

Ермолаева Саргылана Александровна, аналитик медицинских данных, методист по адаптивной физкультуре, ООО «Санкт-Петербургский институт восточных методов реабилитации», Россия, г. Санкт-Петербург, 191186, Невский проспект, д. 30а, пом. 2.8 (supersagi@gmail.com)

Дидур Михаил Дмитриевич, д.м.н., профессор, директор ФБГУН «Институт мозга человека им. Н.П. Бехтерева Российской академии наук», Россия, г. Санкт-Петербург, 197376, ул. им. Академика Павлова, д. 12а (Didour@mail.ru)

Information about the authors:

Artem V. Frolov*, functional diagnostics doctor, St. Petersburg Institute of Oriental Rehabilitation Methods, room 35-N, office 2.8, building No. 30, letter A, Nevsky Prospekt, 191186, St. Petersburg, Russia (polyclinic@list.ru)

Sargylana A. Ermolaeva, medical data analyst, St. Petersburg Institute of Oriental Rehabilitation Methods, room 35-N, office 2.8, building No. 30, letter A, Nevsky Prospekt, 191186, St. Petersburg, Russia (supersagi@gmail.com)

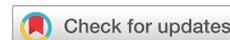
Michael D. Didur, M.D., D.Sci. (Medicine), Professor, chief at Bekhtereva Human Brain Institute of the Russian Academy of Sciences, 12a, Academician Pavlova str., 197022, St. Petersburg, Russia (Didour@mail.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.6>

УДК: 616.75:615.82

Тип статьи: Обзор литературы / Articles Review



Плантарный фасциит у спортсменов: современное состояние проблемы

А.В. Сливин^{1,2,*}, С.А. Парастаев^{1,2}

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

² ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: рассмотреть на основе анализа отечественных и иностранных источников основные вопросы эпидемиологии, патогенеза, диагностики и лечения плантарного фасциита у спортсменов.

Материалы и методы: проведен анализ данных электронных порталов PubMed-NCBI, Scopus, Академия Google, Cochrane Library и «Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU» по запросам: «plantar fasciitis sport», «plantar fasciitis in athletes» «plantar fasciitis physical therapy». В обзоре проведен анализ 103 публикаций, из них 16 посвящено проблематике плантарного фасциита в спорте; включено 34 метаанализа, 39 обзоров, 11 рандомизированных клинических испытаний и 19 иных исследований, построенных на основе принципов надежнейшей клинической практики.

Результаты: оценена встречаемость плантарного фасциита среди спортсменов, которая составляет от 5,2 до 17,5%. Продемонстрировано, что ведущее морфологическое изменение — дегенерация соединительной ткани, что в сочетании с повторяющейся микротравматизацией может вызывать боль. При этом у спортсменов плантарный фасциит часто сопровождается различными биомеханическими нарушениями и часто ассоциирован с плоскостопием. Отмечено, что ультразвуковое исследование и магнитно-резонансная томография, которые позволяют обнаружить утолщение подошвенного апоневроза и признаки его дегенеративных изменений, а также рентгенография стоп расцениваются как вспомогательные диагностические инструменты. Описан достаточно широкий спектр подходов к лечению плантарного фасциита: медикаментозные методы воздействия, средства физической и реабилитационной медицины, а также хирургическое вмешательство, которые имеют разную степень доказанной эффективности.

Заключение: поскольку у спортсменов плантарный фасциит характеризуется достаточно высокой распространенностью и устойчивостью к проводимым терапевтическим мероприятиям, что отражено в ограниченных по количеству исследованиях, то разработка патогенетически обоснованных мероприятий по своевременной диагностике и лечению данного состояния, прежде всего биомеханической направленности, будет способствовать скорейшему возобновлению полноценной тренировочной и соревновательной деятельности спортсмена. Предложены направления дальнейших исследований по проблематике возникновения у спортсменов болей в пяточной области.

Ключевые слова: плантарный фасциит, боль в пяточной области, спорт, лечение, биомеханика, диагностика, факторы риска

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Сливин А.В., Парастаев С.А. Плантарный фасциит у спортсменов: современное состояние проблемы. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(1):50–64. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.6>

Поступила в редакцию: 01.12.2023

Принята к публикации: 05.02.2024

Online first: 05.03.2024

Опубликована: 26.08.2024

* Автор, ответственный за переписку

Plantar fasciitis in athletes: current state of the problem

Anton V. Slivin^{1,2,*}, Sergey A. Parastaev^{1,2}

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

² Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

Objective: to consider, based on the analysis of domestic and foreign sources, the main issues of epidemiology, pathogenesis, diagnosis, and treatment of plantar fasciitis in athletes.

Materials and methods: an analysis of data from electronic portals such as PubMed-NCBI, Scopus, Google Scholar, Cochrane Library, and “Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU” was conducted by request: “plantar fasciitis sport”, “plantar fasciitis in athletes”, “plantar fasciitis physical therapy”. The review analyzed 103 publications, of which 16 are devoted to the problems of plantar fasciitis in sports; 34 meta-analyses, 39 reviews, 11 randomized clinical trials and 19 other studies based on the principles of good clinical practice were included.

Results: the prevalence of plantar fasciitis among athletes was evaluated, ranging from 5.2 to 17.5%. It has been demonstrated that the leading morphological change is the degeneration of connective tissue, which, in combination with repetitive microtrauma, can cause pain. In athletes, plantar fasciitis is often accompanied by various biomechanical disorders and is frequently associated with flat feet. It has been noted that ultrasound and magnetic resonance imaging, which allow for the detection of thickening of the plantar fascia and signs of its degenerative changes, as well as X-ray examination of the feet, are considered as additional diagnostic tools. A wide range of approaches to the treatment of plantar fasciitis has been described: pharmacological methods of intervention, physical and rehabilitation medicine, as well as surgical intervention, which have varying degrees of proven efficacy.

Conclusion: since plantar fasciitis in athletes is characterized by a high prevalence and resistance to ongoing therapeutic measures, which is reflected in limited studies, the development of pathogenic justified measures for timely diagnosis and treatment of this condition, primarily focusing on biomechanics, will contribute to the athlete’s prompt resumption of full training and competitive activities. Directions for further research on the issue of foot pain occurrence in athletes have been proposed.

Keywords: plantar fasciitis, plantar heel pain, sport, treatment, biomechanics, diagnostics, risk factors

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

For citation: Slivin A.V., Parastaev S.A. Plantar fasciitis in athletes: current state of the problem. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(1):50–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.6>

Received: 1 December 2023

Accepted: 5 February 2024

Online first: 5 March 2024

Published: 26 August 2024

*Corresponding author

1. Введение

Подшвенная фасция (синонимы: подошвенный апоневроз, плантарная фасция) представляет собой структуру, состоящую из волокнистой и плотной соединительной ткани, которая расположена между медиальным бугром пяточной кости и плюснефаланговыми суставами пальцев стопы [1]. В плантарной фасции выделяют 3 части: медиальную, латеральную и центральную, которая является наибольшей и несет опорную функцию для продольного свода стопы (см. рис.) [2, 3]. Плантарный фасциит (ПФ) — распространенное патологическое состояние, характеризующееся «стартовыми» болями, особенно выраженными с утра или после периода длительного отдыха. Развивается ПФ в месте прикрепления подошвенной фасции к медиальному бугорку пяточной кости и может быть односторонним или двусторонним [4]. Это одна из самых частых причин возникновения в стопе взрослых пациентов болевого синдрома, который значительно ухудшает качество их жизни [5, 6]. ПФ поражает представителей обоих полов, при этом среди спортсменов женщины страдают

несколько чаще, чем мужчины [7, 8]. В настоящее время ПФ считается дегенеративной патологией, сходной по своему хроническому течению с тендинопатией [9, 10]. Острая фаза ПФ может перейти в хроническую, которая характеризуется периодическими клиническими ремиссиями и прогрессированием процесса дегенерации подошвенной фасции [4].

По данным отечественных авторов, в общей популяции пациентов частота встречаемости ПФ варьирует от 22 до 28,6% [11]. Среди спортсменов заболеваемость ПФ, по данным зарубежных авторов, колеблется в интервале от 5,2 до 17,5% [2, 12–14]. В общей популяции распространенность ПФ выше, поскольку оценивается более широкий возрастной интервал — до 80 лет, а возраст спортсменов в большинстве исследований не превышал 45 лет. При этом в пределах сходных возрастных диапазонов распространенность ПФ среди спортсменов выше, что косвенным образом может свидетельствовать о патогенетической роли в развитии ПФ спортивной деятельности. Спортсмены с ПФ часто сообщают о локализованной области максимальной болезненности

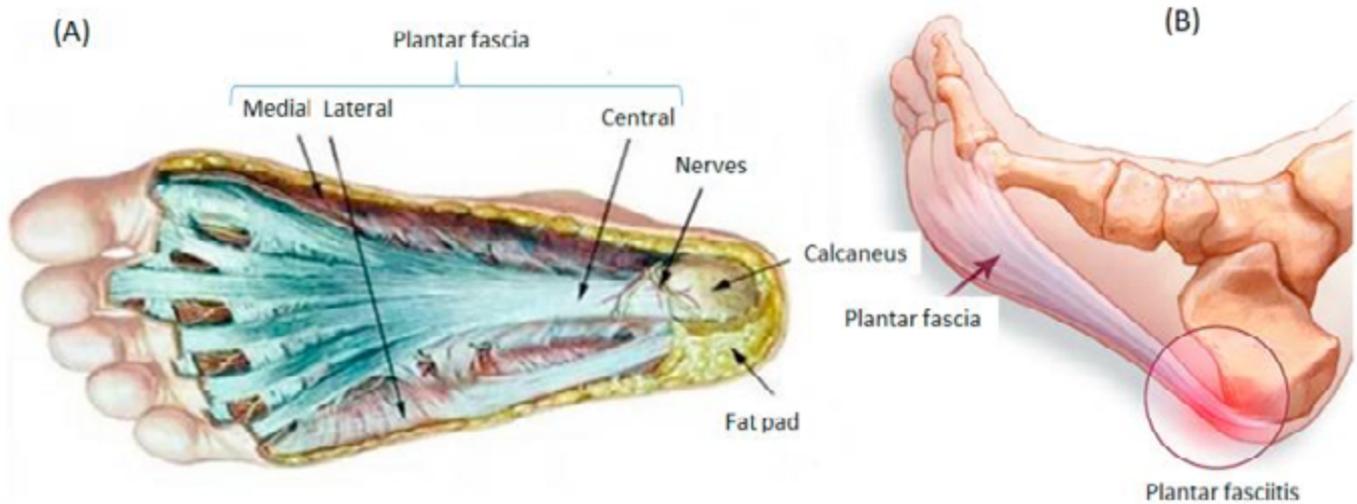


Рис. Плантарная фасция и плантарный фасциит (приведено по: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/core/lw/2.0/html/tileshop_pmc/tileshop_pmc_inline.html?title=Click%20on%20image%20to%20zoom&p=PMC3&id=9653655_ajerph-19-14426-g001.jpg)

Fig. Plantar fascia and plantar fasciitis (adapted from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/core/lw/2.0/html/tileshop_pmc/tileshop_pmc_inline.html?title=Click%20on%20image%20to%20zoom&p=PMC3&id=9653655_ajerph-19-14426-g001.jpg)

в переднемедиальной части пятки, особенно в проекции медиального бугра пяточной кости — в месте прикрепления подошвенной фасции [15, 16]. Боль может уменьшиться после разминки, но затем вновь усилиться по окончании тренировки [17].

Данная патология встречается у представителей самых разных видов спорта, однако наиболее часто при высокой беговой нагрузке [7, 18]. По данным многих исследований, основными биомеханическими паттернами, которые увеличивают риск развития воспаления подошвенной фасции, являются максимальное подошвенное сгибание голеностопного сустава и тыльное сгибание плюснефаланговых суставов [15, 19–23]. Зачастую болевой синдром при ПФ вынуждает спортсменов прерывать тренировочную и соревновательную деятельность, а в некоторых случаях даже приводит к завершению спортивной карьеры. В связи с этим разработка оптимальных протоколов лечения ПФ является важной задачей спортивной медицины.

2. Факторы риска и патогенез

На настоящий момент патогенез ПФ представляется комбинацией дегенеративных процессов. Так, La Porta и соавт. высказывают предположение, что боль вызывается атрофией коллагеновых волокон в области медиального бугорка пяточной кости [24]. В ходе прогрессирования дегенерации соединительной ткани происходит фрагментация матрикса основного вещества, его миксоидная дегенерация и неоваскуляризация, а также значительное увеличение числа фибробластов [3, 25, 26]. Длительно персистирующая дегенерация в сочетании с повторяющимися микротравмами может вызвать периостит пяточного бугра с последующей кальцификацией и формированием «пяточной шпоры» [19, 20].

В большинстве систематических обзоров и метаанализов указывается, что высокая масса тела и, как следствие, высокий ИМТ является важным фактором риска развития ПФ [2, 3, 17, 27]. Однако данное утверждение, справедливое для общей популяции пациентов, не нашло подтверждений для спортсменов [27, 28]. Анищенко и соавт. определяют ношение обуви на плоской подошве как предиктор развития ПФ, однако их исследование не было посвящено спортсменам [29]. В литературе высказывается большое число предположений о возможных факторах риска ПФ у спортсменов (см. табл. 1), но большинство из них подтверждаются лишь доказательствами низкого методологического уровня.

Внутренние факторы можно отнести к общим, популяционным, а внешние — к частным, профессиональным, в том числе спорт-специфичным.

Представляется логичным, что нарушение биомеханики стопы, возможно, является одним из главных факторов риска ПФ у спортсменов. Многими авторами подчеркивается важность оценки биомеханики пациентов с ПФ [2, 17, 30]. При воспалительных изменениях в подошвенном апоневрозе отмечается выраженное напряжение трехглавой мышцы голени [17, 31]. Плантарная фасция не только выполняет важную амортизационную роль, но и обеспечивает жесткость стопы во время пропульсивной фазы шага посредством «механизма лебедки» [32–35]. Noriega и соавт. не исключают, что проблемы переднего отдела стопы также могут оказать влияние на плантарную фасцию в целом [3]. Вполне вероятно, что дисбаланс мышц стопы может привести к возрастанию нагрузки на подошвенный апоневроз [34, 36, 37]. Отдельными авторами высказывается предположение, что слабость подошвенных сгибателей приводит к чрезмерной нагрузке на соединительнотканый аппарат, поддерживающий продольный свод стопы [19, 38, 39].

Таблица 1

Основные факторы риска, связанные с ПФ у спортсменов [2]

Table 1

Principal risk factors associated with PF in athletes [2]

Основные факторы риска		Причины
Внутренние	Анатомические	Плоскостопие
		Стопа с высоким сводом
		Гиперпронирированная стопа
		Разновеликость длины ног
		Чрезмерная торсия большеберцовой кости
		Чрезмерная внутренняя ротация бедренной кости
		Ожирение
	Функциональные	Напряжение икроножных и камбаловидных мышц
		Натяжение ахиллова сухожилия
		Слабость икроножных, камбаловидных и внутренних мышц стопы
	Дегенеративные	Старение и истончение жировой ткани пяточной области
		Атрофия жировой подушки пяточной области
		Жесткость подошвенной фасции
Внешние	Чрезмерная нагрузка	Механические перегрузки и микроразрывы
	Тренировочные ошибки	Слишком быстрое увеличение объема (продолжительности и/или кратности) нагрузок, их интенсивности, двигательная активность, предполагающая повторяющиеся ударные нагрузки на стопы
	Неадекватная обувь	Слабо амортизирующая подошва
		Неправильно подобранная обувь

Лее и соавт. заметили, что у спортсменов с ПФ часто наблюдается плоскостопие [38]. Не исключено, что неправильная работа мышц, отводящих бедро, также может вносить вклад в развитие ПФ [40, 41].

К сожалению, большинство исследований, в которых дается характеристика ассоциированных с ПФ биомеханических нарушений, имеют низкое качество. Необходимо большее число качественных исследований в будущем, чтобы оценить реальный вклад биомеханических нарушений в процесс развития ПФ.

3. Диагностика

Для постановки диагноза ПФ зачастую достаточно только данных анамнеза и клинического обследования [1, 30]. Главным симптомом ПФ является выраженная боль, в большинстве случаев в области пяточного бугра или с его медиальной стороны. Характерны утренние боли и их возникновение после продолжительного покоя [2, 42], а у спортсменов изменения интенсивности болевого синдрома в течение дня могут быть связаны с тренировочной активностью [10, 43].

При осмотре отмечается болезненность, возникающая при пальпации пяточной области [2], которая может усиливаться в положении стоя, за счет увеличения нагрузки на подошвенный апоневроз. Некоторые авторы отмечают, что при пассивном разгибании плюснефаланговых суставов и одновременной пальпации пяточной области также может происходить усиление

болевых ощущений [44, 45], однако ввиду низкой чувствительности проведение вышеуказанного теста не может использоваться в качестве ведущего диагностического приема [46].

Для диагностики ПФ традиционно используются такие визуализирующие методы, как ультразвуковое исследование (УЗИ), рентгенография, магнитно-резонансная томография (МРТ). По данным Клипфель и соавт., УЗИ помогает выявить признаки ПФ в 91 % случаев, и ведущим проявлением в таких случаях является утолщение подошвенного апоневроза [47]. В метаанализе Drake и соавт., посвященном визуализации при пяточном болевом синдроме, отмечено, что основными изменениями, которые можно выявить у пациентов с ПФ, являются: утолщение подошвенной фасции более 4 мм (по данным УЗИ или МРТ), гипоехогенные (по данным УЗИ) или гиперинтенсивные (по данным МРТ) участки подошвенного апоневроза, утолщение жировой ткани в области пятки (по данным УЗИ), «пяточные шпоры» (по результатам рентгенографии) [48]. Однако некоторые авторы отметили, что указанные изменения отмечались и у пациентов без симптомов, но при этом могли отсутствовать даже при яркой клинической картине ПФ [49–51]. Guttek и соавт. пришли к выводу, что интерпретация данных инструментальных методов исследования нередко может быть затруднена [1, 48]. Очевидно, что эти данные далеко не во всех случаях позволяют определить тяжесть течения заболевания и его прогноз.

Таблица 2

Основные направления терапевтического воздействия при ПФ

Table 2

The main directions of therapeutic interventions for PF

Медикаментозное воздействие	НПВС Инъекции пролонгированных кортикостероидов Инъекции обогащенной тромбоцитами плазмы (PRP-терапия)
Методы физической реабилитационной медицины	ЭУВТ НИЛТ Ортезы стоп Лечебная гимнастика Мануальная терапия Тейпирование
Хирургическое вмешательство	Эндоскопическая фасциотомия Биполярная радиочастотная микротенотомия

Не исключено, что выявленные при УЗИ, МРТ или рентгенографии признаки могут являться вторичными по отношению к ПФ, вызывая при этом болевые ощущения [29, 48]. С другой стороны, некоторые морфологические изменения, свойственные ПФ, могут протекать без клинических симптомов, поэтому остается неясным, какие факторы могут инициировать болевой синдром. Одной из причин подобных разночтений является неоднородность выборок пациентов, включаемых в исследования, и их недостаточно проработанный дизайн.

В связи с этим можно отметить, что инструментальные методы играют в диагностике ПФ вспомогательную роль и их значимость возрастает лишь в диагностически или терапевтически сложных случаях [1, 2, 27]. При этом стратегии диагностического поиска как в общей популяции, так и среди спортсменов практически идентичны и могут различаться лишь по ширине спектра визуализирующих техник и по кратности их использования во временном континууме.

Дифференциальную диагностику боли в пяточной области помимо ПФ целесообразно проводить с «стрессовыми» переломами пяточной кости, синдромом истончения жировой подушки пяточной области, ущемлением ветвей большеберцового нерва, тендинопатией ахиллова сухожилия и деформацией Хаглунда [52, 53]. В отдельных случаях необходима дифференциация с подошвенными вирусными бородавками (особенно при наличии выраженных натоптышей и/или мозолей, которые могут давать выраженную болевую симптоматику).

4. Лечение

Основными целями лечения ПФ у спортсменов является купирование боли, а также скорейшее возвращение к полноценной тренировочной и соревновательной деятельности [2]. Большинство терапевтических стратегий, используемых при ПФ как в общей популяции, так и в спортивном контингенте, сходны, однако среди

спортсменов отмечается более низкая эффективность лечебных мероприятий и недостаточная стойкость результатов по сравнению с общей популяцией [54]. В настоящее время существуют различные терапевтические подходы, которые включают в себя медикаментозное воздействие, хирургическое вмешательство и, конечно же, методологию физической реабилитационной медицины (см. табл. 2).

Нестероидные противовоспалительные препараты (НПВС) не показали достаточной эффективности в лечении ПФ и в настоящее время не могут быть рекомендованы для широкого использования [2, 55]. Инъекции пролонгированных форм глюкокортикостероидов демонстрировали эффективность в отношении снижения боли при ПФ лишь в краткосрочной перспективе (1,5–2 месяца), а через 6 месяцев после инъекции у большинства пациентов боль возвращалась [27, 56, 57]. Также Goff и соавт. сообщают о возможных побочных эффектах многократного локального применения глюкокортикостероидов, включающих в себя разрыв фасции и инфицирование [43]. Шутов и соавт. отмечают, что проведение инъекций под контролем УЗИ является более предпочтительным и характеризуется более высокими отдаленными результатами [58]. Однако всем специалистам, оказывающим медицинскую помощь спортсменам, важно помнить, что любое инъекционное применение глюкокортикостероидов строго запрещено антидопинговыми правилами в соревновательный период, и их применение в это время по показаниям должно сопровождаться обязательным оформлением документации для получения разрешения на терапевтическое использование. При применении же данных лечебных агентов во внесоревновательный период в протоколе допинг-контроля следует указывать дозы медикаментов и длительность курса их применения.

Метаанализ Ling и соавт. не показал преимуществ использования обогащенной тромбоцитами плазмы (PRP-терапия), в уменьшении боли при ПФ [59],

однако некоторые авторы полагают, что результаты PRP-терапии превосходят таковые в группе плацебо [60–62]. Инвазивные методы лечения ПФ стоит рассмотреть в случаях ярко выраженного длительного болевого синдрома, рефрактерного к другим консервативным методам терапии, поскольку убедительных доказательств высокой эффективности данных методик, по данным литературы, выявлено не было.

Экстракорпоральная ударно-волновая терапия (ЭУВТ) является одним из самых популярных методов лечения ПФ, в особенности у спортсменов, среди всех методов аппаратной физиотерапии. Обзор Sun и соавт. продемонстрировал, что ЭУВТ более эффективно снижает болевой синдром при ПФ по сравнению с плацебо [63]. Dizon и соавт. также пришли к выводу, что ЭУВТ оказывает положительный эффект на выраженность болевых ощущений, но их метаанализ содержал небольшое число исследований [64]. С другой стороны, Thomson и соавт. в метаанализе рандомизированных клинических исследований (РКИ) высокого качества не обнаружили какого-либо влияния ЭУВТ на выраженность боли у пациентов с ПФ [65]. Chang и соавт. также предполагают, что из-за высокой гетерогенности исследований сложно сделать однозначный вывод в отношении эффективности ЭУВТ [66]. Подобная неоднородность полученных результатов в первую очередь может быть связана с использованием исследователями разного диапазона интенсивности ударной волны (плотности потока энергии) [2, 67]. Большинство авторов выделяет пороговое значение плотности потока энергии в $0,2 \text{ мДж/мм}^2$, которое разделяет ЭУВТ на низкоинтенсивную (менее $0,2 \text{ мДж/мм}^2$) и высокоинтенсивную (более $0,2 \text{ мДж/мм}^2$) [68, 69]. В своем метаанализе Wang и соавт. пришли к выводу, что фокусированная ЭУВТ с плотностью потока в диапазоне $0,1\text{--}0,2 \text{ мДж/мм}^2$ показала наиболее значимые результаты в отношении снижения боли при ПФ, в том числе и у спортсменов [67]. Ряд авторов пришли к выводу, что ЭУВТ показывает высокую эффективность в купировании болевого синдрома при ПФ в спортивной популяции [70, 71]. Положительные результаты применения ЭУВТ получили также и некоторые отечественные авторы [72, 73]. Основным недостатком ЭУВТ является плохая субъективная переносимость процедуры пациентами.

Среди других методов аппаратной физиотерапии при ПФ широко используется лазерная терапия, в частности низкоинтенсивная (НИЛТ) с диапазоном длины волн от 620 нм до 820 нм, которая оказывает противовоспалительный эффект и активизирует регенеративные механизмы, а также стимулирует ангиогенез и продукцию коллагена [74, 75]. Два метаанализа отметили эффективность НИЛТ в устранении боли при ПФ в среднесрочной перспективе (3 месяца) [74, 76]. Также авторы констатировали, что в исследованиях, включенных в анализ, были использованы различные параметры

лазерной терапии, что может искажать полученные результаты.

Ортопедические изделия активно используются врачами в лечении ПФ. Так, Mendes и соавт. в своем систематическом обзоре сообщили, что использование ортопедических стелек снижает выраженность болевого синдрома при ПФ как в краткосрочной (менее 2 недель), так и в долгосрочной перспективе (более 12 недель) [77]. Schuitema и соавт. также получили положительные результаты использования стелек в лечении ПФ [78]. Rasenberg и соавт. напротив, считают, что использование ортопедических стелек не приносит ощутимой пользы и не уменьшает выраженность боли [79]. Nawke и соавт. пришли к выводу, что индивидуальные ортопедические стельки не только эффективны в отношении боли в краткосрочном периоде (1–2 недели), но и улучшают биомеханику стопы в долгосрочной (более 12 недель) перспективе [80]. Также отмечено, что выраженность снижения интенсивности боли у ортопедических изделий ниже, чем у иных консервативных методов лечения [80]. Констатированы и явные методологические ограничения исследований по оценке индивидуальных ортопедических стелек, поскольку в их изготовлении отсутствуют единые рекомендации и стандарты изготовления [81]. Для прояснения этих вопросов необходимо проведение высококачественных исследований, основанных на стандартизации процесса изготовления индивидуальных ортезов стопы.

Тейпирование является достаточно популярным методом лечения ПФ как в общей популяции, так и у спортсменов. Однако исследования показывают, что эффект тейпирования был не только кратковременным и симптоматическим, но и не влиял на биомеханику стопы [82, 83]. Кроме того, в обзоре Подольского и соавт. отмечаются недостаточные анальгетические эффекты тейпирования и в краткосрочной (1–2 недели) перспективе [82]. Надо также отметить, что большая часть исследований, посвященных изучению эффективности тейпирования для коррекции ПФ, представляет собой доказательства низкого уровня и не позволяет сделать однозначного вывода о его эффективности.

Физические упражнения также нередко способствуют подавлению болевых ощущений при ПФ, что обычно рассматривается как отражение оптимизации биомеханики, однако эффективность лечебной гимнастики может варьироваться от одного клинического случая к другому, от типа и места воздействия. В большинстве исследований мышцы, обеспечивающие движения в стопе, разделяют на внешние и внутренние. Первые из них находятся мышечной частью на голени, но имеют места крепления на стопе, а у вторых на ней расположены и мышечная часть, и места их крепления. В контексте влияния на болевой синдром при ПФ чаще рассматривается возможность укрепления внутренних мышц стопы [2]. Но Huffer и соавт., проведя систематический обзор, посвященный укреплению данной группы мышц,

пришли к выводу, что упражнения не оказывают достаточного эффекта на интенсивность боли [84]. Иному подходу, включающему приемы растяжения, посвящено значительно меньшее количество исследований, особенно у спортсменов. Так, Lee и соавт. сообщили о возможности подавления боли в процессе укрепления подошвенных сгибателей при ПФ [85]. В систематическом обзоре и метаанализе Siriphorn и соавт. продемонстрировали действенность растягивания плантарной фасции и икроножной мышцы [86]. Хотя эффективность стретчинга была ниже, чем у других консервативных методов лечения, авторы рекомендуют включать его в коррекционные программы ввиду простоты выполнения и отсутствия побочных эффектов [86–88]. Неоспоримым преимуществом физических упражнений для спортивной практики является возможность выполнения их даже в «полевых условиях» при отсутствии оборудования (в том числе в ходе учебно-тренировочных сборов).

По данным Brantingham и соавт., имеются убедительные доказательства эффективности мануальной терапии стопы и голеностопного сустава при ПФ в частности ее мобилизации [89]. По мнению Piper и соавт., эффективным методом купирования боли в области пятки может стать и миофасциальный релиз [90]. Однако отмечается, что наибольший эффект в отношении снижения выраженности болевого синдрома мануальная терапия оказывает при сочетании с другими методами купирования боли [91, 92].

Пролотерапия — введение небольшого объема раздражающей жидкости в поврежденную область с целью стимуляции регенеративных процессов — становится все более популярным методом лечения ПФ по всему миру [93, 94]. Однако в Российской Федерации данный метод лечения не имеет широкого распространения и, по данным большинства авторов, является недостаточно апробированной методикой [95].

При сохранении выраженных симптомов ПФ более одного года, рекомендуется рассмотреть возможность хирургического лечения [2, 96]. Эндоскопическая фасциотомия подошвенного апоневроза, по данным Malahias и соавт., уменьшает выраженность болевого синдрома при ПФ [97]. Большинство исследований, которые анализировали авторы, низкого качества и зачастую были представлены описаниями отдельных клинических случаев. Учитывая, что частота послеоперационных осложнений составляла 11 %, фасциотомию целесообразно рассматривать у пациентов с выраженными, длительно сохраняющимися симптомами ПФ, рефрактерными к большинству видов консервативной терапии [27, 97]. Особый интерес представляют минимально инвазивные хирургические вмешательства — чрескожная фасциотомия и микротомия [98]. Saxena и соавт. сообщили о значительном облегчении болевого синдрома после выполнения эндоскопической фасциотомии у спортсменов [99].

Обобщая информацию о высокой эффективности медико-биологических средств восстановления здоровья и профессиональной работоспособности спортсменов, следует также акцентировать внимание на необходимости сочетанного использования медицинских подходов и методологии современной спортивной педагогики, а именно: управлением модифицируемыми факторами нагрузок — продолжительностью, частотой применения и интенсивностью тренировочных стимулов [2]. Зачастую болевой синдром ограничивает привычный процесс подготовки, поэтому важно, начиная с возникновения первых симптомов заболевания, адаптировать физическую активность, пытаясь максимально сохранить спортивную форму и результативность.

Полное устранение симптомов ПФ — это длительный процесс (до двух лет), но комплексные консервативные мероприятия приводят к облегчению болевого синдрома у 90 % пациентов, причем в довольно короткие сроки (до 4 недель), хотя иногда полное восстановление после заболевания может составить до 160 дней [10, 100–102]. При игнорировании симптомов ПФ, отсутствии адекватного симптоматике и виду спортивной деятельности консервативного лечения на фоне продолжения избыточных нагрузок у спортсменов нередко возникает такое осложнение, как разрыв подошвенного апоневроза, что в любом случае требует хирургического вмешательства [103]. Следовательно, недостаточная эффективность консервативного лечения на фоне обособленной модификации тренировочных программ — это безусловное показание для оперативного лечения ПФ у спортсменов.

5. Заключение

Проведенный анализ данных литературы показал, что убедительные данные о высокой эффективности какого-либо терапевтического метода у пациентов с ПФ в целом и лиц, профессионально занимающихся спортом, в частности, практически отсутствуют, что актуализирует проблематику. В весьма незначительных по численности исследованиях оценивалось одновременное применение нескольких воздействий. Возможно, именно комбинация методов консервативного лечения, направленных прежде всего на коррекцию биомеханических отклонений, позволит достичь успеха в лечении спортсменов с ПФ.

В основе эффективной диагностики и лечения ПФ у спортсменов должен лежать комплексный подход мультидисциплинарной команды. Построение грамотного протокола лечения и реабилитации/восстановления спортсмена с ПФ способствуют более быстрому возобновлению полноценной тренировочной и соревновательной деятельности, что особенно актуально для спортивной науки и практики, как в их педагогической, так и медицинской составляющих.

Вклад авторов:

Сливин Антон Вячеславович — сбор и обработка данных, написание текста статьи;

Парастаев Сергей Андреевич — редактирование, утверждение финальной версии статьи.

Author contributions:

Anton V. Slivin — data collection and processing, article text writing;

Sergey A. Parastaev — editing, article final version approval.

Список литературы

1. Gutteck N., Schilde S., Delank K.S. Pain on the Plantar Surface of the Foot. *Dtsch. Arztebl. Int.* 2019;116(6):83–88. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2019.0083>
2. Petraglia F., Ramazzina I., Costantino C. Plantar fasciitis in athletes: diagnostic and treatment strategies. A systematic review. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2017;7(1):107–118. <https://doi.org/10.11138/mltj/2017.7.1.107>
3. Noriega D.C., Cristo Á., León A., García-Medrano B., Caballero-García A., Córdova-Martínez A. Plantar Fasciitis in Soccer Players—A Systemic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022;19(21):14426. <https://doi.org/10.3390/ijerph192114426>
4. League A.C. Current concepts review: plantar fasciitis. *Foot Ankle Int.* 2008;29(3):358–366. <https://doi.org/10.3113/FAI.2008.0358>
5. Young C. In the clinic. Plantar fasciitis. *Ann. Intern. Med.* 2012;156(1 Pt 1):ITC1–ITC16. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-156-1-201201030-01001>
6. Irving D.B., Cook J.L., Young M.A., Menz H.B. Impact of chronic plantar heel pain on health-related quality of life. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* 2008;98(4):283–289. <https://doi.org/10.7547/0980283>
7. Orchard J. Plantar fasciitis. *BMJ.* 2012;345:e6603. <https://doi.org/10.1136/bmj.e6603>
8. Taunton J.E., Ryan M.B., Clement D.B., McKenzie D.C., Lloyd-Smith D.R., Zumbo B.D. A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. *Br. J. Sports Med.* 2002;36(2):95–101. <https://doi.org/10.1136/bjism.36.2.95>
9. Stuber K., Kristmanson K. Conservative therapy for plantar fasciitis: a narrative review of randomized controlled trials. *J. Can. Chiropr. Assoc.* 2006;50(2):118–133.
10. Thompson J.V., Saini S.S., Reb C.W., Daniel J.N. Diagnosis and management of plantar fasciitis. *J. Am. Osteopath. Assoc.* 2014;114(12):900–906. <https://doi.org/10.7556/jaoa.2014.177>
11. Цымбал А.Н., Цымбал А.В. Плантарный фасциит: медико-социальная характеристика больных. *Врач-аспирант.* 2012;51(2.2):330–335.
12. Sobhani S., Dekker R., Postema K., Dijkstra P.U. Epidemiology of ankle and foot overuse injuries in sports: A systematic review. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2013;23(6):669–686. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01509.x>
13. Hoffman M.D., Krishnan E. Health and exercise-related medical issues among 1,212 ultramarathon runners: baseline findings from the Ultrarunners Longitudinal TRacking (ULTRA) Study. *PLoS One.* 2014;9(1):e83867. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083867>
14. Lopes A.D., Hespanhol Júnior L.C., Yeung S.S., Costa L.O. What are the main running-related musculoskeletal injuries? A Systematic Review. *Sports Med.* 2012;42(10):891–905. <https://doi.org/10.1007/BF03262301>
15. Buchbinder R. Clinical practice. Plantar fasciitis. *N. Engl. J. Med.* 2004;350(21):2159–2166. <https://doi.org/10.1056/NEJMcp032745>
16. Dyck D.D. Jr., Boyajian-O'Neill L.A. Plantar fasciitis. *Clin. J. Sport Med.* 2004;14(5):305–309. <https://doi.org/10.1097/00042752-200409000-00010>

References

1. Gutteck N., Schilde S., Delank K.S. Pain on the Plantar Surface of the Foot. *Dtsch. Arztebl. Int.* 2019;116(6):83–88. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2019.0083>
2. Petraglia F., Ramazzina I., Costantino C. Plantar fasciitis in athletes: diagnostic and treatment strategies. A systematic review. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2017;7(1):107–118. <https://doi.org/10.11138/mltj/2017.7.1.107>
3. Noriega D.C., Cristo Á., León A., García-Medrano B., Caballero-García A., Córdova-Martínez A. Plantar Fasciitis in Soccer Players—A Systemic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022;19(21):14426. <https://doi.org/10.3390/ijerph192114426>
4. League A.C. Current concepts review: plantar fasciitis. *Foot Ankle Int.* 2008;29(3):358–366. <https://doi.org/10.3113/FAI.2008.0358>
5. Young C. In the clinic. Plantar fasciitis. *Ann. Intern. Med.* 2012;156(1 Pt 1):ITC1–ITC16. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-156-1-201201030-01001>
6. Irving D.B., Cook J.L., Young M.A., Menz H.B. Impact of chronic plantar heel pain on health-related quality of life. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* 2008;98(4):283–289. <https://doi.org/10.7547/0980283>
7. Orchard J. Plantar fasciitis. *BMJ.* 2012;345:e6603. <https://doi.org/10.1136/bmj.e6603>
8. Taunton J.E., Ryan M.B., Clement D.B., McKenzie D.C., Lloyd-Smith D.R., Zumbo B.D. A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. *Br. J. Sports Med.* 2002;36(2):95–101. <https://doi.org/10.1136/bjism.36.2.95>
9. Stuber K., Kristmanson K. Conservative therapy for plantar fasciitis: a narrative review of randomized controlled trials. *J. Can. Chiropr. Assoc.* 2006;50(2):118–133.
10. Thompson J.V., Saini S.S., Reb C.W., Daniel J.N. Diagnosis and management of plantar fasciitis. *J. Am. Osteopath. Assoc.* 2014;114(12):900–906. <https://doi.org/10.7556/jaoa.2014.177>
11. Tsymbal A.N., Tsymbal A.V. Plantar fasciitis: medical and social characteristics of patients. *Postgraduate Doctor.* 2012;51(2.2):330–335. (In Russ.)
12. Sobhani S., Dekker R., Postema K., Dijkstra P.U. Epidemiology of ankle and foot overuse injuries in sports: A systematic review. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2013;23(6):669–686. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01509.x>
13. Hoffman M.D., Krishnan E. Health and exercise-related medical issues among 1,212 ultramarathon runners: baseline findings from the Ultrarunners Longitudinal TRacking (ULTRA) Study. *PLoS One.* 2014;9(1):e83867. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083867>
14. Lopes A.D., Hespanhol Júnior L.C., Yeung S.S., Costa L.O. What are the main running-related musculoskeletal injuries? A Systematic Review. *Sports Med.* 2012;42(10):891–905. <https://doi.org/10.1007/BF03262301>
15. Buchbinder R. Clinical practice. Plantar fasciitis. *N. Engl. J. Med.* 2004;350(21):2159–2166. <https://doi.org/10.1056/NEJMcp032745>
16. Dyck D.D. Jr., Boyajian-O'Neill L.A. Plantar fasciitis. *Clin. J. Sport Med.* 2004;14(5):305–309. <https://doi.org/10.1097/00042752-200409000-00010>

17. Hamstra-Wright K.L., Huxel Bliven K.C., Bay R.C., Aydemir B. Risk Factors for Plantar Fasciitis in Physically Active Individuals: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Health*. 2021;13(3):296–303. <https://doi.org/10.1177/1941738120970976>

18. Кулибаба К.В., Василькин А.К. Современные аспекты лечения патологии стопы у легкоатлетов. *Медицинский алфавит*. 2018;3(27):62–63.

19. Kibler W.B., Goldberg C., Chandler T.J. Functional biomechanical deficits in running athletes with plantar fasciitis. *Am. J. Sports Med.* 1991;19(1):66–71. <https://doi.org/10.1177/036354659101900111>

20. Lemont H., Ammirati K.M., Usen N. Plantar fasciitis: a degenerative process (fasciosis) without inflammation. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* 2003;93(3):234–237. <https://doi.org/10.7547/87507315-93-3-234>

21. Trojjan T., Tucker A.K. Plantar Fasciitis. *Am. Fam. Physician*. 2019;99(12):744–750.

22. Chang R., Rodrigues P.A., Van Emmerik R.E., Hamill J. Multi-segment foot kinematics and ground reaction forces during gait of individuals with plantar fasciitis. *J. Biomech.* 2014;47(11):2571–2577. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.06.003>

23. Tenforde A.S., Yin A., Hunt K.J. Foot and Ankle Injuries in Runners. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 2016;27(1):121–137. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2015.08.007>

24. La Porta G.A., La Fata P.C. Pathologic conditions of the plantar fascia. *Clin Podiatr. Med. Surg.* 2005;22(1):1–v. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2004.08.001>

25. Khan K.M., Cook J.L., Taunton J.E., Bonar F. Overuse tendinosis, not tendinitis part 1: a new paradigm for a difficult clinical problem. *Phys. Sportsmed.* 2000;28(5):38–48. <https://doi.org/10.3810/psm.2000.05.890>

26. Crosby W., Humble R.N. Rehabilitation of plantar fasciitis. *Clin. Podiatr. Med. Surg.* 2001;18(2):225–231.

27. Rhim H.C., Kwon J., Park J., Borg-Stein J., Tenforde A.S. A Systematic Review of Systematic Reviews on the Epidemiology, Evaluation, and Treatment of Plantar Fasciitis. *Life (Basel)*. 2021;11(12):1287. <https://doi.org/10.3390/life11121287>

28. Butterworth P.A., Landorf K.B., Smith S.E., Menz H.B. The association between body mass index and musculoskeletal foot disorders: a systematic review. *Obes. Rev.* 2012;13(7):630–642. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2012.00996.x>

29. Анищенко А.П., Джадаев С.И., Джадаева А.В., Иванов В.В., Коврижных М.В. Клинико-рентгенологические характеристики пациентов с плантарным фасциитом. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2023;13(1):55–59. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.1.7>

30. Alazzawi S., Sukeik M., King D., Vemulapalli K. Foot and ankle history and clinical examination: A guide to everyday practice. *World J. Orthop.* 2017;8(1):21–29. <https://doi.org/10.5312/wjo.v8.i1.21>

31. Cheung J.T., Zhang M., An K.N. Effect of Achilles tendon loading on plantar fascia tension in the standing foot. *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)*. 2006;21(2):194–203. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.09.016>

32. Kirby K.A. Biomechanics of the normal and abnormal foot. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* 2000;90(1):30–34. <https://doi.org/10.7547/87507315-90-1-30>

33. Ker R.F., Bennett M.B., Bibby S.R., Kester R.C., Alexander R.M. The spring in the arch of the human foot. *Nature*. 1987;325(7000):147–149. <https://doi.org/10.1038/325147a0>

17. Hamstra-Wright K.L., Huxel Bliven K.C., Bay R.C., Aydemir B. Risk Factors for Plantar Fasciitis in Physically Active Individuals: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Health*. 2021;13(3):296–303. <https://doi.org/10.1177/1941738120970976>

18. Kulibaba K.V., Vasilkin A.K. Modern aspects of treatment of foot pathology in athletes. *Medical alphabet*. 2018;3(27):62–63. (In Russ.).

19. Kibler W.B., Goldberg C., Chandler T.J. Functional biomechanical deficits in running athletes with plantar fasciitis. *Am. J. Sports Med.* 1991;19(1):66–71. <https://doi.org/10.1177/036354659101900111>

20. Lemont H., Ammirati K.M., Usen N. Plantar fasciitis: a degenerative process (fasciosis) without inflammation. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* 2003;93(3):234–237. <https://doi.org/10.7547/87507315-93-3-234>

21. Trojjan T., Tucker A.K. Plantar Fasciitis. *Am. Fam. Physician*. 2019;99(12):744–750.

22. Chang R., Rodrigues P.A., Van Emmerik R.E., Hamill J. Multi-segment foot kinematics and ground reaction forces during gait of individuals with plantar fasciitis. *J. Biomech.* 2014;47(11):2571–2577. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.06.003>

23. Tenforde A.S., Yin A., Hunt K.J. Foot and Ankle Injuries in Runners. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 2016;27(1):121–137. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2015.08.007>

24. La Porta G.A., La Fata P.C. Pathologic conditions of the plantar fascia. *Clin Podiatr. Med. Surg.* 2005;22(1):1–v. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2004.08.001>

25. Khan K.M., Cook J.L., Taunton J.E., Bonar F. Overuse tendinosis, not tendinitis part 1: a new paradigm for a difficult clinical problem. *Phys. Sportsmed.* 2000;28(5):38–48. <https://doi.org/10.3810/psm.2000.05.890>

26. Crosby W., Humble R.N. Rehabilitation of plantar fasciitis. *Clin. Podiatr. Med. Surg.* 2001;18(2):225–231.

27. Rhim H.C., Kwon J., Park J., Borg-Stein J., Tenforde A.S. A Systematic Review of Systematic Reviews on the Epidemiology, Evaluation, and Treatment of Plantar Fasciitis. *Life (Basel)*. 2021;11(12):1287. <https://doi.org/10.3390/life11121287>

28. Butterworth P.A., Landorf K.B., Smith S.E., Menz H.B. The association between body mass index and musculoskeletal foot disorders: a systematic review. *Obes. Rev.* 2012;13(7):630–642. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2012.00996.x>

29. Anischenko A.P., Dzhadayev S.I., Dzhadayeva A.V., Ivanov V.V., Kovrizhnyh M.V. Clinical and radiological characteristics of patients with plantar fasciitis. *Sports medicine: research and practice*. 2023;13(1):55–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.1.7>

30. Alazzawi S., Sukeik M., King D., Vemulapalli K. Foot and ankle history and clinical examination: A guide to everyday practice. *World J. Orthop.* 2017;8(1):21–29. <https://doi.org/10.5312/wjo.v8.i1.21>

31. Cheung J.T., Zhang M., An K.N. Effect of Achilles tendon loading on plantar fascia tension in the standing foot. *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)*. 2006;21(2):194–203. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.09.016>

32. Kirby K.A. Biomechanics of the normal and abnormal foot. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* 2000;90(1):30–34. <https://doi.org/10.7547/87507315-90-1-30>

33. Ker R.F., Bennett M.B., Bibby S.R., Kester R.C., Alexander R.M. The spring in the arch of the human foot. *Nature*. 1987;325(7000):147–149. <https://doi.org/10.1038/325147a0>

34. **Bolgia L.A., Malone T.R.** Plantar fasciitis and the windlass mechanism: a biomechanical link to clinical practice. *J. Athl. Train.* 2004;39(1):77–82.
35. **Lombardi C.M., Silhanek A.D., Connolly F.G., Dennis L.N.** The effect of first metatarsophalangeal joint arthrodesis on the first ray and the medial longitudinal arch: a radiographic study. *J. Foot Ankle Surg.* 2002;41(2):96–103. [https://doi.org/10.1016/s1067-2516\(02\)80032-1](https://doi.org/10.1016/s1067-2516(02)80032-1)
36. **Pollack Y., Shashua A., Kalichman L.** Manual therapy for plantar heel pain. *Foot (Edinb).* 2018;34:11–16. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2017.08.001>
37. **Kirby K.A.** Longitudinal arch load-sharing system of the foot. *Rev. Españ. Podolog.* 2017;28:e18–26. <https://doi.org/10.1016/j.repod.2017.03.003>
38. **Lee J.H., Shin K.H., Jung T.S., Jang W.Y.** Lower Extremity Muscle Performance and Foot Pressure in Patients Who Have Plantar Fasciitis with and without Flat Foot Posture. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022;20(1):87. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010087>
39. **Allen R.H., Gross M.T.** Toe flexors strength and passive extension range of motion of the first metatarsophalangeal joint in individuals with plantar fasciitis. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2003;33(8):468–478. <https://doi.org/10.2519/jospt.2003.33.8.468>
40. **Lewis C.L., Ferris D.P.** Walking with increased ankle push-off decreases hip muscle moments. *J. Biomech.* 2008;41(10):2082–2089. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.05.013>
41. **Lee S.P., Powers C.M.** Individuals with diminished hip abductor muscle strength exhibit altered ankle biomechanics and neuromuscular activation during unipedal balance tasks. *Gait Posture.* 2014;39(3):933–938. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.12.004>
42. **Riel H., Cotchett M., Delahunty E., Rathleff M.S., Vincenzino B., Weir A., Landorf K.B.** Is ‘plantar heel pain’ a more appropriate term than ‘plantar fasciitis’? Time to move on. *Br. J. Sports. Med.* 2017;51(22):1576–1577. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097519>
43. **Goff J.D., Crawford R.** Diagnosis and treatment of plantar fasciitis. *Am. Fam. Physician.* 2011;84(6):676–682.
44. **Stainsby G.D., Kupcha P.C.** Re: the association between diagnosis of plantar fasciitis and windlass test results. *Foot Ankle Int.* 2004;25(9):687–688.
45. **Alshami A.M., Babri A.S., Souvlis T., Coppieters M.W.** Biomechanical evaluation of two clinical tests for plantar heel pain: the dorsiflexion-eversion test for tarsal tunnel syndrome and the windlass test for plantar fasciitis. *Foot Ankle Int.* 2007;28(4):499–505. <https://doi.org/10.3113/FAI.2007.0499>
46. **De Garceau D., Dean D., Requejo S.M., Thordarson D.B.** The association between diagnosis of plantar fasciitis and Windlass test results. *Foot Ankle Int.* 2003;24(3):251–255. <https://doi.org/10.1177/107110070302400309>
47. **Клипфель И.В., Калыгина Н.А., Емельянов Н.Б.** Возможности ультразвукового исследования в диагностике подошвенного фасциита. *Вестник Челябинской областной клинической больницы.* 2017;3(37):24–28.
48. **Drake C., Whittaker G.A., Kaminski M.R., Chen J., Keenan A.M., Rathleff M.S., Robinson P., Landorf K.B.** Medical imaging for plantar heel pain: a systematic review and meta-analysis. *J. Foot Ankle Res.* 2022;15(1):4. <https://doi.org/10.1186/s13047-021-00507-2>
49. **Levy J.C., Mizel M.S., Clifford P.D., Temple H.T.** Value of radiographs in the initial evaluation of nontraumatic adult heel pain. *Foot Ankle Int.* 2006;27(6):427–430. <https://doi.org/10.1177/107110070602700607>
34. **Bolgia L.A., Malone T.R.** Plantar fasciitis and the windlass mechanism: a biomechanical link to clinical practice. *J. Athl. Train.* 2004;39(1):77–82.
35. **Lombardi C.M., Silhanek A.D., Connolly F.G., Dennis L.N.** The effect of first metatarsophalangeal joint arthrodesis on the first ray and the medial longitudinal arch: a radiographic study. *J. Foot Ankle Surg.* 2002;41(2):96–103. [https://doi.org/10.1016/s1067-2516\(02\)80032-1](https://doi.org/10.1016/s1067-2516(02)80032-1)
36. **Pollack Y., Shashua A., Kalichman L.** Manual therapy for plantar heel pain. *Foot (Edinb).* 2018;34:11–16. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2017.08.001>
37. **Kirby K.A.** Longitudinal arch load-sharing system of the foot. *Rev. Españ. Podolog.* 2017;28:e18–26. <https://doi.org/10.1016/j.repod.2017.03.003>
38. **Lee J.H., Shin K.H., Jung T.S., Jang W.Y.** Lower Extremity Muscle Performance and Foot Pressure in Patients Who Have Plantar Fasciitis with and without Flat Foot Posture. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022;20(1):87. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010087>
39. **Allen R.H., Gross M.T.** Toe flexors strength and passive extension range of motion of the first metatarsophalangeal joint in individuals with plantar fasciitis. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2003;33(8):468–478. <https://doi.org/10.2519/jospt.2003.33.8.468>
40. **Lewis C.L., Ferris D.P.** Walking with increased ankle push-off decreases hip muscle moments. *J. Biomech.* 2008;41(10):2082–2089. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.05.013>
41. **Lee S.P., Powers C.M.** Individuals with diminished hip abductor muscle strength exhibit altered ankle biomechanics and neuromuscular activation during unipedal balance tasks. *Gait Posture.* 2014;39(3):933–938. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.12.004>
42. **Riel H., Cotchett M., Delahunty E., Rathleff M.S., Vincenzino B., Weir A., Landorf K.B.** Is ‘plantar heel pain’ a more appropriate term than ‘plantar fasciitis’? Time to move on. *Br. J. Sports. Med.* 2017;51(22):1576–1577. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097519>
43. **Goff J.D., Crawford R.** Diagnosis and treatment of plantar fasciitis. *Am. Fam. Physician.* 2011;84(6):676–682.
44. **Stainsby G.D., Kupcha P.C.** Re: the association between diagnosis of plantar fasciitis and windlass test results. *Foot Ankle Int.* 2004;25(9):687–688.
45. **Alshami A.M., Babri A.S., Souvlis T., Coppieters M.W.** Biomechanical evaluation of two clinical tests for plantar heel pain: the dorsiflexion-eversion test for tarsal tunnel syndrome and the windlass test for plantar fasciitis. *Foot Ankle Int.* 2007;28(4):499–505. <https://doi.org/10.3113/FAI.2007.0499>
46. **De Garceau D., Dean D., Requejo S.M., Thordarson D.B.** The association between diagnosis of plantar fasciitis and Windlass test results. *Foot Ankle Int.* 2003;24(3):251–255. <https://doi.org/10.1177/107110070302400309>
47. **Klipfel I.V., Kalygina N.A., Yemelyanova N.B.** Possibilities of ultrasonography in diagnostics of the plantar fasciitis. *Vestnik Chelyabinskoi oblastnoi klinicheskoi bol'nitsy.* 2017;3(37):24–28. (In Russ.).
48. **Drake C., Whittaker G.A., Kaminski M.R., Chen J., Keenan A.M., Rathleff M.S., Robinson P., Landorf K.B.** Medical imaging for plantar heel pain: a systematic review and meta-analysis. *J. Foot Ankle Res.* 2022;15(1):4. <https://doi.org/10.1186/s13047-021-00507-2>
49. **Levy J.C., Mizel M.S., Clifford P.D., Temple H.T.** Value of radiographs in the initial evaluation of nontraumatic adult heel pain. *Foot Ankle Int.* 2006;27(6):427–430. <https://doi.org/10.1177/107110070602700607>

50. Schneider H.P., Baca J.M., Carpenter B.B., Dayton P.D., Fleischer A.E., Sachs B.D. American College of Foot and Ankle Surgeons Clinical Consensus Statement: Diagnosis and Treatment of Adult Acquired Infracalcaneal Heel Pain. *J. Foot Ankle Surg.* 2018;57(2):370–381. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2017.10.018>

51. Ehrmann C., Maier M., Mengiardi B., Pfirrmann C.W., Sutter R. Calcaneal attachment of the plantar fascia: MR findings in asymptomatic volunteers. *Radiology.* 2014;272(3):807–814. <https://doi.org/10.1148/radiol.14131410>

52. Alshami A.M., Souvlis T., Coppeters M.W. A review of plantar heel pain of neural origin: differential diagnosis and management. *Man. Ther.* 2008;13(2):103–111. <https://doi.org/10.1016/j.math.2007.01.014>

53. Tu P. Heel Pain: Diagnosis and Management. *Am. Fam. Physician.* 2018;97(2):86–93.

54. Coppola M., Sgadari A., Marasco D., Danti C., Vitale G., Smeraglia F., Balato G., Bernasconi A. Treatment Approaches for Plantar Fasciopathy in Elite Athletes: A Scoping Review of the Literature. *Orthop. J. Sports Med.* 2022;10(11):23259671221136496. <https://doi.org/10.1177/23259671221136496>

55. Moustafa A.M., Hassanein E., Foti C. Objective assessment of corticosteroid effect in plantar fasciitis: additional utility of ultrasound. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2016;5(4):289–296. <https://doi.org/10.11138/mltj/2015.5.4.289>

56. Whittaker G.A., Munteanu S.E., Menz H.B., Bonanno D.R., Gerrard J.M., Landorf K.B. Corticosteroid injection for plantar heel pain: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019;20(1):378. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2749-z>

57. Chen C.M., Lee M., Lin C.H., Chang C.H., Lin C.H. Comparative efficacy of corticosteroid injection and non-invasive treatments for plantar fasciitis: a systematic review and meta-analysis. *Sci. Rep.* 2018;8(1):4033. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22402-w>

58. Шутов Ю.М., Шутова М.З., Кокшарова В.Н. Оптимизация лечения плантарных фасцитов и ахиллитов. *Journal of Siberian Medical Sciences.* 2015;(2):25.

59. Ling Y., Wang S. Effects of platelet-rich plasma in the treatment of plantar fasciitis: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Medicine (Baltimore).* 2018;97(37):e12110. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000012110>

60. Yu T., Xia J., Li B., Zhou H., Yang Y., Yu G. Outcomes of platelet-rich plasma for plantar fasciopathy: a best-evidence synthesis. *J. Orthop. Surg. Res.* 2020;15(1):432. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01783-7>

61. Vannini F., Di Matteo B., Filardo G., Kon E., Marcacci M., Giannini S. Platelet-rich plasma for foot and ankle pathologies: a systematic review. *Foot Ankle Surg.* 2014;20(1):2–9. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2013.08.001>

62. Franchini M., Cruciani M., Mengoli C., Marano G., Pupella S., Veropalumbo E., Masiello F., Pati I., Vaglio S., Liembruno G.M. Efficacy of platelet-rich plasma as conservative treatment in orthopaedics: A systematic review and meta-analysis. *Blood Transfus.* 2018;16(6):502–513. <https://doi.org/10.2450/2018.0111-18>

63. Sun K., Zhou H., Jiang W. Extracorporeal shock wave therapy versus other therapeutic methods for chronic plantar fasciitis. *Foot Ankle Surg.* 2020;26(1):33–38. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2018.11.002>

64. Dizon J.N., Gonzalez-Suarez C., Zamora M.T., Gambito E.D. Effectiveness of extracorporeal shock wave therapy in chronic plantar fasciitis: a meta-analysis. *Am. J. Phys.*

50. Schneider H.P., Baca J.M., Carpenter B.B., Dayton P.D., Fleischer A.E., Sachs B.D. American College of Foot and Ankle Surgeons Clinical Consensus Statement: Diagnosis and Treatment of Adult Acquired Infracalcaneal Heel Pain. *J. Foot Ankle Surg.* 2018;57(2):370–381. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2017.10.018>

51. Ehrmann C., Maier M., Mengiardi B., Pfirrmann C.W., Sutter R. Calcaneal attachment of the plantar fascia: MR findings in asymptomatic volunteers. *Radiology.* 2014;272(3):807–814. <https://doi.org/10.1148/radiol.14131410>

52. Alshami A.M., Souvlis T., Coppeters M.W. A review of plantar heel pain of neural origin: differential diagnosis and management. *Man. Ther.* 2008;13(2):103–111. <https://doi.org/10.1016/j.math.2007.01.014>

53. Tu P. Heel Pain: Diagnosis and Management. *Am. Fam. Physician.* 2018;97(2):86–93.

54. Coppola M., Sgadari A., Marasco D., Danti C., Vitale G., Smeraglia F., Balato G., Bernasconi A. Treatment Approaches for Plantar Fasciopathy in Elite Athletes: A Scoping Review of the Literature. *Orthop. J. Sports Med.* 2022;10(11):23259671221136496. <https://doi.org/10.1177/23259671221136496>

55. Moustafa A.M., Hassanein E., Foti C. Objective assessment of corticosteroid effect in plantar fasciitis: additional utility of ultrasound. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2016;5(4):289–296. <https://doi.org/10.11138/mltj/2015.5.4.289>

56. Whittaker G.A., Munteanu S.E., Menz H.B., Bonanno D.R., Gerrard J.M., Landorf K.B. Corticosteroid injection for plantar heel pain: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019;20(1):378. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2749-z>

57. Chen C.M., Lee M., Lin C.H., Chang C.H., Lin C.H. Comparative efficacy of corticosteroid injection and non-invasive treatments for plantar fasciitis: a systematic review and meta-analysis. *Sci. Rep.* 2018;8(1):4033. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22402-w>

58. Shutov Y.M., Shutova M.Z., Koksharova V.N. Optimization of treatment of plantar fasciitis and heelstrng tenotitis. *Journal of Siberian Medical Sciences.* 2015;(2):25.

59. Ling Y., Wang S. Effects of platelet-rich plasma in the treatment of plantar fasciitis: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Medicine (Baltimore).* 2018;97(37):e12110. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000012110>

60. Yu T., Xia J., Li B., Zhou H., Yang Y., Yu G. Outcomes of platelet-rich plasma for plantar fasciopathy: a best-evidence synthesis. *J. Orthop. Surg. Res.* 2020;15(1):432. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01783-7>

61. Vannini F., Di Matteo B., Filardo G., Kon E., Marcacci M., Giannini S. Platelet-rich plasma for foot and ankle pathologies: a systematic review. *Foot Ankle Surg.* 2014;20(1):2–9. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2013.08.001>

62. Franchini M., Cruciani M., Mengoli C., Marano G., Pupella S., Veropalumbo E., Masiello F., Pati I., Vaglio S., Liembruno G.M. Efficacy of platelet-rich plasma as conservative treatment in orthopaedics: A systematic review and meta-analysis. *Blood Transfus.* 2018;16(6):502–513. <https://doi.org/10.2450/2018.0111-18>

63. Sun K., Zhou H., Jiang W. Extracorporeal shock wave therapy versus other therapeutic methods for chronic plantar fasciitis. *Foot Ankle Surg.* 2020;26(1):33–38. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2018.11.002>

64. Dizon J.N., Gonzalez-Suarez C., Zamora M.T., Gambito E.D. Effectiveness of extracorporeal shock wave therapy in chronic plantar fasciitis: a meta-analysis. *Am. J. Phys.*

Med. Rehabil. 2013;92(7):606–620. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31828cd42b>

65. **Thomson C.E., Crawford F., Murray G.D.** The effectiveness of extra corporeal shock wave therapy for plantar heel pain: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2005;6:19. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-6-19>

66. **Chang K.V., Chen S.Y., Chen W.S., Tu Y.K., Chien K.L.** Comparative effectiveness of focused shock wave therapy of different intensity levels and radial shock wave therapy for treating plantar fasciitis: a systematic review and network meta-analysis. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2012;93(7):1259–1268. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.02.023>

67. **Wang Y.C., Chen S.J., Huang P.J., Huang H.T., Cheng Y.M., Shih C.L.** Efficacy of Different Energy Levels Used in Focused and Radial Extracorporeal Shockwave Therapy in the Treatment of Plantar Fasciitis: A Meta-Analysis of Randomized Placebo-Controlled Trials. *J. Clin. Med.* 2019;8(9):1497. <https://doi.org/10.3390/jcm8091497>

68. **Zhiyun L., Tao J., Zengwu S.** Meta-analysis of high-energy extracorporeal shock wave therapy in recalcitrant plantar fasciitis. *Swiss Med. Wkly.* 2013;143:w13825. <https://doi.org/10.4414/smw.2013.13825>

69. **Yin M.C., Ye J., Yao M., Cui X.J., Xia Y., Shen Q.X., Tong Z.Y., Wu X.Q., Ma J.M., Mo W.** Is extracorporeal shock wave therapy clinical efficacy for relief of chronic, recalcitrant plantar fasciitis? A systematic review and meta-analysis of randomized placebo or active-treatment controlled trials. *Arch Phys. Med. Rehabil.* 2014;95(8):1585–1593. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.01.033>

70. **Moretti B., Garofalo R., Patella V., Sisti G.L., Corrado M., Mouhsine E.** Extracorporeal shock wave therapy in runners with a symptomatic heel spur. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2006;14(10):1029–1032. <https://doi.org/10.1007/s00167-005-0025-2>

71. **Rompe J.D., Decking J., Schoellner C., Nafe B.** Shock wave application for chronic plantar fasciitis in running athletes. A prospective, randomized, placebo-controlled trial. *Am. J. Sports Med.* 2003;31(2):268–275. <https://doi.org/10.1177/03635465030310021901>

72. **Белоногов В.Н., Киреев С.И., Киреев С.Н., Семенов Н.С.** Применение ударно-волновой терапии в комплексном лечении плантарного фасциита. *Саратовский научно-медицинский журнал.* 2019;15(4):858–861.

73. **Вихлянцев В.А., Кобелев М.В., Шаповалова Е.М.** Механизм клинической эффективности радиального ударно-волнового метода в лечении плантарного фасциита. *Медицинская наука и образование Урала.* 2020;21(2):84–86. <https://doi.org/10.36361/1814-8999-2020-21-2-84-86>

74. **Dos Santos S.A., Sampaio L.M., Caires J.R., Fernandes G.H.C., Marsico A., Serra A.J., Leal-Junior E.C., de Carvalho P.T.C.** Parameters and Effects of Photobiomodulation in Plantar Fasciitis: A Meta-Analysis and Systematic Review. *Photobiomodul. Photomed. Laser Surg.* 2019;37(6):327–335. <https://doi.org/10.1089/photob.2018.4588>

75. **Москвин С.В., Мазуркевич Е.А.** Лазерная терапия больных подошвенным (плантарным) фасциитом (обзор литературы). *Вестник новых медицинских технологий.* 2017;11(3):203–210. https://doi.org/10.12737/article_596c5d6e81b103.69107662

76. **Wang W., Jiang W., Tang C., Zhang X., Xiang J.** Clinical efficacy of low-level laser therapy in plantar fasciitis: A systematic review and meta-analysis. *Medicine.* 2019;98:e14088. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000014088>

Med. Rehabil. 2013;92(7):606–620. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31828cd42b>

65. **Thomson C.E., Crawford F., Murray G.D.** The effectiveness of extra corporeal shock wave therapy for plantar heel pain: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2005;6:19. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-6-19>

66. **Chang K.V., Chen S.Y., Chen W.S., Tu Y.K., Chien K.L.** Comparative effectiveness of focused shock wave therapy of different intensity levels and radial shock wave therapy for treating plantar fasciitis: a systematic review and network meta-analysis. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2012;93(7):1259–1268. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.02.023>

67. **Wang Y.C., Chen S.J., Huang P.J., Huang H.T., Cheng Y.M., Shih C.L.** Efficacy of Different Energy Levels Used in Focused and Radial Extracorporeal Shockwave Therapy in the Treatment of Plantar Fasciitis: A Meta-Analysis of Randomized Placebo-Controlled Trials. *J. Clin. Med.* 2019;8(9):1497. <https://doi.org/10.3390/jcm8091497>

68. **Zhiyun L., Tao J., Zengwu S.** Meta-analysis of high-energy extracorporeal shock wave therapy in recalcitrant plantar fasciitis. *Swiss Med. Wkly.* 2013;143:w13825. <https://doi.org/10.4414/smw.2013.13825>

69. **Yin M.C., Ye J., Yao M., Cui X.J., Xia Y., Shen Q.X., Tong Z.Y., Wu X.Q., Ma J.M., Mo W.** Is extracorporeal shock wave therapy clinical efficacy for relief of chronic, recalcitrant plantar fasciitis? A systematic review and meta-analysis of randomized placebo or active-treatment controlled trials. *Arch Phys. Med. Rehabil.* 2014;95(8):1585–1593. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.01.033>

70. **Moretti B., Garofalo R., Patella V., Sisti G.L., Corrado M., Mouhsine E.** Extracorporeal shock wave therapy in runners with a symptomatic heel spur. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2006;14(10):1029–1032. <https://doi.org/10.1007/s00167-005-0025-2>

71. **Rompe J.D., Decking J., Schoellner C., Nafe B.** Shock wave application for chronic plantar fasciitis in running athletes. A prospective, randomized, placebo-controlled trial. *Am. J. Sports Med.* 2003;31(2):268–275. <https://doi.org/10.1177/03635465030310021901>

72. **Belonogov V.N., Kireev S.I., Kireev S.N., Semenov N.S.** Shock-wave therapy for combination treatment of plantar fasciitis. *Saratov Journal of Medical Scientific Research.* 2019;15(4):858–861. (In Russ.).

73. **Vikhlyantsev V.A., Kobleev M.V., Shapovalova E.M.** Mechanism of clinical efficiency of radial shock-wave method in treatment of plantar fasciitis. *Medical science and education of the Ural.* 2020;21(2):84–86. (In Russ.). <https://doi.org/10.36361/1814-8999-2020-21-2-84-86>

74. **Dos Santos S.A., Sampaio L.M., Caires J.R., Fernandes G.H.C., Marsico A., Serra A.J., Leal-Junior E.C., de Carvalho P.T.C.** Parameters and Effects of Photobiomodulation in Plantar Fasciitis: A Meta-Analysis and Systematic Review. *Photobiomodul. Photomed. Laser Surg.* 2019;37(6):327–335. <https://doi.org/10.1089/photob.2018.4588>

75. **Moskvin S.V., Mazurkevich E.A.** Low level laser therapy for patients with plantar fasciitis (literature report). *Journal of new medical technologies.* 2017. 11(3):203–210. (In Russ.). https://doi.org/10.12737/article_596c5d6e81b103.69107662

76. **Wang W., Jiang W., Tang C., Zhang X., Xiang J.** Clinical efficacy of low-level laser therapy in plantar fasciitis: A systematic review and meta-analysis. *Medicine.* 2019;98:e14088. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000014088>

77. Mendes A.A.M.T., Silva H.J.A., Costa A.R.A., Pinheiro Y.T., Lins C.A.A., de Souza M.C. Main types of insoles described in the literature and their applicability for musculoskeletal disorders of the lower limbs: A systematic review of clinical studies. *J. Bodyw. Mov. Ther.* 2020;24(4):29–36. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2020.06.001>

78. Schuitema D., Greve C., Postema K., Dekker R., Hijmans J.M. Effectiveness of Mechanical Treatment for Plantar Fasciitis: A Systematic Review. *J. Sport Rehabil.* 2019;29(5):657–674. <https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0036>

79. Rasenberg N., Riel H., Rathleff M.S., Bierma-Zeinstra S.M.A., van Middelkoop M. Efficacy of foot orthoses for the treatment of plantar heel pain: a systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 2018;52(16):1040–1046. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097892>

80. Hawke F., Burns J., Radford J.A., du Toit V. Custom-made foot orthoses for the treatment of foot pain. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2008;(3):CD006801. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006801.pub2>

81. Healy A., Farmer S., Pandyan A., Chockalingam N. A systematic review of randomised controlled trials assessing effectiveness of prosthetic and orthotic interventions. *PLoS One.* 2018;13(3):e0192094. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192094>

82. Podolsky R., Kalichman L. Taping for plantar fasciitis. *J. Back Musculoskelet. Rehabil.* 2015;28(1):1–6. <https://doi.org/10.3233/BMR-140485>

83. van de Water A.T., Speksnijder C.M. Efficacy of taping for the treatment of plantar fasciosis: a systematic review of controlled trials. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* 2010;100(1):41–51. <https://doi.org/10.7547/1000041>

84. Huffer D., Hing W., Newton R., Clair M. Strength training for plantar fasciitis and the intrinsic foot musculature: A systematic review. *Phys. Ther. Sport.* 2017;24:44–52. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2016.08.008>

85. Lee J.H., Park J.H., Jang W.Y. The effects of hip strengthening exercises in a patient with plantar fasciitis: A case report. *Medicine (Baltimore).* 2019;98(26):e16258. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000016258>

86. Siriphorn A., Eksakulkla S. Calf stretching and plantar fascia-specific stretching for plantar fasciitis: A systematic review and meta-analysis. *J. Bodyw. Mov. Ther.* 2020;24(4):222–232. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2020.06.013>

87. Sweeting D., Parish B., Hooper L., Chester R. The effectiveness of manual stretching in the treatment of plantar heel pain: a systematic review. *J. Foot Ankle Res.* 2011;4:19. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-4-19>

88. Woitzik E., Jacobs C., Wong J.J., Côté P., Shearer H.M., Randhawa K., et al. The effectiveness of exercise on recovery and clinical outcomes of soft tissue injuries of the leg, ankle, and foot: A systematic review by the Ontario Protocol for Traffic Injury Management (OPTiMa) Collaboration. *Man. Ther.* 2015;20(5):633–645. <https://doi.org/10.1016/j.math.2015.03.012>

89. Brantingham J.W., Bonnefin D., Perle S.M., Cassa T.K., Globe G., Pribicevic M., Hicks M., Korpelaar C. Manipulative therapy for lower extremity conditions: update of a literature review. *J. Manipulative Physiol. Ther.* 2012;35(2):127–166. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2012.01.001>

90. Piper S., Shearer H.M., Côté P., Wong J.J., Yu H., Varatharajan S., et al. The effectiveness of soft-tissue therapy for the management of musculoskeletal disorders and injuries of the upper and lower extremities: A systematic review by the Ontario Protocol for

77. Mendes A.A.M.T., Silva H.J.A., Costa A.R.A., Pinheiro Y.T., Lins C.A.A., de Souza M.C. Main types of insoles described in the literature and their applicability for musculoskeletal disorders of the lower limbs: A systematic review of clinical studies. *J. Bodyw. Mov. Ther.* 2020;24(4):29–36. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2020.06.001>

78. Schuitema D., Greve C., Postema K., Dekker R., Hijmans J.M. Effectiveness of Mechanical Treatment for Plantar Fasciitis: A Systematic Review. *J. Sport Rehabil.* 2019;29(5):657–674. <https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0036>

79. Rasenberg N., Riel H., Rathleff M.S., Bierma-Zeinstra S.M.A., van Middelkoop M. Efficacy of foot orthoses for the treatment of plantar heel pain: a systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 2018;52(16):1040–1046. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097892>

80. Hawke F., Burns J., Radford J.A., du Toit V. Custom-made foot orthoses for the treatment of foot pain. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2008;(3):CD006801. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006801.pub2>

81. Healy A., Farmer S., Pandyan A., Chockalingam N. A systematic review of randomised controlled trials assessing effectiveness of prosthetic and orthotic interventions. *PLoS One.* 2018;13(3):e0192094. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192094>

82. Podolsky R., Kalichman L. Taping for plantar fasciitis. *J. Back Musculoskelet. Rehabil.* 2015;28(1):1–6. <https://doi.org/10.3233/BMR-140485>

83. van de Water A.T., Speksnijder C.M. Efficacy of taping for the treatment of plantar fasciosis: a systematic review of controlled trials. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* 2010;100(1):41–51. <https://doi.org/10.7547/1000041>

84. Huffer D., Hing W., Newton R., Clair M. Strength training for plantar fasciitis and the intrinsic foot musculature: A systematic review. *Phys. Ther. Sport.* 2017;24:44–52. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2016.08.008>

85. Lee J.H., Park J.H., Jang W.Y. The effects of hip strengthening exercises in a patient with plantar fasciitis: A case report. *Medicine (Baltimore).* 2019;98(26):e16258. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000016258>

86. Siriphorn A., Eksakulkla S. Calf stretching and plantar fascia-specific stretching for plantar fasciitis: A systematic review and meta-analysis. *J. Bodyw. Mov. Ther.* 2020;24(4):222–232. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2020.06.013>

87. Sweeting D., Parish B., Hooper L., Chester R. The effectiveness of manual stretching in the treatment of plantar heel pain: a systematic review. *J. Foot Ankle Res.* 2011;4:19. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-4-19>

88. Woitzik E., Jacobs C., Wong J.J., Côté P., Shearer H.M., Randhawa K., et al. The effectiveness of exercise on recovery and clinical outcomes of soft tissue injuries of the leg, ankle, and foot: A systematic review by the Ontario Protocol for Traffic Injury Management (OPTiMa) Collaboration. *Man. Ther.* 2015;20(5):633–645. <https://doi.org/10.1016/j.math.2015.03.012>

89. Brantingham J.W., Bonnefin D., Perle S.M., Cassa T.K., Globe G., Pribicevic M., Hicks M., Korpelaar C. Manipulative therapy for lower extremity conditions: update of a literature review. *J. Manipulative Physiol. Ther.* 2012;35(2):127–166. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2012.01.001>

90. Piper S., Shearer H.M., Côté P., Wong J.J., Yu H., Varatharajan S., et al. The effectiveness of soft-tissue therapy for the management of musculoskeletal disorders and injuries of the upper and lower extremities: A systematic review by the Ontario Protocol for

Traffic Injury management (OPTIMa) collaboration. *Man. Ther.* 2016;21:18–34. <https://doi.org/10.1016/j.math.2015.08.011>

91. Fraser J.J., Corbett R., Donner C., Hertel J. Does manual therapy improve pain and function in patients with plantar fasciitis? A systematic review. *J. Man. Manip. Ther.* 2018;26(2):55–65. <https://doi.org/10.1080/10669817.2017.1322736>

92. Mischke J.J., Jayaseelan D.J., Sault J.D., Emerson Kavchak A.J. The symptomatic and functional effects of manual physical therapy on plantar heel pain: a systematic review. *J. Man. Manip. Ther.* 2017;25(1):3–10. <https://doi.org/10.1080/10669817.2015.1106818>

93. Reeves K.D., Sit R.W.S., Rabago D.P. Dextrose prolotherapy: a narrative review of basic science, clinical research, and best treatment recommendations. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 2016;27(4):783–823. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2016.06.001>

94. Distel L.M., Best T.M. Prolotherapy: a clinical review of its role in treating chronic musculoskeletal pain. *PM&R.* 2011;3:S78–S81. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2011.04.003>

95. Lai W.F., Yoon C.H., Chiang M.T., Hong Y.-H., Chen H.-C., Song W., Chin Y.P.H. The effectiveness of dextrose prolotherapy in plantar fasciitis: A systemic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2021;100(51):e28216. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000028216>

96. Серeda А.П., Мойсов А.А., Сметанин С.М. Плантарный фасцит: диагностика и лечение. *Байкальский медицинский журнал.* 2016;143(4):5–9.

97. Malahias M.A., Cantiller E.B., Kadu V.V., Müller S. The clinical outcome of endoscopic plantar fascia release: A current concept review. *Foot Ankle Surg.* 2020;26(1):19–24. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2018.12.006>

98. Резник Л.Б., Ерофеев С.А., Силантьев В.Н., Турушев М.А., Кузнецов Н.К. Современное состояние проблемы хирургического лечения подошвенного фасциоза (обзор литературы). *Гений ортопедии.* 2018;24(4):515–520. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2018-24-4-515-520>

99. Saxena A. Uniportal endoscopic plantar fasciotomy: a prospective study on athletic patients. *Foot Ankle Int.* 2004;25(12):882–889. <https://doi.org/10.1177/107110070402501207>

100. Nielsen R.O., Rønnow L., Rasmussen S., Lind M. A prospective study on time to recovery in 254 injured novice runners. *PLoS One.* 2014;9(6):e99877. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099877>

101. Miller L.E., Latt D.L. Chronic Plantar Fasciitis is Mediated by Local Hemodynamics: Implications for Emerging Therapies. *N. Am. J. Med. Sci.* 2015;7(1):1–5. <https://doi.org/10.4103/1947-2714.150080>

102. Белякова А.М., Серeda А.П., Самойлов А.С. Диагностика и лечение пяточной боли в клинической практике. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2016;6(2):60–67. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2016.2.60>

103. Saxena A., Fullem B. Plantar fascia ruptures in athletes. *Am. J. Sports Med.* 2004;32(3):662–665. <https://doi.org/10.1177/0363546503261727>

Traffic Injury management (OPTIMa) collaboration. *Man. Ther.* 2016;21:18–34. <https://doi.org/10.1016/j.math.2015.08.011>

91. Fraser J.J., Corbett R., Donner C., Hertel J. Does manual therapy improve pain and function in patients with plantar fasciitis? A systematic review. *J. Man. Manip. Ther.* 2018;26(2):55–65. <https://doi.org/10.1080/10669817.2017.1322736>

92. Mischke J.J., Jayaseelan D.J., Sault J.D., Emerson Kavchak A.J. The symptomatic and functional effects of manual physical therapy on plantar heel pain: a systematic review. *J. Man. Manip. Ther.* 2017;25(1):3–10. <https://doi.org/10.1080/10669817.2015.1106818>

93. Reeves K.D., Sit R.W.S., Rabago D.P. Dextrose prolotherapy: a narrative review of basic science, clinical research, and best treatment recommendations. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 2016;27(4):783–823. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2016.06.001>

94. Distel L.M., Best T.M. Prolotherapy: a clinical review of its role in treating chronic musculoskeletal pain. *PM&R.* 2011;3:S78–S81. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2011.04.003>

95. Lai W.F., Yoon C.H., Chiang M.T., Hong Y.-H., Chen H.-C., Song W., Chin Y.P.H. The effectiveness of dextrose prolotherapy in plantar fasciitis: A systemic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2021;100(51):e28216. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000028216>

96. Sereda A.P., Moysov A.A., Smetanin S.M. Plantar fasciitis: diagnosis and treatment. *Baikal Medical Journal.* 2016;143(4):5–9. (In Russ.).

97. Malahias M.A., Cantiller E.B., Kadu V.V., Müller S. The clinical outcome of endoscopic plantar fascia release: A current concept review. *Foot Ankle Surg.* 2020;26(1):19–24. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2018.12.006>

98. Reznik L.B., Erofeev S.A., Silantiev V.N., Turushev M.A., Kuznetsov N.K. Current approaches to surgical treatment of plantar fasciitis (literature review). *Genij Ortopedii.* 2018;24(4):515–520. (In Russ.). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2018-24-4-515-520>

99. Saxena A. Uniportal endoscopic plantar fasciotomy: a prospective study on athletic patients. *Foot Ankle Int.* 2004;25(12):882–889. <https://doi.org/10.1177/107110070402501207>

100. Nielsen R.O., Rønnow L., Rasmussen S., Lind M. A prospective study on time to recovery in 254 injured novice runners. *PLoS One.* 2014;9(6):e99877. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099877>

101. Miller L.E., Latt D.L. Chronic Plantar Fasciitis is Mediated by Local Hemodynamics: Implications for Emerging Therapies. *N. Am. J. Med. Sci.* 2015;7(1):1–5. <https://doi.org/10.4103/1947-2714.150080>

102. Belyakova A.M., Sereda A.P., Samoilov A.S. Diagnosis and treatment of heel pain in clinical practice. *Sports medicine: research and practice.* 2016;6(2):60–67. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2016.2.60>

103. Saxena A, Fullem B. Plantar fascia ruptures in athletes. *Am. J. Sports Med.* 2004;32(3):662–665. <https://doi.org/10.1177/0363546503261727>

Информация об авторах:

Сливин Антон Вячеславович*, младший научный сотрудник ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Россия, 121059, Москва, ул. Б. Дорогомилловская, 5; аспирант кафедры реабилитации, спортивной медицины и физической культуры педиатрического факультета, ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Россия, 117513, Москва, ул. Островитянова, 1, стр. 6 (anton-slivin@mail.ru)

Парастаев Сергей Андреевич, профессор, д.м.н., заместитель директора по научной работе ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Россия, 121059, Москва, ул. Б. Дорогомилловская, 5

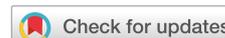
ловская, 5; профессор кафедры реабилитации, спортивной медицины и физической культуры педиатрического факультета ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Россия, 117513, Москва, ул. Островитянова, 1, стр. 6 (sergeyparastaev@gmail.com)

Information about the authors:

Anton V. Slivin*, junior researcher of Federal Research and Clinical Center of Sports Medicine and Rehabilitation of Federal Medical and Biological Agency, Russia, 121059, Moscow, B. Dorogomilovskaya str., 5; postgraduate student of Rehabilitation and Sports Medicine Department of the Pirogov Russian National Research Medical University, Russia, 117513, Moscow, Ostrovityanova str., 1, building 6 (anton-slivin@mail.ru)

Sergey A. Parastaev, M.D., D.Sc. (Medicine), Prof. Deputy Director for Research of the Federal Research and Clinical Center of Sports Medicine and Rehabilitation of Federal Medical and Biological Agency, Russia, 121059, Moscow, B. Dorogomilovskaya str., 5; Professor of the Department of Rehabilitation, Sports Medicine and Physical Culture of the Pirogov Russian National Research Medical University, Russia, 117513, Moscow, Ostrovityanova str., 1, building 6 (sergeyparastaev@gmail.com)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Влияние некоторых компонентов специализированных продуктов для спортсменов на кишечный микробиом и связанные с ним показатели макроорганизма

И.В. Кобелькова^{1,2,*}, М.М. Коростелева^{1,3}

¹ ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Москва, Россия

² Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр» ФМБА, Москва, Россия

³ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель: анализ данных литературы о влиянии некоторых компонентов специализированных пищевых продуктов для спортсменов на качественный и количественный состав кишечного микробиома и связанные с ним показатели макроорганизма.

Материалы и методы: поиск в крупнейших базах данных статей на английском и русском языках без ограничения глубины поиска по времени с использованием ключевых слов «специализированные пищевые продукты», «биологически активные вещества», «спортсмены», «питание», «микробиом», «микробиота», «supplements», «microbiota», «microbiome» «athletes», «nutrition».

Результаты: показано, что нормализация рациона, а следовательно, и пищевого статуса, дефицитного по некоторым макро- и микроэлементам, витаминам и антиоксидантам, возможна не только с использованием биологически активных добавок, содержащих эти и другие вещества, но и за счет потребления про- и пребиотиков, модулирующих и создающих благоприятные условия для поддержания оптимального состава кишечной микробиоты и эндогенного синтеза различных биологически активных веществ. Установлено участие микрофлоры в поддержании функциональной активности желудочно-кишечного тракта, обеспечении адекватного иммунного ответа, поддержании кислотно-щелочного баланса и водно-солевого обмена, синтезе ряда биологически активных веществ.

Заключение: оптимизация рационов питания спортсменов с использованием специализированной пищевой продукции, оказывающей модулирующее действие на микрофлору, занимает важное место в поддержании здоровья и работоспособности. При этом в большинстве проведенных исследований участвовали животные и требуется проведение исследований с участием больших выборок физически активных добровольцев и спортсменов разного уровня.

Ключевые слова: специализированные пищевые продукты, биологически активные добавки, питание, микробиом, спортсмены

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кобелькова И.В., Коростелева М.М. Влияние некоторых компонентов специализированных продуктов для спортсменов на кишечный микробиом и связанные с ним показатели макроорганизма. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(1):65–79. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.7>

Поступила в редакцию: 26.12.2023

Принята к публикации: 01.02.2024

Online first: 09.02.2024

Опубликована: 26.08.2024

* Автор, ответственный за переписку

Influence of some components of specialized products for athletes on the intestinal microbiome and related macroorganism indicators

Irina V. Kobelkova^{1,2,*}, Margarita M. Korosteleva^{1,3}

¹ Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

² Academy of Postgraduate Education of Scientific and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia

³ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

ABSTRACT

Purpose: to analyze literature data on the influence of some components of specialized food products for athletes on the qualitative and quantitative composition of the intestinal microbiome and related indicators of the macroorganism.

Materials and methods: The selection of current scientific articles was carried out in open electronic databases: Web of Science, Scopus, PubMed, ncbi, Scientific Electronic Library of the Russian Federation (elibrary.ru), Russian State Library and others. The search depth is not limited. Results. It has been shown that normalization of the diet, and therefore the nutritional status, deficient in some macro- (calcium, magnesium), microelements (iron, zinc), vitamins (A, B₁, B₂, B₆, folates, B₁₂, D), antioxidants, is possible not only with the help of dietary supplements containing these and other (L-carnitine, caffeine) substances, but to a significant extent this improvement is possible through the consumption of pro- and prebiotics, modulating and creating favorable conditions for maintaining the optimal composition of the intestinal microbiota and endogenous synthesis of various biologically active substances. The participation of microflora in maintaining the integrity of the functional activity of the gastrointestinal tract, ensuring an adequate immune response, maintaining acid-base balance and water-salt metabolism, and the synthesis of a number of biologically active substances has been established. Most studies have been conducted on animals.

Conclusion: optimization of athletes' diets using specialized food products that have a modulating effect on microflora plays an important role in maintaining health and performance. The issue requires further study with the participation of volunteers.

Keywords: specialized food products, dietary supplements, nutrition, microbiome, athletes

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

For citation: Kobelkova I.V., Korosteleva M.M. Influence of some components of specialized products for athletes on the intestinal microbiome and related macroorganism indicators. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(1):65–79. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.7>

Received: 26 December 2023

Accepted: 01 February 2024

Online first: 09 February 2024

Published: 26 August 2024

*Corresponding author

1. Введение

Значительные энерготраты спортсменов большинства видов спорта требуют восполнения за счет обеспечения достаточной энергетической ценности, большого объема и массы пищевых продуктов. В то же время промежутки между приемами пищи и началом тренировки или соревнования не всегда достаточны для завершения процессов пищеварения. В этом случае целесообразно быстрое поступление необходимого дополнительного компактного количества легкоусвояемых белков, жиров, углеводов, макро- и микроэлементов, в том числе витаминов и других биологически активных веществ, в виде специализированных пищевых продуктов (СПП) и биологически активных добавок (БАД) как дополнения к базовому рациону. Ряд исследований подтверждает тот факт, что оптимальное питание, в том числе с включением СПП и БАД, отвечающее потребностям в энергии и пищевых веществах с соблюдением режима (по времени приема, количеству и химическому

составу пищи), является одним из ключевых моментов при составлении программы тренировок спортсменов [1]. Ранее уже были проанализированы данные о взаимосвязи особенностей рациона питания, интенсивности тренировочного процесса и характеристик кишечного микробиома, а также оценены ассортимент и частота выбора наиболее популярных видов специализированной пищевой продукции, в том числе исходя из их основных действующих компонентов [2, 3].

Хорошо известны эффекты влияния отдельных нутриентов, входящих в СПП и БАД, на массу и состав тела, соотношение про- и противовоспалительных цитокинов, показатели кислотно-щелочного равновесия и антиоксидантной защиты, заболеваемость острыми респираторными инфекциями, работоспособность и скоростно-силовые характеристики спортсменов [4]. Однако роль некоторых компонентов СПП и БАД для спортсменов в отношении модуляции кишечного микробиома, влияющего на функциональное состояние

желудочно-кишечного тракта, изучена недостаточно. В соответствии с официальной терминологией, принятой на территории Российской Федерации, в статье используется определение микробиом, под которой подразумевается динамичная совокупность ассоциированных с организмом человека микроорганизмов (бактерий, архей, вирусов, грибов, простейших), их фагов, белков и других дериватов, присутствующих в открытых наружу полостях и органах и на коже (современный эквивалент понятия «микробиота») [5].

Целью проведенного исследования является анализ данных литературы о влиянии некоторых компонентов специализированных пищевых продуктов для спортсменов на качественный и количественный состав кишечного микробиома и связанные с ним показатели макроорганизма.

2. Материалы и методы

Поиск научных статей проводили в базах данных: Web of Science, Scopus, Pubmed, научной электронной библиотеки РФ (elibrary.ru) и Российской государственной библиотеки без ограничения глубины поиска по времени. Предметом исследования являлось изучение влияния некоторых компонентов специализированных пищевых продуктов (СПП) и биологически активных добавок к пище (БАД) на состав кишечного микробиома и его оптимизацию у спортсменов. Подробный анализ каждой отобранной статьи осуществляли на основе соответствия цели представленного обзора, а также в соответствии с критериями включения. Поиск статей проводился по ключевым словам «специализированные пищевые продукты», «биологически активные вещества», «спортсмены», «питание», «микробиом», «микробиота», «supplements», «microbiota», «microbiome» «athletes», «nutrition» с использованием логических операторов И/ИЛИ и AND/OR.

3. Результаты

По заданным ключевым словам найдено 137 статей (из которых 42 обзора и один метаанализ), в которых оценивалось влияние введения в рацион определенных компонентов СПП и БАД на микробиом (табл. 1).

Следует отметить, что оценка эффекта от введения компонента специализированного пищевого продукта на любые параметры пищевого статуса и кишечного микробиома крайне затруднена без анализа его вклада в базовый рацион питания, полученного после суммарной количественной оценки поступления каждого из нутриентов как из традиционных продуктов питания, так и из СПП. В целях подтверждения качества (наличия и количества заявленных веществ) и безопасности все СПП и БАД должны пройти процедуру государственной регистрации в установленном порядке. В России спортсмены высокого уровня получают в период проведения сборов и соревнований только те продукты, которые включены в ежегодно обновляемый «Формуляр

лекарственных средств, биологически активных добавок к пище и изделий медицинского назначения Федерального медико-биологического агентства России, используемых для медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации» [29].

4. Дискуссия

Длительность приема, минимальная эффективная доза и способ введения (однократная суточная или разделенная на несколько приемов доза, форма СПП и БАД) конкретного пробиотического штамма являются факторами, определяющими степень его влияния на показатели адаптационного потенциала спортсменов и их профессиональную успешность. Для улучшения воспроизводимости и повышения точности результатов исследований по изучению эффективности влияния пробиотиков на состояние здоровья лиц, вводящих их в рацион, в том числе спортсменов, в протоколе исследований необходимо избежать нескольких важных методологических ошибок. Информация на этикетке СПП и БАД, содержащих пробиотики, должна включать род, вид, штамм каждого живого микроорганизма и его количество на момент окончания срока годности, измеренное в колониеобразующих единицах (КОЕ/г) [32]. Соукеиро и соавт. [33] отметили, что в спортивной практике прием пробиотических микроорганизмов должен осуществляться не менее чем за 14 дней до начала соревнований, поэтому результаты краткосрочных исследований следует оценивать с осторожностью.

Механизм действия пробиотических микроорганизмов многофакторен и зависит от штамма. Пробиотические штаммы подавляют патогенные бактерии как *in vitro*, так и *in vivo* с помощью нескольких механизмов. К ним относят выработку непосредственно ингибирующих соединений (например, бактериоцинов), снижение pH в просвете кишечника за счет выработки короткоцепочечных жирных кислот (которые сами по себе могут быть непосредственно ингибирующими для определенных патогенов), конкуренцию за пищевые вещества и участки адгезии на стенке кишечника, модуляцию иммунного ответа и регуляцию экспрессии генов колоноцитов (например, экспрессию генов муцина) [34]. Roberts и соавт. продемонстрировали, что комбинированное применение при высоких физических нагрузках у триатлонистов про- и пребиотиков с несколькими штаммами может снизить уровень эндотоксинов в крови и выраженность симптоматики со стороны желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), потенциально оказывает аддитивный эффект за счет комбинированной модуляции кишечного микробиома и антиоксидантной защиты [7].

Ген Fiaf в эпителиальных клетках кишечника (ЭКК) является важнейшим регулятором энергетического гомеостаза, а также множества процессов, включая клеточную функцию, поддержание, структуру и развитие

Таблица

Table

Характеристика влияния компонентов СПП и БАД на кишечный микробиом [6]

Characteristics of the effect of the components of food supplements on the intestinal microbiome [6]

№	СПП/ БАД/ Supple- ments	Компонент / Components	Модели / Models	Размер вы- борки / Sample size	Схема введения / Protocols	Влияние на таксономию микро- биома и ЖКТ / Impact on the taxonomy of the microbiome and GIT	Источник / Referenses
1		1) <i>Lactobacillus</i> (<i>L.</i>) <i>acidophilus</i> , <i>L. acidophilus</i> CUL-60 [NCIMB 30157], <i>L. acidophilus</i> CUL-21 [NCIMB 30156]), <i>Bifidobacterium</i> <i>bifidum</i> (В.в.) и <i>lactis</i> , В.в. CUL-20 [NCIMB 30172], В. animalis subspecies <i>lactis</i> CUL-34 [NCIMB 30153], 2) ФОС, 3) α-липоевая кислота, 4) N-ацетил-карнитин)	Триатлонисты (любители)	n = 30 (25 мужчин и 5 женщин)	1) 10 ⁹ КОЕ/сут, 2) 55,8 мг/сут, 3) 400 мг/сут, 4) 600 мг/сут; утром в течение 12-недельного пери- ода перед гонкой и 6-дневного периода после	↓ тяжести симптомов со стороны ЖКТ; ↑ <i>Bifidobacteria</i> ↓ <i>Firmicutes</i> ↓ <i>Bacteroides</i>	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B156- nutrients-12-000177]
2		<i>Lactobacillus rhamnosus</i> CNCM1-4317 (19 штаммов)	Эпителиаль- ные клетки кишечника человека. Мыши	n = 18	11 дней	Транскриптомная модуляция гена Fiaf в эпителиальных клет- ках кишечника человека ↑ <i>Lactobacilli</i>	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B157- nutrients-12-000178]
3	БАД с про- биотиками	<i>Lactobacillus plantarum</i> TWK10	Мыши	n = 24	LP10-1X: 1 капсула 2,05 × 10 ⁸ КОЕ/кг/ сут и LP10-5X: 1,03 × 10 ⁹ КОЕ/кг 6 не- дель	Влияние на ЖКТ не оценивалось, ↑ <i>Lactobacilli</i>	[9https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B159- nutrients-12-00017]
4		<i>Lactobacillus plantarum</i> TWK10	Взрослые мужчины	n = 16	1 капсула/сут 6 недель	Влияние на ЖКТ не оценивалось, ↑ <i>Lactobacilli</i>	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B160- nutrients-12-0001710]
5		<i>Saccharomyces boulardii</i>	Крысы-самцы линии Wistar	n = 26	10 ⁸ КОЕ/кгМТ сут 10 дней	Влияние на ЖКТ не оценивалось, ↑ <i>Saccharomyces</i> ↑ <i>Bacteroides</i> ↓ <i>Firmicutes</i> ↓ <i>Proteobacteria</i> ↓ <i>Tenericutes</i>	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B163- nutrients-12-0001711]
6		<i>Lactobacillus Casei</i>	Пациенты с синдромом хронической усталости	n = 39	26 × 10 ⁹ КОЕ/ сут 8 недель	Влияние на ЖКТ не оценивалось, ↑ <i>Lactobacillus</i> ; ↑ <i>Bifidobacteria</i>	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B176- nutrients-12-0001712]

Таблица. Продолжение
Table. Continuation

№	СПП/ БАД/ Supple- ments	Компонент / Components	Модели / Models	Размер вы- борки / Sample size	Схема введения / Protocols	Влияние на таксономию микро- биота и ЖКТ / Impact on the taxonomy of the microbiome and GIT	Источник / References
7		<i>L. fermentum</i>	Велосипеди- сты	<i>n</i> = 99, 64 мужчины и 35 женщин	1 × 10 ⁹ КОЕ/сут, 11 недель	Снижение тяжести симптомов со стороны ЖКТ, ↑ <i>Lactobacillus</i>	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B176- nutrients-12-0001713]
8		<i>Lactobacillus helveticus Lafti L10</i>		39 элитных спортсменов различных видов спорта	2 × 10 ¹⁰ КОЕ/сут, 14 недель	Влияние на ЖКТ не оценива- лось, снижение заболеваемости ОРВИ, ↑ <i>Lactobacillus</i>	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B176- nutrients-12-0001714]
9	БАД с про- биотиками	<i>Bifidobacterium adolescentis</i> DSM 18350, <i>B. adolescentis</i> DSM 18352 и <i>Bifidobacterium pseudocatenulatum</i> DSM 18353	Здоровые добровольцы	<i>n</i> = 23	5 × 10 ⁹ КОЕ/сут	Установлено ↑ фолатов в кале, ↑ <i>B. adolescentis</i> DSM 18350, ↑ <i>B. adolescentis</i> DSM 18352 и ↑ <i>B. pseudocatenulatum</i> DSM 18353	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B176- nutrients-12-0001715]
10	Кисломо- лочный продукт, содер- жащий штамм	<i>Propionibacterium freudenreichii</i> B2336, <i>Lactococcus lactis pNZGВАН</i>	Крысы с дефицитом рибофлавина	-	4 недели	Оценена безопасность штаммов, ↑ рибофлавина, ↑ <i>Propionibacterium</i> , ↑ <i>Lactococcus</i>	[16]
11	БАД	Витамин D ₃	Люди	<i>n</i> = 16	980 МЕ/кг массы тела 4 недели/ 490 МЕ/кг массы тела 4 недели	Верхние отделы желудочно- кишечного тракта: <i>Gaitaroproteobacteria</i> (↓ <i>Pseudomonas</i> spp.; ↓ <i>Escherichia/Shigella</i> spp.); Существенных изменений в терминальном отделе желудоч- но-кишечного тракта нет	[https://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/ PMC7019274/ - B213- nutrients-12-0001717]
12	БАД	Витамин E	Мыши	-	0,06 мг/20гМТ/сут и 0,18 мг/20гМТ/сут; 34 сут	Изменение <i>Firmicutes/Bacteroidetes</i>	[18]
13	Чистые субстан- ции	Цианокобаламин	Мыши с вос- палительным заболеванием кишечника (ВЗК)	-	Высокие дозировки	Усиление симптомов ВЗК ↑ <i>Escherichia/Shigella</i> ↑ <i>Enterobacteriaceae</i> ↓ <i>Lactobacillus</i> , ↓ <i>Blautia</i> и ↓ <i>Clostridium</i> XVIII	[19]

Таблица. Продолжение
 Table. Continuation

№	СПП/ БАД/ Supple- ments	Компонент / Components	Модели / Models	Размер вы- борки / Sample size	Схема введения / Protocols	Влияние на таксономию микро- биота и ЖКТ / Impact on the taxonomy of the microbiome and GIT	Источники / Referenses
14	Обогащен- ный хлеб	Ca	Люди, здоро- вые добро- вольцы 25 лет	n = 32	хлеб, с фосфатом кальция (1 г / день) + пробиотический напиток 10 ¹⁰ (КОЕ) / сут, 4 недели	↑ <i>Lactobacillus</i>	[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7019274/ - B213-nutrients-12-0001720]
	Рацион, обога- щенный оксидом цинка	Zn	Поросята без грудного вскармлива- ния с 26-го дня от рождения	n = 16	57 или 2425 мг/ кгМТ, 5 недель	↓ <i>Enterobacteriaceae</i> ↓ <i>Escherichia</i> , ↓ <i>Lactobacillus</i> spp.	[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7019274/ - B213-nutrients-12-0001721]
15	Вода, обо- гащенная бикарбона- тами	Бикарбонат натрия	Люди	n = 19	2,5 г/л 500 мл/сут 7 дней	↑ <i>Christensenmellaceae</i> ↑ <i>Dehalobacteriaceae</i> ↓ <i>Bifidobacteriaceae</i>	[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7019274/ - B207-nutrients-12-0001722]
16	БАД с ПНЖК омега-3	Смесь эйкозапентаеновой кислоты и докозагексаеновой кислоты	Люди	n = 22	4 г /сут 8 недель	↑ <i>Bifidobacterium</i> , ↑ <i>Roseburia</i> , ↑ <i>Lactobacillus</i>	[23]
17		Флавонолы (кверцетин)	Крысы линии Wistar	23 (n = 5-6/ группа)	30 мг/кг массы тела/ сут 6 недель	↓ соотношение <i>Firmicutes</i> : <i>Bacteroidetes</i> ↓ <i>Erysipelotrichaceae</i> , ↓ <i>Bacillus</i> , ↓ <i>Eubacterium</i> <i>cylindroides</i>	[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7019274/ - B141-nutrients-12-0001724]
18	БАД с антиокси- дантами	Антиоксиданты	Мыши	n = 36	Экстракт клюквы (200 мг/кг) 8 недель	↑ <i>Akkermansia</i>	[25]
19		Экстракт граната (эллагитаннин)	Здоровые добровольцы	n = 20	1000 мг в течение 4 недель	↑ <i>Actinobacteria</i> ; ↓ <i>Firmicutes</i>	[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7019274/ - B143-nutrients-12-0001726]
20		Растворимый кофе в порошке	Люди	n = 16	3,4 г кофе, 3 р/сут 3 недели	↑ <i>Bifidobacterium</i> spp.	[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7019274/ - B234-nutrients-12-0001727]
21	Кофеин	Экстракт зеленого чая	Люди	n = 58	0,27-0,45 г/сут кофеина 12 недель	Не влияет на состав микробиоты	[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7019274/ - B235-nutrients-12-0001728]

лимфоидной ткани, липидный и углеводный обмен, иммунную систему. Показано, что штамм *Lactobacillus rhamnosus* CNCM1-4317 индуцировал экспрессию гена Fiaf в ЭКК человека и повышал уровень циркулирующего белка FIAF у мышей. Этот эффект сопровождался транскриптомной модуляцией нескольких путей, включая иммунный ответ и метаболизм *in vitro* [8]. Было показано, что прием *L. plantarum* TWK10 ($1,03 \times 10^9$ КОЕ/кгМТсут) в сочетании с физической нагрузкой у мышей статистически достоверно повышал поедаемость корма, при этом снижалась общая масса тела и одновременно увеличивалось количество мышечных волокон 1-го типа в икроножной мышце, улучшались биохимические показатели крови, снижались уровни лактата, аммиака, креатинкиназы по сравнению с группой животных, принимавшей плацебо [9]. Huang и соавт. продемонстрировали, что ведение данного штамма в течение 6 недель в рацион 16 мужчин-добровольцев в двойном слепом плацебо-контролируемом клиническом исследовании показало аналогичные результаты [10].

В просвете кишечника *S. boulardii* может воздействовать на патогенные токсины, сохранять клеточную физиологию, препятствовать прикреплению патогена, взаимодействовать с нормальной микробиотой или способствовать восстановлению уровня короткоцепочечных жирных кислот, являющихся энергетическими метаболитами, а также действовать как иммунный регулятор как в просвете ЖКТ, так и системно. Так, было показано, что введение в рацион *S. boulardii* в течение 10 дней не изменяло значения скорости потребления кислорода или механическую эффективность при субмаксимальной интенсивности упражнений. Напротив, при переутомлении максимальное потребление кислорода было увеличено на 12,7 % ($p = 0,01$), а максимальная скорость бега — на 12,4 % ($p < 0,05$) у крыс основной группы по сравнению с контрольной [11].

Также было установлено значительное снижение симптомов тревоги среди людей, которые принимали *Lactobacillus casei* штамма Shirota по сравнению с контрольной группой ($p = 0,01$) на фоне значительного повышения содержания в кишечном микробиоме как лактобацилл, так и бифидобактерий. Эти результаты еще раз подтверждают наличие взаимодействия между кишечником и высшими отделами нервной системы, которое может быть опосредовано микроорганизмами, находящимися в ЖКТ [12].

Показано положительное влияние БАД, содержащих пробиотические микроорганизмы, на снижение заболеваемости респираторными инфекциями, однако результаты исследований по изучению влияния данной специализированной продукции на производительность спортсменов неоднозначны. Введение *L. fermentum* (PCC®) в течение 11 недель в рацион существенно сократило продолжительность и тяжесть симптомов заболеваний нижних дыхательных путей велосипедистов ($n = 99$), а количество лактобацилл в составе кишечного

микробиома увеличилось в 7,7 и 2,2 раза среди мужчин и женщин соответственно. В этой же выборке наблюдалось существенное уменьшение выраженности различных патологических симптомов со стороны желудочно-кишечного тракта [13]. Введение в рацион в течение 14 недель *Lactobacillus helveticus* Lafti L10 ($10,2 \times 10^{10}$ КОЕ) в составе биологически активных добавок 39 элитным спортсменам из разных видов спорта достоверно снижало продолжительность острых инфекций верхних дыхательных путей [14].

Неоптимальное содержание витаминов микроэлементов в рационе может негативно влиять на видовой состав и функциональную активность микробиома кишечника. Фолиевая кислота участвует в регуляции репликации ДНК, синтезе пуринов и дезокситимидина (dTMP), превращении гомоцистеина в метионин, катаболизме гистидина и правильной дифференцировке нервной трубки во время органогенеза плода. Фолиевая кислота из пищевых источников почти полностью всасывается в тонком кишечнике, в основном в тощей кишке и не достигает толстого кишечника. Показано, что введение пробиотических штаммов микроорганизмов *B. adolescentis* DSM 18350, *B. adolescentis* DSM 18352 и *B. pseudocatenulatum* DSM 18353, способных синтезировать фолаты *de novo* и высвобождать их во внеклеточном пространстве, может обеспечить дополнительный, постоянный эндогенный источник этого важного витамина в просвете кишечника человека [15].

Рибофлавин, или витамин B₂, является предшественником незаменимых коферментов флавиномононуклеотида и флавиндиндинуклеотида — кофакторов, действующих как переносчики электронов в окислительно-восстановительных реакциях клеточного метаболизма. В экспериментальных работах на животных с дефицитом витамина B₂ введение штамма *Propionibacterium freudenreichii* B2336, продуцирующего рибофлавин, устраняло большинство симптомов его недостаточности, таких как задержка роста, повышенные значения коэффициента активации глутатионредуктазы эритроцитов и гепатомегалия, которые наблюдались с использованием модели истощения-восполнения запасов рибофлавина [16]. Для изучения возможности потребления *B. infantis* ROS25 в качестве пробиотика для продукции рибофлавина *in situ*, который мог бы принести пользу хозяину, этот мутантный штамм использовали не только в эксперименте с животными, но и для ферментации фекалий десяти здоровых взрослых людей. В результате была продемонстрирована высокая эффективность ROS25 в качестве возможного эндогенного продуцента рибофлавина [35].

С другой стороны, показано, что недостаточное поступление самих соединений, обладающих доказанной антиоксидантной активностью, в том числе витаминов С, Е и селена, снижает количество комменсальных кишечных бактерий, одновременно приводя к росту *E. coli* [36].

Витамин А также потенциально может модулировать иммунные реакции посредством прямого взаимодействия с иммунными клетками или косвенно, изменяя состав микробиоты [37–39]. Его дефицит приводит к полной потере иммунных клеток Th17 в тонком кишечнике мышей, не содержащих определенных патогенов, и связанному с этим значительному снижению численности сегментированных нитчатых бактерий (SFB) 50 и представителя семейства *Clostridiaceae*.

Витамин В₆ является кофактором для более чем ста ферментов, в основном участвующих в метаболизме аминокислот. Микробиота человека (*Eubacterium rectalea* и *Porphyromonas gingivalis*) содержит ферменты, активность которых зависит от витамина В₆ [40]. То есть и недостаточное поступление витамина В₆ с пищей модулирует кишечный микробиом.

Потребление витамина D в высоких дозах (≥ 4900 МЕ/сут в течение восьми недель) вызывало снижение концентрации *Proteobacteria* и увеличение *Bacteroidetes* в верхних отделах желудочно-кишечного тракта с одновременным снижением условно-патогенных микроорганизмов *Pseudomona* и *Escherichia/Shigella* [17]. Низкий уровень витамина D сопровождается негативным изменением состава кишечной микробиоты, а воздействие на кожу узкополосного ультрафиолетового света, приводящее к усилению синтеза этого витамина в коже, увеличивает разнообразие кишечной микробиоты человека [41, 42].

Высокий уровень потребления витамина Е (α -токоферола и токотриенола) также оказывал влияние на соотношение *Firmicutes* и *Bacteroidetes* у мышей [18].

Прием витамина В₁₂ в форме метилкобаламина приводил к увеличению роста бутират-продуцирующих бактерий, введение цианокобаламина в рацион вызывало рост доли *Enterobacteriaceae* и усиливало симптомы воспалительных заболеваний кишечника у лабораторных животных [19]. Приведенные данные указывают на потенциальные возможности использования определенных штаммов пробиотиков для коррекции обеспеченности организма некоторыми витаминами.

Показана взаимосвязь между потреблением кальция, витамина D и микробиомом кишечника. Рост доли *Parabacteroides*, *Clostridiales* и *Ruminococcaceae* в составе микрофлоры желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) положительно коррелировал со всасываемостью кальция. Это объясняется усилением синтеза короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК), которые за счет снижения рН в просвете толстого кишечника и/или регуляции экспрессии генов увеличивают всасывание кальция [43]. Кальций влияет на микрофлору кишечника, приводя к увеличению концентрации лактобацилл за счет связывания желчных и жирных кислот, снижения цитотоксичности и уменьшения повреждения слизистой оболочки кишечника. Эти пребиотические свойства кальция положительно влияют на состояние здоровья людей [20, 44, 45].

Показано, что высокие дозы оксида цинка при добавлении к пище действуют в основном в желудке и тонком кишечнике животных, в первую очередь за счет снижения концентрации определенных видов *Lactobacillus* [21]. Количество молочнокислых бактерий и лактобактерий было снижено, в то время как колиформные бактерии и энтерококки были более многочисленны у животных, получавших высокую дозу оксида цинка [46]. В эксперименте с животными было показано, что дефицит цинка приводит к заметному изменению кишечной микрофлоры с метаболическими изменениями, снижением выработки SCFA и последующим ухудшением биодоступности цинка [47].

Возможно, наиболее изученным микроэлементом с точки зрения его взаимодействия как с микробиотой, так и с иммунной системой является железо [48]. Учитывая низкую растворимость трехвалентного железа, микроорганизмы кишечника развили способность продуцировать множество высокоаффинных железосвязывающих сидерофоров. Исследования на гнотобиотических (лишенных микрофлоры) животных выявили связь между кишечной микробиотой и развитием дефицита железа [49]. Баланс железа, существующий между организмом хозяином и микробиотой, хорошо изучен на модели болезни Крона у мышей. В такой ситуации наблюдается нарушение регуляции экспрессии TNF- α , а пероральное (но не парентеральное) введение железа этим животным вызывает изменение состава микробного сообщества кишечника и усугубляет илеит [50]. Установлено, что при снижении уровня железа из-за негативных влияний на состав кишечной микробиоты могут возникать кишечные инфекции. Но и избыток железа также отрицательно сказывается на состоянии микробиоты кишки, которое проявляется в уменьшении количества *Bifidobacteria*, повышении *Enterobacteriaceae* и некоторых специфических энтеропатогенов (например, патогенной кишечной палочки), а также повышении уровня кальпротектина в фекалиях, что свидетельствует о воспалении кишечника [51].

L-карнитин является распространенным компонентом специализированных пищевых продуктов для спортсменов. Поступая как в составе традиционных пищевых продуктов, так и СПП и БАД, он метаболизируется кишечными бактериями с образованием триметиламина (ТМА), который окисляется в печени до триметиламин-N-оксида (ТМАО) ферментом флавиномоноксигеназой 3 (ФМО-3) [52]. ТМА продуцируется кишечными микроорганизмами, в первую очередь семейств *Clostridia* (*Clostridium XIVa* и другие) и *Enterobacteriaceae*, а также *Eubacterium*, при расщеплении карнитина, холина и лецитина, содержащихся как в составе традиционных продуктов питания, так и СПП. Исследования на мышцах и людях с повышенным ТМАО выявили связь между продукцией микробного ТМАО и атеросклерозом, тромбозом, хронической болезнью почек и сердечной недостаточностью [53]. Избыточное потребление

как продуктов переработки мяса сельскохозяйственных животных и птицы, так и карнитина из БАД и СПП в течение длительного периода времени может приводить к увеличению скорости превращения ТМА в ТМАО с участием кишечной микробиоты [53, 54].

Учитывая тот факт, что превращение карнитина в метиламины зависит от количественного и качественного состава кишечного микробиома и рациона питания, скорость синтеза ТМАО может быть модифицирована введением в рацион большего количества продуктов растительного происхождения невысокой степени переработки, являющихся источником не только углеводов, но и пищевых волокон [53, 54].

Превращение нитратов, содержащихся в пищевых продуктах, в нитрит может также влиять на состав кишечного микробиома, проявляя антимикробные свойства и модулируя кишечную проницаемость [55].

Оптимальный водно-солевой баланс имеет решающее значение для поддержания адаптационного потенциала и профессиональной производительности спортсмена, однако информация о влиянии гидратационного статуса на микробиом кишечника невелика [56, 57]. Стресс, индуцированный физической нагрузкой, снижал уровень *Turicibacter* spp. и увеличивал *Ruminococcus gnavus*, которые играют определенную роль в деградации кишечной слизи и иммунной функции [58]. С другой стороны, микробиом кишечника может также влиять на состояние гидратации, участвуя в клеточном транспорте растворенных веществ через стенку ЖКТ.

Бикарбонат натрия используется для поддержания кислотно-щелочного равновесия, в том числе в составе изотонических напитков, уменьшая выраженность внутриклеточного ацидоза во время интенсивных упражнений. Прием СПП, содержащих бикарбонаты, увеличивает количество *Christenellaceae*, *Bacteroidaceae* и *Erysipelotrichaceae* и уменьшает *Bifidobacteriaceae* [59].

Основные группы полифенолов являются одним из популярных компонентов СПП и БАД, включают фенольные кислоты, флавоноиды (флавонолы, флавоны, изофлавоны, флаваноны, антоцианидины и флавонолы), стилбены, лигнаны и секоиридоиды. «Пребиотические» эффекты полифенолов наблюдали и *in vitro*, и *in vivo* в доклинических и клинических исследованиях за счет увеличения количества комменсальных бактерий, включая *Bifidobacterium*, *Lactobacilli*, *Akkermansia muciniphila*, *Faecalibacterium prausnitzii* и *Roseburia* spp. [60, 61].

Попадая в толстый кишечник, полифенолы могут как модулировать пролиферацию специфических бактерий, так и действовать как пребиотики для некоторых других микроорганизмов [62]. Анализ опубликованных результатов исследований показал, что БАД, содержащие полифенольные компоненты, увеличивают рост *Lactobacillus* и *Bifidobacterium*, а также уменьшают долю некоторых патогенных *Clostridium* в кишечной микробиоте [63].

Кишечный микробиом осуществляет биотрансформацию ресвератрола в более активную форму — дигидрокси-ресвератрол, штаммы *Slackia equolifaciens* и *Adlercreutzia equolifaciens* продуцируют еще два метаболита — 3,4'-дигидрокси-транс-стильбен и лунуларин [64, 65]. Влияние ресвератрола на микробиоту кишечника связано с изменениями массы тела и жировой ткани в организме, улучшением гомеостаза глюкозы и показателей липидного профиля крови. Ресвератрол усиливает рост *Lactococcus lactis* и грамотрицательной, облигатной анаэробной зубактерии *Akkermansia muciniphila*, которая стимулирует выработку слизи на слизистой оболочке кишечника, таким образом укрепляя кишечный барьер, а также участвует в контроле метаболизма глюкозы и снижает интенсивность воспалительных реакций в макроорганизме. Ресвератрол ингибирует пролиферацию *Enterococcus faecalis* и отрицательно влияет на синтез ТМА из холина путем ремоделирования состава кишечной микробиоты [66].

Кофеин широко используется в спортивной практике для уменьшения усталости во время физических упражнений. В исследованиях на мышах изучалось влияние компонентов кофе (кофеина или хлорогеновой кислоты) на микробиом кишечника. Изолированная хлорогеновая кислота вызывала более выраженное увеличение концентраций ацетата, пропионата и бутирата, в то время как прием кофе не проявлял существенного эффекта. Jaquet et al. обнаружили, что ежедневное потребление трех чашек кофе (в течение трех недель у 16 здоровых взрослых) способствовало увеличению числа полезных штаммов *Bifidobacteriaceae* [27].

Ограничениями данного исследования являются отсутствие за исключением лабораторных животных данных о фактическом питании обследуемых, содержания в рационе пищевых волокон, витаминов, макро- и микроэлементов, отдельных аминокислот (или в доли белков животного и растительного происхождения), частоты потребления ферментированных продуктов. Сложность оценки эффектов нутрициологической коррекции (введения отдельных пищевых компонентов) возникает вследствие различных протоколов введения СПП и БАД, применения различных видов пробиотических штаммов и их концентраций, комбинаций с пре- и синбиотиками. Максимально точная оценка качественного и количественного содержания пищевых веществ в составе рациона и доли вводимых в него компонентов СПП в соотнесении с нормами [5] и уровня энерготрат поможет отделить влияние нутритивного вмешательства и физической активности на микробиоту кишечника от других факторов. В исследованиях также следует учитывать питьевой режим и/или определять биомаркеры гидратации для изучения влияния уровня водно-солевого баланса макроорганизма на микробиоту кишечника или наоборот.

Будущие исследования должны быть сосредоточены на использовании многоуровневого подхода

для определения причинно-следственных связей, потенциальных метаболитов, генов и эпигенетических модификаций, которые могут вызывать, способствовать, опосредовать или модулировать влияние диеты и физических упражнений на микробиоту кишечника механизмов действия определенных нутриентов на микробиом. Полученные результаты, вероятно, будут способствовать повышению производительности спортсменов, улучшению состояния здоровья, за счет снижения частоты заболеваемости инфекциями желудочно-кишечного тракта и дыхательных путей.

Реакция микробиоты кишечника на введение различных нутриентов, часто содержащихся на более высоком уровне по сравнению с адекватным или даже верхним допустимым в составе СПП и БАД для спортсменов, отличается межиндивидуальной вариабельностью, что требует персонифицированного подхода и отслеживания эффективности такой нутритивной коррекции в динамике.

5. Заключение

Нормализация рациона, а следовательно, и пищевого статуса, дефицитного по некоторым макро- (кальций, магний), микроэлементам (железо, цинк), витаминам (А, В₁, В₂, В₆, фолатам, В₁₂, D), антиоксидантам, возможна не только с помощью биологически активных добавок, содержащих эти и другие (L-карнитин, кофеин) вещества, но в существенной мере это улучшение возможно с помощью потребления про- и пребиотиков, модулирующих и создающих благоприятные условия для поддержания оптимального состава кишечной микробиоты и эндогенного синтеза различных биологически активных веществ. С другой стороны, под действием микрофлоры кишечника сами пищевые вещества подвергаются трансформации с образованием более активных и биодоступных метаболитов как для макроорганизма, так и для самой микробиоты.

Воздействие на эти пути обеспечивает привлекательную стратегию для максимального увеличения вклада

Вклад авторов:

Кобелькова Ирина Витальевна — идея, сбор и анализ данных литературы, подготовка рукописи;

Коростелева Маргарита Михайловна — анализ данных литературы, редактирование рукописи.

Список литературы

1. Kerkick C.M., Wilborn C.D., Roberts M.D., Smith-Ryan A., Kleiner S.M., Jäger R., Collins R., Cooke M., Davis J.N., Galvan E., Greenwood M., Lowery L.M., Wildman R., Antonio J., Kreider R.B. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. J Int Soc Sports Nutr. 2018 Aug 1;15(1):38. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>.
2. Кобелькова И.В., Коростелева М.М. Влияние основных пищевых веществ на состав кишечного микробиома и

микробиоты в здоровье, но какие метаболиты играют ключевую роль в формировании этих сообществ, до конца не исследовано. При этом необходимо использовать биологически активные вещества, включая витамины, с установленными в результате фундаментальных исследований данными о роли в бактериальном метаболизме и регуляции генов, то есть эффективными и безопасными для модуляции микробиоты.

Установлено участие микрофлоры в поддержании функциональной активности желудочно-кишечного тракта, обеспечении адекватного иммунного ответа, поддержании кислотно-щелочного баланса и водно-солевого обмена, синтезе ряда биологически активных веществ. Большинство исследований проведено на животных.

Проблема разработки унифицированных протоколов оценки эффективности включения специализированных пищевых продуктов в рацион представляется достаточно сложной и требует систематизированных исследований, с использованием секвенирования генома кишечной микробиоты в сочетании с новыми подходами к исследованию, кластеризации и аннотированию химических метаболитов. При этом результаты нутритивного вмешательства следует оценивать с учетом динамики фактического питания, показателей пищевого статуса и работоспособности спортсменов.

Любые виды/компоненты СПП и БАД следует рассматривать только в общем контексте сбалансированности рациона питания, не переоценивая важность их употребления по сравнению с другими тренировочными и нутритивными стратегиями.

Оптимизация рационов питания спортсменов с использованием СПП и БАД, оказывающих модулирующее действие на микрофлору кишечника, может занимать важное место в обеспечении здоровья спортсменов, и опосредованно — эффективности тренировочного процесса и поддержании работоспособности. Вопрос требует дальнейшего изучения с участием больших выборок физически активных добровольцев и спортсменов разного уровня.

Author contributions:

Irina V. Kobelkova — idea, collection and analysis of literature data, preparation of the manuscript;

Margarita M. Korosteleva — analysis of literature data, manuscript editing.

References

1. Kerkick C.M., Wilborn C.D., Roberts M.D., Smith-Ryan A., Kleiner S.M., Jäger R., Collins R., Cooke M., Davis J.N., Galvan E., Greenwood M., Lowery L.M., Wildman R., Antonio J., Kreider R.B. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. J Int Soc Sports Nutr. 2018 Aug 1;15(1):38. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>.
2. Kobelkova I.V., Korosteleva M.M. The influence of basic nutrients on the composition of the intestinal microbiome

оптимизацию адаптационного потенциала спортсмена. Наука и спорт: современные тенденции. 2022. Т. 10. № 2. С. 15-26. <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2022-10-2-15-26>

3. Кобелькова И.В., Коростелева М.М., Мавлиев Ф.А., Набатов А.А., Назаренко А.С., Никитюк Д.Б. Введение специализированных пищевых продуктов в рацион спортсменов сборной РФ по академической гребле. Наука и спорт: современные тенденции. 2022. Т. 10. № 4. С. 6-15. <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2022-10-4-6-15>

4. Maughan R.J., Burke L.M., Dvorak J., Larson-Meyer D.E., Peeling P., Phillips S.M., Rawson E.S., Walsh N.P., Garthe I., Geyer H., Meeusen R., van Loon L.J.C., Shirreffs S.M., Spriet L.L., Stuart M., Vernec A., Currell K., Ali V.M., Budgett R.G., Ljungqvist A., Mountjoy M., Pitsiladis Y.P., Soligard T., Erdener U., Engebretsen L. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *Br J Sports Med.* 2018 Apr;52(7):439-455. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099027>

5. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологические потребности в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.)

6. Donati Zeppa S., Agostini D., Gervasi M., Annibalini G., Amatori S., Ferrini F., Sisti D., Piccoli G., Barbieri E., Sestili P., Stocchi V. Mutual Interactions among Exercise, Sport Supplements and Microbiota. *Nutrients.* 2019 Dec 20;12(1):17. <https://doi.org/10.3390/nu12010017>

7. Roberts J.D., Suckling C.A., Peedle G.Y., Murphy J.A., Dawkins T.G., Roberts M.G. An Exploratory Investigation of Endotoxin Levels in Novice Long Distance Triathletes, and the Effects of a Multi-Strain Probiotic/Prebiotic, Antioxidant Intervention. *Nutrients.* 2016 Nov 17;8(11):733. <https://doi.org/10.3390/nu8110733>

8. Jacouton E., Mach N., Cadiou J., Lapaque N., Clement K., Dore J., van Hylckama Vlieg J.E., Smokvina T., Blottiere H.M. Lactobacillus rhamnosus CNCMI-4317 Modulates Fiaf/Angptl4 in Intestinal Epithelial Cells and Circulating Level in Mice. *PLoS ONE.* 2015;10:e0138880. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138880>

9. Chen Y.M., Wei L., Chiu Y.S., Hsu Y.J., Tsai T.Y., Wang M.F., Huang C.C. Lactobacillus plantarum TWK10 Supplementation Improves Exercise Performance and Increases Muscle Mass in Mice. *Nutrients.* 2016;8:205. <https://doi.org/10.3390/nu8040205>

10. Huang W.C., Hsu Y.J., Li H., Kan N.W., Chen Y.M., Lin J.S., Hsu T.K., Tsai T.Y., Chiu Y.S., Huang C.C. Effect of Lactobacillus Plantarum TWK10 on Improving Endurance Performance in Humans. *Chin. J. Physiol.* 2018;61:163-170. <https://doi.org/10.4077/CJP.2018.BAH587>

11. Soares A.D.N., Wanner S.P., Morais E.S.S., Hudson A.S.R., Martins F.S., Cardoso V.N. Supplementation with *Saccharomyces boulardii* Increases the Maximal Oxygen Consumption and Maximal Aerobic Speed Attained by Rats Subjected to an Incremental-Speed Exercise. *Nutrients.* 2019;11:2352. doi:10.3390/nu11102352

12. Rao A.V., Bested A.C., Beaulne T.M., Katzman M.A., Iorio C., Berardi J.M., Logan A.C. A randomized, double-blind, placebo-controlled pilot study of a probiotic in emotional symptoms of chronic fatigue syndrome. *Gut Pathog.* 2009;1:6. <https://doi.org/10.1186/1757-4749-1-6>

13. West N.P., Pyne D.B., Cripps A.W., Hopkins W.G., Eskesen D.C., Jairath A., Christophersen C.T., Conlon M.A., Fricker P.A. Lactobacillus fermentum (PCC(R)) supplementation and gastrointestinal and respiratory-tract illness symptoms: a randomised control trial in athletes. *Nutr J.* 2011;10:30. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-10-30>

and optimization of the adaptive potential of an athlete. *Science and sport: modern trends.* 2022. Т. 10. No. 2. P. 15-26 <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2022-10-2-15-26>

3. Kobelkova I.V., Korosteleva M.M., Mavliev F.A., Nabatov A.A., Nazarenko A.S., Nikityuk D.B. Introduction of specialized food products into the diet of athletes of the Russian national rowing team. *Science and sport: modern trends.* 2022. Т. 10. No. 4. P. 6-15. <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2022-10-4-6-15>

4. Maughan R.J., Burke L.M., Dvorak J., Larson-Meyer D.E., Peeling P., Phillips S.M., Rawson E.S., Walsh N.P., Garthe I., Geyer H., Meeusen R., van Loon L.J.C., Shirreffs S.M., Spriet L.L., Stuart M., Vernec A., Currell K., Ali V.M., Budgett R.G., Ljungqvist A., Mountjoy M., Pitsiladis Y.P., Soligard T., Erdener U., Engebretsen L. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *Br J Sports Med.* 2018 Apr;52(7):439-455. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099027>

5. Methodological recommendations МР 2.3.1.0253-21 “Norms for physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation” (approved by the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being on July 22, 2021)

6. Donati Zeppa S., Agostini D., Gervasi M., Annibalini G., Amatori S., Ferrini F., Sisti D., Piccoli G., Barbieri E., Sestili P., Stocchi V. Mutual Interactions among Exercise, Sport Supplements and Microbiota. *Nutrients.* 2019 Dec 20;12(1):17. <https://doi.org/10.3390/nu12010017>

7. Roberts J.D., Suckling C.A., Peedle G.Y., Murphy J.A., Dawkins T.G., Roberts M.G. An Exploratory Investigation of Endotoxin Levels in Novice Long Distance Triathletes, and the Effects of a Multi-Strain Probiotic/Prebiotic, Antioxidant Intervention. *Nutrients.* 2016 Nov 17;8(11):733. <https://doi.org/10.3390/nu8110733>

8. Jacouton E., Mach N., Cadiou J., Lapaque N., Clement K., Dore J., van Hylckama Vlieg J.E., Smokvina T., Blottiere H.M. Lactobacillus rhamnosus CNCMI-4317 Modulates Fiaf/Angptl4 in Intestinal Epithelial Cells and Circulating Level in Mice. *PLoS ONE.* 2015;10:e0138880. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138880>

9. Chen Y.M., Wei L., Chiu Y.S., Hsu Y.J., Tsai T.Y., Wang M.F., Huang C.C. Lactobacillus plantarum TWK10 Supplementation Improves Exercise Performance and Increases Muscle Mass in Mice. *Nutrients.* 2016;8:205. <https://doi.org/10.3390/nu8040205>

10. Huang W.C., Hsu Y.J., Li H., Kan N.W., Chen Y.M., Lin J.S., Hsu T.K., Tsai T.Y., Chiu Y.S., Huang C.C. Effect of Lactobacillus Plantarum TWK10 on Improving Endurance Performance in Humans. *Chin. J. Physiol.* 2018;61:163-170. <https://doi.org/10.4077/CJP.2018.BAH587>

11. Soares A.D.N., Wanner S.P., Morais E.S.S., Hudson A.S.R., Martins F.S., Cardoso V.N. Supplementation with *Saccharomyces boulardii* Increases the Maximal Oxygen Consumption and Maximal Aerobic Speed Attained by Rats Subjected to an Incremental-Speed Exercise. *Nutrients.* 2019;11:2352. doi:10.3390/nu11102352

12. Rao A.V., Bested A.C., Beaulne T.M., Katzman M.A., Iorio C., Berardi J.M., Logan A.C. A randomized, double-blind, placebo-controlled pilot study of a probiotic in emotional symptoms of chronic fatigue syndrome. *Gut Pathog.* 2009;1:6. <https://doi.org/10.1186/1757-4749-1-6>

13. West N.P., Pyne D.B., Cripps A.W., Hopkins W.G., Eskesen D.C., Jairath A., Christophersen C.T., Conlon M.A., Fricker P.A. Lactobacillus fermentum (PCC(R)) supplementation and gastrointestinal and respiratory-tract illness symptoms: a randomised control trial in athletes. *Nutr J.* 2011;10:30. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-10-30>

14. Michalickova D., Minic R., Dikic N., Andjelkovic M., Kostic-Vucicevic M., Stojmenovic T., Nikolic I., Djordjevic B. Lactobacillus helveticus Lafti L10 supplementation reduces respiratory infection duration in a cohort of elite athletes: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016;41:782–789. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0541>
15. Strozzi G.P., Mogna L. Quantification of folic acid in human feces after administration of Bifidobacterium probiotic strains. *J Clin Gastroenterol.* 2008 Sep;42 Suppl 3 Pt 2:S179-84. <https://doi.org/10.1097/MCG.0b013e31818087d8>
16. Solopova A., Bottacini F., Venturi Degli Esposti E., Amaretti A., Raimondi S., Rossi M., van Sinderen D. Riboflavin Biosynthesis and Overproduction by a Derivative of the Human Gut Commensal Bifidobacterium longum subsp. infantis ATCC 15697. *Front Microbiol.* 2020 Sep 15;11:573335. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.573335>
17. Bashir M., Prietl B., Tauschmann M., Mautner S.I., Kump P.K., Treiber G., Wurm P., Gorkiewicz G., Hogenauer C., Pieber T.R. Effects of high doses of vitamin D3 on mucosa-associated gut microbiome vary between regions of the human gastrointestinal tract. *Eur. J. Nutr.* 2016;55:1479–1489. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-0966-2>
18. Choi Y., Lee S., Kim S., Lee J., Ha J., Oh H., Lee Y., Kim Y., Yoon Y. Vitamin E (α -tocopherol) consumption influences gut microbiota composition. *Int J Food Sci Nutr.* 2020 Mar;71(2):221-225. <https://doi.org/10.1080/09637486.2019.1639637>
19. Xuan Zhu, Shasha Xiang, Xiao Feng, Huanhuan Wang, Shiyi Tian, Yuanyuan Xu, Lihua Shi, Lu Yang, Mian Li, Yubiao Shen, Jie Chen, Yuewen Chen, and Jianzhong Han. Impact of Cyanocobalamin and Methylcobalamin on Inflammatory Bowel Disease and the Intestinal Microbiota Composition *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2019 67 (3), 916-926 <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05730Rudzki>
20. Ditscheid B., Keller S. & Jahreis G. Faecal steroid excretion in humans is affected by calcium supplementation and shows gender-specific differences. *Eur J Nutr* (2009) 48, 22–30.
21. Starke I.C., Pieper, R. Neumann K., et al. The impact of high dietary zinc oxide on the development of the intestinal microbiota in weaned piglets. *FEMS Microbiol. Ecol.* 2014. 87:416–427.
22. Murakami S., Goto Y., Ito K., Hayasaka S., Kurihara S., Soga T., Tomita M., Fukuda S. The Consumption of Bicarbonate-Rich Mineral Water Improves Glycemic Control. *Evid. Based Complement. Altern. Med.* 2015;2015:824395. <https://doi.org/10.1155/2015/824395>
23. Watson H., Mitra S., Croden F.C., Taylor M., Wood H.M., Perry S.L., Spencer J.A., Quirke P., Toogood G.J., Lawton C.L., et al. A randomised trial of the effect of omega-3 polyunsaturated fatty acid supplements on the human intestinal microbiota. *Gut.* 2018;67:1974–1983. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2017-314968>
24. Etxebarria U., Arias N., Boque N., Macarulla M.T., Portillo M.P., Martinez J.A., Milagro F.I. Reshaping faecal gut microbiota composition by the intake of trans-resveratrol and quercetin in high-fat sucrose diet-fed rats. *J. Nutr. Biochem.* 2015;26:651–660. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2015.01.002>
25. Anhe F.F., Roy D., Pilon G., Dudonne S., Matamoros S., Varin T.V., Garofalo C., Moine Q., Desjardins Y., Levy E., et al. A polyphenol-rich cranberry extract protects from diet-induced obesity, insulin resistance and intestinal inflammation in association with increased Akkermansia spp. population in the gut microbiota of mice. *Gut.* 2015;64:872–883. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-307142>
26. Li Z., Henning S.M., Lee R.P., Lu Q.Y., Summanen P.H., Thames G., Corbett K., Downes J., Tseng C.H., Finegold S.M., et al. Pomegranate extract induces ellagitannin metabolite formation
14. Michalickova D., Minic R., Dikic N., Andjelkovic M., Kostic-Vucicevic M., Stojmenovic T., Nikolic I., Djordjevic B. Lactobacillus helveticus Lafti L10 supplementation reduces respiratory infection duration in a cohort of elite athletes: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016;41:782–789. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0541>
15. Strozzi G.P., Mogna L. Quantification of folic acid in human feces after administration of Bifidobacterium probiotic strains. *J Clin Gastroenterol.* 2008 Sep;42 Suppl 3 Pt 2:S179-84. <https://doi.org/10.1097/MCG.0b013e31818087d8>
16. Solopova A., Bottacini F., Venturi Degli Esposti E., Amaretti A., Raimondi S., Rossi M., van Sinderen D. Riboflavin Biosynthesis and Overproduction by a Derivative of the Human Gut Commensal Bifidobacterium longum subsp. infantis ATCC 15697. *Front Microbiol.* 2020 Sep 15;11:573335. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.573335>
17. Bashir M., Prietl B., Tauschmann M., Mautner S.I., Kump P.K., Treiber G., Wurm P., Gorkiewicz G., Hogenauer C., Pieber T.R. Effects of high doses of vitamin D3 on mucosa-associated gut microbiome vary between regions of the human gastrointestinal tract. *Eur. J. Nutr.* 2016;55:1479–1489. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-0966-2>
18. Choi Y., Lee S., Kim S., Lee J., Ha J., Oh H., Lee Y., Kim Y., Yoon Y. Vitamin E (α -tocopherol) consumption influences gut microbiota composition. *Int J Food Sci Nutr.* 2020 Mar;71(2):221-225. <https://doi.org/10.1080/09637486.2019.1639637>
19. Xuan Zhu, Shasha Xiang, Xiao Feng, Huanhuan Wang, Shiyi Tian, Yuanyuan Xu, Lihua Shi, Lu Yang, Mian Li, Yubiao Shen, Jie Chen, Yuewen Chen, and Jianzhong Han. Impact of Cyanocobalamin and Methylcobalamin on Inflammatory Bowel Disease and the Intestinal Microbiota Composition *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2019 67 (3), 916-926 <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05730Rudzki>
20. Ditscheid B., Keller S. & Jahreis G. Faecal steroid excretion in humans is affected by calcium supplementation and shows gender-specific differences. *Eur J Nutr* (2009) 48, 22–30.
21. Starke I.C., Pieper, R. Neumann K., et al. The impact of high dietary zinc oxide on the development of the intestinal microbiota in weaned piglets. *FEMS Microbiol. Ecol.* 2014. 87:416–427.
22. Murakami S., Goto Y., Ito K., Hayasaka S., Kurihara S., Soga T., Tomita M., Fukuda S. The Consumption of Bicarbonate-Rich Mineral Water Improves Glycemic Control. *Evid. Based Complement. Altern. Med.* 2015;2015:824395. <https://doi.org/10.1155/2015/824395>
23. Watson H., Mitra S., Croden F.C., Taylor M., Wood H.M., Perry S.L., Spencer J.A., Quirke P., Toogood G.J., Lawton C.L., et al. A randomised trial of the effect of omega-3 polyunsaturated fatty acid supplements on the human intestinal microbiota. *Gut.* 2018;67:1974–1983. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2017-314968>
24. Etxebarria U., Arias N., Boque N., Macarulla M.T., Portillo M.P., Martinez J.A., Milagro F.I. Reshaping faecal gut microbiota composition by the intake of trans-resveratrol and quercetin in high-fat sucrose diet-fed rats. *J. Nutr. Biochem.* 2015;26:651–660. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2015.01.002>
25. Anhe F.F., Roy D., Pilon G., Dudonne S., Matamoros S., Varin T.V., Garofalo C., Moine Q., Desjardins Y., Levy E., et al. A polyphenol-rich cranberry extract protects from diet-induced obesity, insulin resistance and intestinal inflammation in association with increased Akkermansia spp. population in the gut microbiota of mice. *Gut.* 2015;64:872–883. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-307142>
26. Li Z., Henning S.M., Lee R.P., Lu Q.Y., Summanen P.H., Thames G., Corbett K., Downes J., Tseng C.H., Finegold S.M., et al. Pomegranate extract induces ellagitannin metabolite formation

and changes stool microbiota in healthy volunteers. *Food Funct.* 2015;6:2487–2495. <https://doi.org/10.1039/C5FO00669D>

27. **Jaquet M., Rochat I., Moulin J., Cavin C., Bibiloni R.** Impact of coffee consumption on the gut microbiota: A human volunteer study. *Int. J. Food Microbiol.* 2009;130:117–121. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.01.011>.

28. **Janssens P.L., Penders J., Hursel R., Budding A.E., Savelkoul P.H., Westerterp-Plantenga M.S.** Long-Term Green Tea Supplementation Does Not Change the Human Gut Microbiota. *PLoS ONE.* 2016;11:e0153134. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153134>

29. «Формуляр лекарственных средств, биологически активных добавок к пище и изделий медицинского назначения ФМБА России, используемых для медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации» (1052-formulyar-2023 (sportfmba.ru))

30. Всемирный антидопинговый кодекс, 2021 https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/2021_vsemirnyy_antidopingovy_kodeks.pdf

31. Официальный сайт РУСАДА <https://rusada.ru/substances/bad/>

32. **Jäger R., Mohr A.E., Carpenter K.C., et al.** International Society of Sports Nutrition Position Stand: Probiotics. *J Int Soc Sports Nutr.* 2019;16(1):62. doi:10.1186/s12970-019-0329-0

33. **Coqueiro A.Y., de Oliveira Garcia A.B., Rogero M.M., Tirapegui J.** Probiotic supplementation in sports and physical exercise: does it present any ergogenic effect? *//Nutr Health.* 2017. 23.: P. 239–249. <https://doi.org/10.1177/0260106017721000>

34. **Tuohy K.M., Probert H.M., Smejkal C.W., Gibson G.R.** Using probiotics and prebiotics to improve gut health. *Drug Discov Today.* 2003 Aug 1;8(15):692–700. [https://doi.org/10.1016/s1359-6446\(03\)02746-6](https://doi.org/10.1016/s1359-6446(03)02746-6).

35. **LeBlanc J. G. Burgess C., Sesma F., de Giori G.S., & van Sinderen,** DIngestion of milk fermented by genetically modified *Lactococcus lactis* improves the riboflavin status of deficient rats *//Journal of dairy science.* 2005;88(10):3435–3442.

36. **Mach N., Clark A.** Micronutrient Deficiencies and the Human Gut Microbiota. *Trends Microbiol.* 2017 Aug;25(8):607–610. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2017.06.004>

37. **Cha H.R., et al.** Downregulation of Th17 cells in the small intestine by disruption of gut flora in the absence of retinoic acid. Demonstrates how a single micronutrient, vitamin A, modulates host immune responses through its effects on the composition of the intestinal microbiota. *J Immunol.* 2010;184:6799–6806.

38. **Ivanov I.L., et al.** Induction of intestinal Th17 cells by segmented filamentous bacteria. *Cell.* 2009;139:485–498.

39. **Gaboriau-Routhiau V., et al.** The key role of segmented filamentous bacteria in the coordinated maturation of gut helper T cell responses. *Immunity.* 2009;31:677–689.

40. **Nicholas M. Fleischman, Debanu Das, Abhinav Kumar et al.** Molecular characterization of novel pyridoxal-5'-phosphate-dependent enzymes from the human microbiome /First published: 29 May 2014. <https://doi.org/10.1002/pro.2493>

41. **Yamamoto E.A., Jørgensen T.N.** Relationships between vitamin D, gut microbiome, and systemic autoimmunity. *Frontiers in immunology.* 2020:3141.

42. **Bosman E.S. Bosman E.S., Albert A.Y., Lui H., Dutz J.P., & Vallance B.A.** Skin exposure to narrow band ultraviolet (UVB) light modulates the human intestinal microbiome *//Frontiers in Microbiology.* 2019:2410.

43. **Skrypnik K., Suliburska J.** Association between the gut microbiota and mineral metabolism. *J Sci Food Agric.* 2018 May; 98(7):2449–2460. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8724>

and changes stool microbiota in healthy volunteers. *Food Funct.* 2015;6:2487–2495. <https://doi.org/10.1039/C5FO00669D>

27. **Jaquet M., Rochat I., Moulin J., Cavin C., Bibiloni R.** Impact of coffee consumption on the gut microbiota: A human volunteer study. *Int. J. Food Microbiol.* 2009;130:117–121. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.01.011>.

28. **Janssens P.L., Penders J., Hursel R., Budding A.E., Savelkoul P.H., Westerterp-Plantenga M.S.** Long-Term Green Tea Supplementation Does Not Change the Human Gut Microbiota. *PLoS ONE.* 2016;11:e0153134. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153134>

29. “Formulary of medicines, biologically active food additives and medical products of the FMBA of Russia, used for medical and biological support of athletes of sports teams of the Russian Federation” (1052-formulyar-2023 (sportfmba.ru)) (1052-formulyar-2023 (sportfmba.ru))

30. World Anti-Doping Code, 2021 https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/2021_vsemirnyy_antidopingovy_kodeks.pdf

31. Official website of RUSADA <https://rusada.ru/substances/bad/>

32. **Jäger R., Mohr A.E., Carpenter K.C., et al.** International Society of Sports Nutrition Position Stand: Probiotics. *J Int Soc Sports Nutr.* 2019;16(1):62. doi:10.1186/s12970-019-0329-0

33. **Coqueiro A.Y., de Oliveira Garcia A.B., Rogero M.M., Tirapegui J.** Probiotic supplementation in sports and physical exercise: does it present any ergogenic effect? *//Nutr Health.* 2017. 23.: P. 239–249. <https://doi.org/10.1177/0260106017721000>

34. **Tuohy K.M., Probert H.M., Smejkal C.W., Gibson G.R.** Using probiotics and prebiotics to improve gut health. *Drug Discov Today.* 2003 Aug 1;8(15):692–700. [https://doi.org/10.1016/s1359-6446\(03\)02746-6](https://doi.org/10.1016/s1359-6446(03)02746-6).

35. **LeBlanc J. G. Burgess C., Sesma F., de Giori G.S., & van Sinderen,** DIngestion of milk fermented by genetically modified *Lactococcus lactis* improves the riboflavin status of deficient rats *//Journal of dairy science.* 2005;88(10):3435–3442.

36. **Mach N., Clark A.** Micronutrient Deficiencies and the Human Gut Microbiota. *Trends Microbiol.* 2017 Aug;25(8):607–610. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2017.06.004>

37. **Cha H.R., et al.** Downregulation of Th17 cells in the small intestine by disruption of gut flora in the absence of retinoic acid. Demonstrates how a single micronutrient, vitamin A, modulates host immune responses through its effects on the composition of the intestinal microbiota. *J Immunol.* 2010;184:6799–6806.

38. **Ivanov I.I., et al.** Induction of intestinal Th17 cells by segmented filamentous bacteria. *Cell.* 2009;139:485–498.

39. **Gaboriau-Routhiau V., et al.** The key role of segmented filamentous bacteria in the coordinated maturation of gut helper T cell responses. *Immunity.* 2009;31:677–689.

40. **Nicholas M. Fleischman, Debanu Das, Abhinav Kumar et al.** Molecular characterization of novel pyridoxal-5'-phosphate-dependent enzymes from the human microbiome /First published: 29 May 2014. <https://doi.org/10.1002/pro.2493>

41. **Yamamoto E.A., Jørgensen T.N.** Relationships between vitamin D, gut microbiome, and systemic autoimmunity. *Frontiers in immunology.* 2020:3141.

42. **Bosman E.S. Bosman E.S., Albert A.Y., Lui H., Dutz J.P., & Vallance B.A.** Skin exposure to narrow band ultraviolet (UVB) light modulates the human intestinal microbiome *//Frontiers in Microbiology.* 2019:2410.

43. **Skrypnik K., Suliburska J.** Association between the gut microbiota and mineral metabolism. *J Sci Food Agric.* 2018 May; 98(7):2449–2460. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8724>

44. **Gomes J.M., Costa J.A., Alfenas R.C.** Could the beneficial effects of dietary calcium on obesity and diabetes control be mediated by changes in intestinal microbiota and integrity? *Br J Nutr.* 2015 Dec 14;114(11):1756–1765. <https://doi.org/10.1017/S0007114515003608>.
45. **Weaver C.M.** Diet, gut microbiome, and bone health. *Curr Osteoporos Rep.* 2015 Apr; 13(2):125–30. <https://doi.org/10.1007/s11914-015-0257-0>.
46. **Hojberg O., Canibe N., Poulsen D., et al.** Influence of dietary zinc oxide and copper sulfate on the gastrointestinal ecosystem in newly weaned pigs. *Appl. Environ. Microbiol.* 2005. 71:2267–2277.
47. **Reed S., Neuman H., Moscovich S., et al.** 2015. Chronic zinc deficiency alters chick gut microbiota composition and function. *Nutrients*7:9768–9784.
48. **Schaible U.E., Kaufmann S.H.** Iron and microbial infection. *Nat Rev Microbiol.* 2004;2:946–953.
49. **Reddy B.S., Pleasants J.R., Wostmann B.S.** Effect of intestinal microflora on iron and zinc metabolism, and on activities of metalloenzymes in rats. *J Nutr.* 1972;102:101–107.
50. **Werner T., et al.** Depletion of luminal iron alters the gut microbiota and prevents Crohn's disease-like ileitis. *Gut.* 2011;60:325–333.
51. **Успенский Ю.П., Новикова В.П., Барышникова Н.В.** Дефицит железа и кишечная микробиота//Медицина: теория и практика (2022), 7(2), 3–14. <https://ojs3.gpmu.org/index.php/med-theory-and-practice/article/view/4148>
52. **Fielding R., Riede L., Lugo J.P., Bellamine A.** l-Carnitine Supplementation in Recovery after Exercise. *Nutrients.* 2018;10:349. <https://doi.org/10.3390/nu10030349>
53. **Koeth R.A., Lam-Galvez B.R., Kirsop J., Wang Z., Levinson B.S., Gu X., Copeland M.F., Bartlett D., Cody D.B., Dai H.J., Culley M.K., Li X.S., Fu X., Wu Y., Li L., DiDonato J.A., Tang W.H.W, Garcia-Garcia J.C., Hazen S.L.** l-Carnitine in omnivorous diets induces an atherogenic gut microbial pathway in humans. *J Clin Invest.* 2019 Jan 2;129(1):373–387. <https://doi.org/10.1172/JCI94601>
54. **Coutinho-Wolino K.S., de F Cardozo L.F.M., de Oliveira Leal V., Mafra D., Stockler-Pinto M.B.** Can diet modulate trimethylamine N-oxide (TMAO) production? What do we know so far? *Eur J Nutr.* 2021 Oct;60(7):3567–3584. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02491-6>.
55. **González-Soltero R., Bailén M., de Lucas B., Ramírez-Goercke M.I., Pareja-Galeano H., Larrosa M.** Role of Oral and Gut Microbiota in Dietary Nitrate Metabolism and Its Impact on Sports Performance. *Nutrients.* 2020 Nov 24;12(12):3611. <https://doi.org/10.3390/nu12123611>
56. **Guillochon M., Rowlands D.S.** Solid, Gel, and Liquid Carbohydrate Format Effects on Gut Comfort and Performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2017;27:247–254. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2016-0211>
57. **O'Brien W.J., Rowlands D.S.** Fructose-maltodextrin ratio in a carbohydrate-electrolyte solution differentially affects exogenous carbohydrate oxidation rate, gut comfort, and performance. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* 2011;300:G181–G189. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00419.2010>
58. **Clark A., Mach N.** Exercise-induced stress behavior, gut-microbiota-brain axis and diet: a systematic review for athletes. *J Int Soc Sports Nutr.* 2016 Nov 24;13:43. <https://doi.org/10.1186/s12970-016-0155-6>
59. **Burke L.M.** Practical considerations for bicarbonate loading and sports performance. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser.* 2013;75:15–26. <https://doi.org/10.1159/000345814>
44. **Gomes J.M., Costa J.A., Alfenas R.C.** Could the beneficial effects of dietary calcium on obesity and diabetes control be mediated by changes in intestinal microbiota and integrity? *Br J Nutr.* 2015 Dec 14;114(11):1756–1765. <https://doi.org/10.1017/S0007114515003608>.
45. **Weaver C.M.** Diet, gut microbiome, and bone health. *Curr Osteoporos Rep.* 2015 Apr; 13(2):125–30. <https://doi.org/10.1007/s11914-015-0257-0>.
46. **Hojberg O., Canibe N., Poulsen D., et al.** Influence of dietary zinc oxide and copper sulfate on the gastrointestinal ecosystem in newly weaned pigs. *Appl. Environ. Microbiol.* 2005. 71:2267–2277.
47. **Reed S., Neuman H., Moscovich S., et al.** 2015. Chronic zinc deficiency alters chick gut microbiota composition and function. *Nutrients*7:9768–9784.
48. **Schaible U.E., Kaufmann S.H.** Iron and microbial infection. *Nat Rev Microbiol.* 2004;2:946–953.
49. **Reddy B.S., Pleasants J.R., Wostmann B.S.** Effect of intestinal microflora on iron and zinc metabolism, and on activities of metalloenzymes in rats. *J Nutr.* 1972;102:101–107.
50. **Werner T., et al.** Depletion of luminal iron alters the gut microbiota and prevents Crohn's disease-like ileitis. *Gut.* 2011;60:325–333.
51. **Uspensky Yu.P., Novikova V.P., & Baryshnikova N.V.** (2022). Iron deficiency and intestinal microbiota//Medicine: theory and practice, 7(2), 3–14. <https://ojs3.gpmu.org/index.php/med-theory-and-practice/article/view/4148>
52. **Fielding R., Riede L., Lugo J.P., Bellamine A.** l-Carnitine Supplementation in Recovery after Exercise. *Nutrients.* 2018;10:349. <https://doi.org/10.3390/nu10030349>
53. **Koeth R.A., Lam-Galvez B.R., Kirsop J., Wang Z., Levinson B.S., Gu X., Copeland M.F., Bartlett D., Cody D.B., Dai H.J., Culley M.K., Li X.S., Fu X., Wu Y., Li L., DiDonato J.A., Tang W.H.W, Garcia-Garcia J.C., Hazen S.L.** l-Carnitine in omnivorous diets induces an atherogenic gut microbial pathway in humans. *J Clin Invest.* 2019 Jan 2;129(1):373–387. <https://doi.org/10.1172/JCI94601>
54. **Coutinho-Wolino K.S., de F Cardozo L.F.M., de Oliveira Leal V., Mafra D., Stockler-Pinto M.B.** Can diet modulate trimethylamine N-oxide (TMAO) production? What do we know so far? *Eur J Nutr.* 2021 Oct;60(7):3567–3584. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02491-6>.
55. **González-Soltero R., Bailén M., de Lucas B., Ramírez-Goercke M.I., Pareja-Galeano H., Larrosa M.** Role of Oral and Gut Microbiota in Dietary Nitrate Metabolism and Its Impact on Sports Performance. *Nutrients.* 2020 Nov 24;12(12):3611. <https://doi.org/10.3390/nu12123611>
56. **Guillochon M., Rowlands D.S.** Solid, Gel, and Liquid Carbohydrate Format Effects on Gut Comfort and Performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2017;27:247–254. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2016-0211>
57. **O'Brien W.J., Rowlands D.S.** Fructose-maltodextrin ratio in a carbohydrate-electrolyte solution differentially affects exogenous carbohydrate oxidation rate, gut comfort, and performance. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* 2011;300:G181–G189. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00419.2010>
58. **Clark A., Mach N.** Exercise-induced stress behavior, gut-microbiota-brain axis and diet: a systematic review for athletes. *J Int Soc Sports Nutr.* 2016 Nov 24;13:43. <https://doi.org/10.1186/s12970-016-0155-6>
59. **Burke L.M.** Practical considerations for bicarbonate loading and sports performance. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser.* 2013;75:15–26. <https://doi.org/10.1159/000345814>

60. D'Angelo S. Polyphenols: Potential Beneficial Effects of These Phytochemicals in Athletes. *Curr Sports Med Rep.* 2020 Jul;19(7):260–265. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000729>.

61. Ozdal T., Sela D.A., Xiao J., Boyacioglu D., Chen F., Capanoglu E. The Reciprocal Interactions between Polyphenols and Gut Microbiota and Effects on Bioaccessibility. *Nutrients.* 2016;8:78. <https://doi.org/10.3390/nu8020078>

62. Ma G., Chen Y. Polyphenol supplementation benefits human health via gut microbiota: A systematic review via meta-analysis. *J. Funct. Foods.* 2020;66:103829. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103829>

63. Sorrenti V., Fortinguerra S., Caudullo G., Buriani A. Deciphering the Role of Polyphenols in Sports Performance: From Nutritional Genomics to the Gut Microbiota toward Phytonutritional Epigenomics. *Nutrients.* 2020 Apr 29;12(5):1265. <https://doi.org/10.3390/nu12051265>

64. Wang P., Sang S. Metabolism and pharmacokinetics of resveratrol and pterostilbene. *Biofactors.* 2018;44:16–25. <https://doi.org/10.1002/biof.1410>

65. Chaplin A., Carpené C., Mercader J. Resveratrol, Metabolic Syndrome, and Gut Microbiota. *Nutrients.* 2018 Nov 3;10(11):1651. <https://doi.org/10.3390/nu10111651>

66. Hu Y., Chen D., Zheng P., Yu J., He J., Mao X., Yu B. The Bidirectional Interactions between Resveratrol and Gut Microbiota: An Insight into Oxidative Stress and Inflammatory Bowel Disease Therapy. *Biomed Res Int.* 2019 Apr 24;2019:5403761. <https://doi.org/10.1155/2019/5403761>

67. Close G.L., Hamilton D.L., Philp A., Burke L.M., Morton J.P. New strategies in sport nutrition to increase exercise performance. *Free Radic. Biol. Med.* 2016;98:144–158. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.01.016>

60. D'Angelo S. Polyphenols: Potential Beneficial Effects of These Phytochemicals in Athletes. *Curr Sports Med Rep.* 2020 Jul;19(7):260–265. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000729>.

61. Ozdal T., Sela D.A., Xiao J., Boyacioglu D., Chen F., Capanoglu E. The Reciprocal Interactions between Polyphenols and Gut Microbiota and Effects on Bioaccessibility. *Nutrients.* 2016;8:78. <https://doi.org/10.3390/nu8020078>

62. Ma G., Chen Y. Polyphenol supplementation benefits human health via gut microbiota: A systematic review via meta-analysis. *J. Funct. Foods.* 2020;66:103829. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103829>

63. Sorrenti V., Fortinguerra S., Caudullo G., Buriani A. Deciphering the Role of Polyphenols in Sports Performance: From Nutritional Genomics to the Gut Microbiota toward Phytonutritional Epigenomics. *Nutrients.* 2020 Apr 29;12(5):1265. <https://doi.org/10.3390/nu12051265>

64. Wang P., Sang S. Metabolism and pharmacokinetics of resveratrol and pterostilbene. *Biofactors.* 2018;44:16–25. <https://doi.org/10.1002/biof.1410>

65. Chaplin A., Carpené C., Mercader J. Resveratrol, Metabolic Syndrome, and Gut Microbiota. *Nutrients.* 2018 Nov 3;10(11):1651. <https://doi.org/10.3390/nu10111651>

66. Hu Y., Chen D., Zheng P., Yu J., He J., Mao X., Yu B. The Bidirectional Interactions between Resveratrol and Gut Microbiota: An Insight into Oxidative Stress and Inflammatory Bowel Disease Therapy. *Biomed Res Int.* 2019 Apr 24;2019:5403761. <https://doi.org/10.1155/2019/5403761>

67. Close G.L., Hamilton D.L., Philp A., Burke L.M., Morton J.P. New strategies in sport nutrition to increase exercise performance. *Free Radic. Biol. Med.* 2016;98:144–158. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.01.016>

Информация об авторах:

Кобелькова Ирина Витальевна*, к.м.н., в.н.с. лаборатории спортивной антропологии и нутрициологии, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Россия, 109240, Москва, Устьинский пр., 2/14; доцент Академии пост-дипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр» ФМБА России, Россия, 125371, Москва, Волоколамское ш., 91. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1237-5147> (irinavit66@mail.ru)

Коростелева Маргарита Михайловна*, к.м.н., с.н.с. лаборатории спортивной антропологии и нутрициологии, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Россия, 109240, Москва, Устьинский пр., 2/14; доцент кафедры управления сестринской деятельностью ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2279-648X> (korostel@bk.ru)

Information about the authors:

Irina V. Kobelkova*, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher of Sports Anthropology and Nutrition Laboratory, Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology Russia, 109240, Moscow, Ustinsky Ave., 2/14; Associate Professor of the Academy of Postgraduate Education of Scientific and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency, Russia, 125371, Moscow, Volokolamskoe highway, 91. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1237-5147> (irinavit66@mail.ru)

Margarita M. Korosteleva, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher of Sports Anthropology and Nutrition Laboratory, Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology, Russia, 109240, Moscow, Ustinsky Ave., 2/14; Associate Professor of the Department of Management of Nursing Activities of Peoples' Friendship University of Russia, Russia, 117198, Moscow, Miklouho-Maklaya str., 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2279-648X> (korostel@bk.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

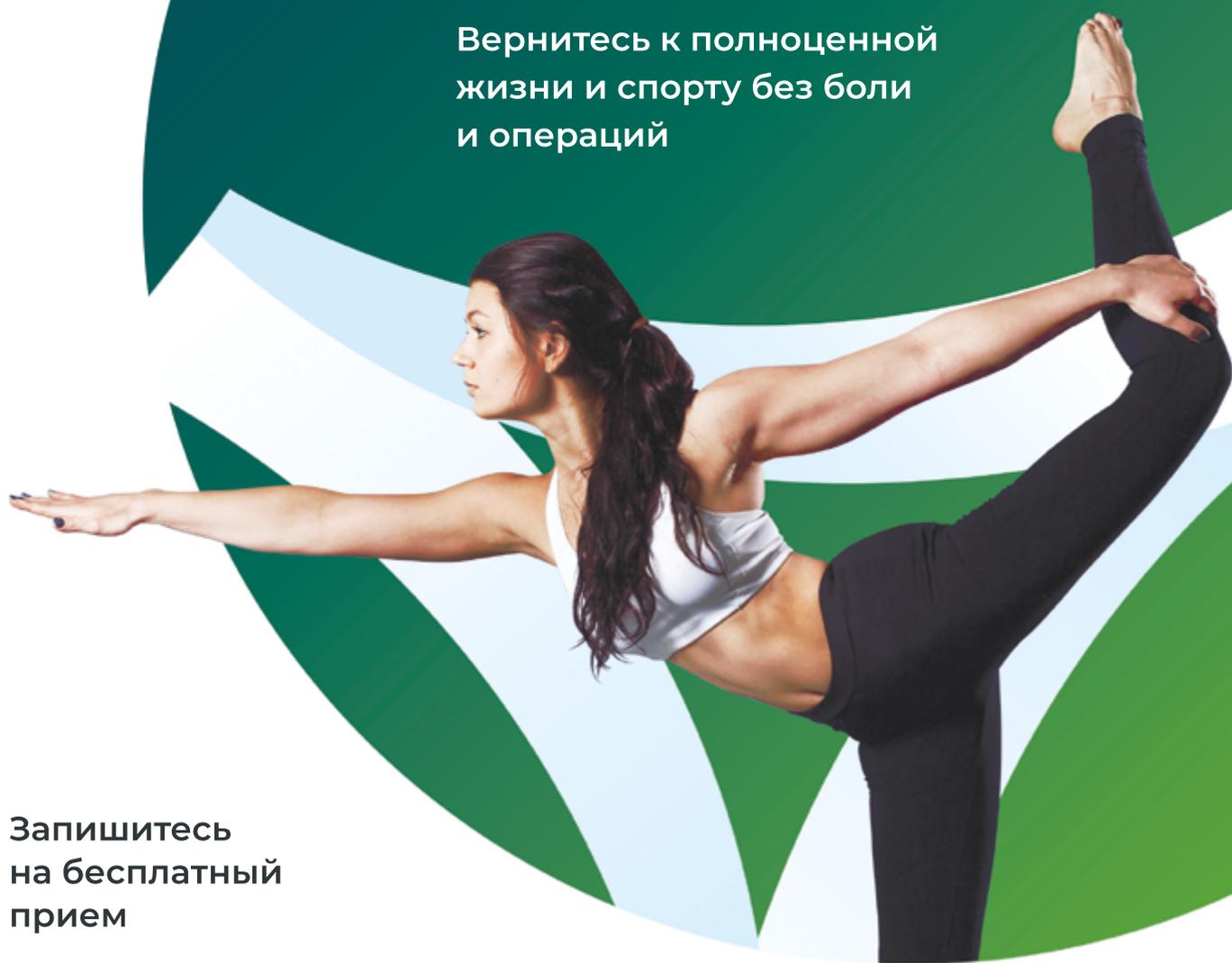


RēMEDICA

*Современный
центр спортивной
реабилитации
в Москве*

Комплексная медицинская помощь при травмах и заболеваниях опорно-двигательного аппарата

Вернитесь к полноценной
жизни и спорту без боли
и операций



Запишитесь
на бесплатный
прием

+7 495 741-18-04

Ежедневно с 9:00 – 21:00

Москва,
ул. Архитектора Власова, 6

re-medica.ru



Получите
индивидуальный
план лечения

реклама



ЦЕНТР МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ СЕЧЕНОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

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

