



Спортивная Медицина:

наука и практика



T. 12 №4

2022

Sports
Medicine:

research and practice



КЛИНИКА ЛУЖНИКИ

спортивная медицина

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

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

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



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 Е.Е. — проф., д.м.н., зав. каф. спортивной медицины и медицинской реабилитации, директор Клиники медицинской реабилитации Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), зам. председателя медицинского комитета Российского футбольного союза (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., руководитель Комиссии ПКР по медицине, антидопингу и классификации спортсменов (Россия, Москва)

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., зав. 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)

Гончаров Н.Г. — проф., д.м.н., зав. каф. травматологии и ортопедии РМАНПО (Россия, Москва) (*Травматология и ортопедия*)*

Гуревич К.Г. — проф. РАН, проф., д.м.н., зав. каф. ЮНЕСКО «ЗОЖ — залог успешного развития» МГМСУ им. А.И. Евдокимова (Россия, Москва)

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

Епифанов А.В. — проф., д.м.н., зав. каф. восстановительной медицины МГМСУ им. А.И. Евдокимова (Россия, Москва) (*Нервные болезни*)*

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

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)

Касимова 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)

Ландырь А.П. — к.м.н., доцент клиники спортивной медицины и реабилитации Тартуского университета (Эстония, Тарту)

Маргазин В.А. — проф., д.м.н., профессор каф. медико-биологических основ спорта Ярославского ГПУ им. К.Д. Ушинского (Россия, Ярославль) (*Гигиена*)*

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

Оганесян А.С. — проф., д.б.н., начальник Антидопинговой службы Армении Республиканского центра спортивной медицины и антидопинговой службы ГНКО (Армения, Ереван)

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) (*Профилактическая медицина*)*

Поляков С.Д. — проф., д.м.н., главный научный сотрудник Национального медицинского исследовательского Центра здоровья детей Минздрава России (Россия, Москва) (*Педиатрия*)*

Потапов В.Н. — проф., д.м.н., профессор каф. гериатрии и медико-социальной экспертизы РМАНПО (Россия, Москва)

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

Середа А.П. — д.м.н., профессор каф. восстановительной медицины, лечебной физкультуры и спортивной медицины (курортологии и физиотерапии) Института повышения квалификации ФМБА России (Россия, Москва) (*Восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия*)*

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

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-Г» (Россия, Москва)

Збигнев Вашкевич — доктор медицины, профессор каф. физического воспитания Академии физического воспитания им. Ежи Кукучки (Польша, Катовицы)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Бернарди Марко — доктор медицины, профессор каф. физиологии и фармакологии «Витторио Эспамер» Университета Салиенца (Италия, Рим)

Караулов А.В. — акад. РАН, проф., д.м.н., зав. каф. клинической иммунологии и аллергологии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) (Россия, Москва)

Мариани Пьер Паоло — проф., доктор медицины, проректор Римского Университета «Форо Италико», травматолог-ортопед клиники «Вилла Стюарт» (Италия, Рим)

Рахманин Ю.А. — акад. РАН, проф., д.м.н., главный научный консультант Центра стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью (Россия, Москва)

Шкробко А.Н. — проф., д.м.н., проректор по учебной работе, зав. каф. лечебной физкультуры и врачебной работы с физиотерапией ЯГМА (Россия, Ярославль)

* Член редакционной коллегии, ответственный за данную научную специальность или группу специальностей



СЕЧЕНОВСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



КЛИНИКА ЛУЖНИКИ
СПОРТИВНАЯ МЕДИЦИНА

Founded by:

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

Sports Medicine: Research and Practice

research and practical journal

FOCUS AND SCOPE

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

EDITOR-IN-CHIEF:

Evgeny Achkasov — M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Head of the Department of Sports Medicine and Medical Rehabilitation, Director of the Clinic of Medical Rehabilitation of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Deputy Chairman of the Medical Committee of the Russian Football Union (Moscow, Russia)

ASSOCIATE EDITORS:

Boris Polyakov — 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., Head of the Medicine, Anti-Doping and Athletes Classification Commission of the Russian Paralympic Committee (Moscow, Russia)

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 Burtscher — 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)

Nikolay Goncharov — M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Head of the Department of Traumatology and Orthopedics of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education (Moscow, Russia) (*Traumatology and Orthopedics*)*

Konstantin Gurevich — M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the UNESCO Department «A healthy lifestyle is a guarantee of progress» of the A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry (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) (*Clinical Medicine*)*

Aleksandr Epifanov — M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Head of the Department of Medical Rehabilitation of the A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry (Moscow, Russia) (*Diseases of Nervous System*)*

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) (*Pharmacology, Clinical Pharmacology*)*

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)

Anatoliy Landyr — M.D., Ph.D. (Medicine), Assistant Professor of Clinic of Sports Medicine and Rehabilitation, University of Tartu (Estonia, Tartu)

Vladimir Margazin — M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Professor of the Department of Medical and Biological Bases of Sport of the Yaroslavl State Pedagogical University named after K.D. Ushinsky (Yaroslavl, Russia) (*Hygiene*)*

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) (*Biomedical Science*)*

Areg Hovhannisyan — Ph.D. (Biology), Prof., Chief of the Anti-Doping Service of Armenia (Yerevan, Armenia)

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 Parastayev — 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) (*Preventive Medicine*)*

Sergey Polyakov — M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Chief Researcher of the National Medical Research Center for Children's Health (Moscow, Russia) (*Pediatrics*)*

Vladimir Potapov — M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Professor of the Department of Geriatrics and Medical and Social Expertise of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education (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) (*Medical and Social Expert Evaluation and Rehabilitation*)*

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

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) (*Cardiology*)*

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

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

Zbigniew Waśkiewicz — M.D., Professor of the Faculty of Physical Education of the Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education (Poland, Katowice)

EDITORIAL COUNCIL:

Marco Bernardi — M.D., Professor of the Department of Physiology and Pharmacology «Vittorio Ersparmer» of the Sapienza University of Rome (Rome, Italy)

Aleksandr Karaulov — M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Clinical Immunology and Allergology of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University) (Moscow, Russia)

Pier Paolo Mariani — M.D., Prof., Vice-President of the «Foro Italico» Rome University, traumatologist-orthopaedist of the «Villa Stuart» Hospital (Rome, Italy)

Yuriy Rakhmanin — M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Scientific Expert of the Center of Strategic Planning and Biomedical Health Risk Management (Moscow, Russia)

Aleksandr Shkrebo — M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Vice-rector for Academic Affairs, Head of the Department of Exercise Therapy and Medical Control with the Course of Physical Medicine of the Yaroslavl State Medical Academy (Yaroslavl, Russia)

* Member of the Editorial Board Responsible for Scientific Specialty or Group of Specialties

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/>

Заведующая редакцией журнала:

Юрку Ксения Алексеевна

Тел.: +7 (926) 648-78-64

E-mail: info@smjournal.ru

Редакция:

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

Типография:

ООО «Издательство "Триада"»

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

Сайт:

smjournal.ru

neicon.ru

Подписано в печать 01.02.2023

Формат 60x90/8

Тираж 1000 экз.

Цена договорная

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

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

Плата за публикацию статей в журнале с аспирантов не взимается.

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

Журнал издается с 2011 года

Периодичность — 4 выпуска в год

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» — 90998

© Спортивная медицина: наука и практика, оформление, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Спортивная травматология

М.В. Иванов, А.С. Самойлов, В.И. Пустовойт

Эффективность применения различных методик ударно-волновой терапии в комплексном лечении спортсменов с латеральным эпикондилитом 5

Антидопинговое обеспечение

А.А. Деревоедов, А.В. Жолинский, В.С. Фещенко, И.Т. Выходец, А.А. Павлова

Анализ эффективности противодействия допингу в спорте в рамках медико-биологического обеспечения спортсменов сборных команд 11

Врачебный контроль

А.Г. Антонов, В.Д. Выборнов, М.Ю. Баландин, П.Д. Рыбакова, В.А. Бадтиева, Д.Б. Никитюк

Практические рекомендации по стандартизации измерения метаболизма покоя методом непрямой калориметрии: литературный обзор 22

В.В. Горелик, С.Н. Филиппова, Н.Н. Назаренко

Улучшение показателей адаптации школьников к физическим нагрузкам при использовании индивидуального подхода с учетом типов вегетативной регуляции. 29

Физиология и биохимия спорта

А.С. Самойлов, А.В. Жолинский, Н.В. Рылова, И.В. Большаков

Особенности карнитинового обмена у юных спортсменов 40

М.Е. Григорьева, С.М. Сороколетов, А.В. Коробовский, Л.А. Ляпина

Текущая кровь при физических нагрузках разного вида 45

А.И. Кадькова, А.В. Жолинский, Р.В. Деев

Рациональность применения ДНК-диагностики в спортивной кардиологии 59

Саранчина Ю.В., Тюкниев М.Б., Матвеева Е.В.

Особенности динамики эритроцитарных показателей в зависимости от уровня физической активности в юношеском возрасте 67

Функциональная диагностика

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

А.Г. Антонов, Р.А. Ханферьян, М.М. Коростелева

Белок растительного и животного происхождения в аспекте прироста мышечной массы и мышечной силы: систематический обзор 77

С.М. Рябцев, Т.А. Жмурова

Оценка психофизиологического и функционального состояния студенток-баскетболисток в предсоревновательном периоде 87

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

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА

eLIBRARY.RU



ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

РУКОНТ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ РЕСУРС

INFOBASE INDEX

Crossref



Scientific Indexing Services

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

FEATURED TOPICS:

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

TYPES OF PUBLISHED MATERIALS:

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

Publisher:

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

Managing editor:

Kseniya A. Yurku
Mobile: +7 (926) 648-78-64
E-mail: info@smjournal.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: 1 February 2023
60x90/8 Format
1000 Copies

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

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

There is no publication fee for postgraduate students.

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

Published since 2011
4 issues per year

«Russian Press» catalog index — 90998

© Sports medicine: research and practice, layout, 2022

CONTENTS

Sports Traumatology

- Mark V. Ivanov, Alexander S. Samoylov, Vasylyi I. Pustovoyt*
The effectiveness of the use of various methods of shock wave therapy in the complex treatment of athletes with lateral epicondylitis 5

Sports Traumatology

- Aleksandr A. Derevoedov, Andrey V. Zholinsky, Vladimir S. Feshchenko, Igor T. Vykhodets, Anna A. Pavlova*
Analysis of the effectiveness of countering doping in sports in the framework of medical and biological support for athletes of national teams 11

Medical Control

- Alexey G. Antonov, Vasily D. Vybornov, Mikhail Y. Balandin, Polina D. Rybakova, Victoria A. Badtieva, Dmitry B. Nikityuk*
Practical guidelines for standardising the measurement of resting metabolism by indirect calorimetry: a literature review 22
- Victor V. Gorelik, Svetlana N. Filippova, Natalya N. Nazarenko*
Improving the indicators of schoolchildren's adaptation to physical activity using an individual approach, taking into account the types of vegetative regulation 29

Sports Physiology and Biochemistry

- Alexander S. Samoilo, Andrey V. Zholinsky, Natalia V. Rylova, Ivan V. Bolshakov*
Features of carnitine metabolism in young athletes 40
- Marina E. Grigorjeva, Sergey M. Sorokoletov, Alexander V. Korobovsky, Ludmila A. Lyapina*
Blood fluidity during physical exertion of various types 45
- Anastasia I. Kadykova, Andrey V. Zholinsky, Roman V. Deev*
The rationality of using DNA diagnostics in sports cardiology 59
- Yuliya V. Saranchina, Mihail B. Tyukpiekov, Elizaveta V. Matveeva*
Features of the dynamics of erythrocyte parameters depending on the level of physical activity in adolescence 67

Functional Testing

- Alexander V. Meshtel, Polina D. Rybakova, Alexander B. Miroshnikov, Vasily D. Vybornov, Aleksey G. Antonov, Roman A. Khanferyan, Margarita M. Korosteleva*
Plant and animal protein for muscle mass and strength gains: a systematic review 77
- Sergey M. Ryabtsev, Tatyana A. Zhmurova*
Assessment of the psychophysiological and functional state of basketball students in the pre-competition period 87

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

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU

ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

РУКОИТ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ РЕСУРС

INFOBASE INDEX

Crossref

Scientific Indexing Services

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.1>

УДК: 617.3

Тип статьи: Оригинальные исследования / Original Article



Эффективность применения различных методик ударно-волновой терапии в комплексном лечении спортсменов с латеральным эпикондилитом

М.В. Иванов, А.С. Самойлов, В.И. Пустовойт*

ФГБУ «Государственный научный центр РФ – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: оценка эффективности различных методик ударно-волновой терапии в комплексном лечении у спортсменов с латеральным эпикондилитом.

Материалы и методы: в исследовании принимали участие 122 чел. с диагнозом латеральный эпикондилит, в возрасте от 20 до 45 лет, из них 55 (45,1 %) женщин и 67 (54,9 %) мужчин. Все пациенты были разделены на 4 группы: контрольную, в которую вошли 28 человек, которым проводили стандартное лечение, и 3 группы общей численностью 94 человека, которым на фоне стандартного лечения проводили процедуры ударно-волновой по различным методикам. Обследование включало сбор жалоб, анамнеза, физикальное обследование, оценку функции верхней конечности по опроснику QuickDASH, оценку теннисного локтя по опроснику PRTEE, кистевую динамометрию проводили на динамометре «МЕГЕОН-34090», статистические методы. Все исследования проводились до, после лечения, а также через 3 недели и 1 мес. после лечения.

Результаты: применение ударно-волновой терапии на область сухожилий, мышц-сгибателей кисти и трехглавую мышцу плеча превосходит эффективность применения ударно-волновой терапии на область сухожилий или область сухожилий и мышц-сгибателей кисти по показателям функциональной активности верхней конечности (DASH) ($p < 0,05$) и оценке теннисного локтя (PRTEE) ($p < 0,05$) через 3 недели и через 1 мес. после лечения.

Заключение: снижение выраженности болевого синдрома и функциональных нарушений верхней конечности при выполнении различных видов деятельности при проведении ударно-волновой терапии на область на область сухожилий, мышц-сгибателей кисти и трехглавую мышцу плеча указывает на более быстрое восстановление функций верхней конечности, что особенно важно для спортсменов.

Ключевые слова: латеральный эпикондилит, ударно-волновая терапия

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Иванов М.В., Самойлов А.С., Пустовойт В.И. Эффективность применения различных методик ударно-волновой терапии в комплексном лечении спортсменов с латеральным эпикондилитом // Спортивная медицина: наука и практика. 2022;12(4):5–10. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.1>

Поступила в редакцию: 30.09.2022

Принята к публикации: 12.12.2022

Online first: 12.01.2023

Опубликована: 01.02.2023

*Автор, ответственный за переписку

The effectiveness of the use of various methods of shock wave therapy in the complex treatment of athletes with lateral epicondylitis

Mark V. Ivanov, Alexander S. Samoylov, Vasylyi I. Pustovoyt*

Russian State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

ABSTRACT

The purpose of the study: to evaluate the effectiveness of various methods of shock wave therapy in the complex treatment of athletes with lateral epicondylitis.

Materials and methods: the study involved 122 people. with a diagnosis of Lateral epicondylitis, aged 20 to 45 years, of which 55 (45.1 %) women and 67 (54.9 %) men. All patients were divided into 4 groups: a control group, which included 28 people who underwent standard treatment, and 3 groups, a total of 94 people, who underwent shock wave procedures using various methods against the background of standard treatment. The ex-

amination included the collection of complaints, anamnesis, physical examination, assessment of the function of the upper limb using the QuickDASH questionnaire, assessment of tennis elbow using the PRTEE questionnaire, carpal dynamometry was performed on a MEGEON-34090 dynamometer, and statistical methods. All studies were conducted before, after treatment, as well as after 3 weeks and 1 month. after treatment.

Results: shockwave therapy applied to tendons, flexors of the hand, and triceps brachii outperformed shockwaves to tendons or tendons and flexors of the hand in terms of Upper Limb Functional Activity (DASH) ($p < 0,05$) and score tennis elbow (PRTEE) ($p < 0,05$) after 3 weeks and after 1 month after treatment.

Conclusion: reducing the severity of pain syndrome and functional disorders of the upper limb when performing various types of activities, when conducting shock wave therapy on the area of the tendons, flexor muscles of the hand and the triceps muscle of the shoulder indicates a faster recovery of the functions of the upper limb, which is especially important for athletes.

Keywords: lateral epicondylitis, shock wave therapy

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

For citation: Ivanov M.V., Samoylov A.S., Pustovoyt V.I. The effectiveness of the use of various methods of shock wave therapy in the complex treatment of athletes with lateral epicondylitis. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2022;12(4):5–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.1>

Received: 30 September 2022

Accepted: 12 December 2022

Online first: 12 January 2023

Published: 1 February 2023

* **Corresponding author**

1. Введение

Проведение эффективного восстановительного лечения пациентов с латеральным эпикондилитом (ЛЭ) является одной из важных задач современной медицины в связи с достаточной высокой распространенностью данного заболевания, особенно у лиц, занимающихся спортом, которое возникает вследствие повторяющихся микротравм мышц-разгибателей предплечья и их сухожилий [1–4].

В настоящее время при консервативном лечении ЛЭ используют пероральные или местные нестероидные противовоспалительные препараты, местные инъекции кортикостероидов, богатой тромбоцитами плазмы, ботулотоксина, а также физические упражнения, мануальную терапию, физиотерапевтические и другие методы лечения [5–13].

В то же время внедрение новых методов аппаратной физиотерапии, таких как ударно-волновая терапия, в основе применения которой лежат анальгетический и противовоспалительный эффекты, активация микроциркуляции, стимуляция метаболических процессов, открывает новые возможности в восстановительном лечении пациентов с ЛЭ [14–16].

В связи с этим одной из актуальных задач на современном этапе является отработка оптимальной методики проведения ударно-волновой терапии у пациентов с ЛЭ, что и легло в основу данного исследования.

Цель исследования: оценка эффективности различных методик ударно-волновой терапии в комплексном лечении у спортсменов с латеральным эпикондилитом.

2. Материалы и методы

В соответствии с дизайном в исследовании принимали участие 122 чел. с диагнозом «М77. 1 Латеральный эпикондилит», в возрасте от 20 до 45 лет, из них 55 (45,1%) женщин и 67 (54,9%) мужчин. Все обследованные пациенты имели наличие спортивного звания не ниже

кандидата в мастера спорта или осуществляли тренировочную деятельность в течение двух часов не менее трех раз в неделю.

Все пациенты были разделены на 4 группы. В первую (контрольную) вошли 28 человек, которым проводили стандартное лечение, которое включало в себя прием НПВП, ношение брейса и лечебную физкультуру. Во вторую группу (сравнения) вошли 30 человек, которым на фоне стандартного лечения проводили процедуры ударно-волновой терапии на область сухожилий сгибателей кисти. Режим воздействия — 2000 импульсов за сеанс с частотой 8 Гц, давление плавно увеличивали с 1,3 до 2,5 бар в течение каждого сеанса. Использовали акупунктурную терапевтическую головку 6 А.

В третью группу (основная 1) вошли 32 человека, которым на фоне стандартного лечения проводили воздействие ударными волнами на область сухожилий и на мышцы-сгибатели кисти. Режим воздействия — 4000 импульсов за сеанс с частотой 8 Гц, давление плавно увеличивали с 1,3 до 2,5 бара в течение каждого сеанса. В начале процедуры для воздействия в проекции сухожилий (2000 импульсов) использовали акупунктурную терапевтическую головку 6 А, далее для обеспечения воздействия на мышцы (2000 импульсов) использовали передатчик глубокого воздействия 15 D.

В четвертую (основная 2) группу вошли 32 человека, которым на фоне стандартного лечения проводили процедуры ударно-волновой терапии на область сухожилий, мышцы-сгибатели кисти и на трехглавую мышцу плеча. Режим воздействия — 6000 импульсов за сеанс с частотой 8 Гц, давление плавно увеличивали с 1,3 до 2,5 бара в течение каждого сеанса. Для проработки сухожилий (2000 импульсов) использовали акупунктурную терапевтическую головку 6 А, для обеспечения воздействия на мышцы-сгибатели кисти (2000 импульсов) и трехглавую мышцу плеча (2000 импульсов) использовали передатчик глубокого воздействия 15 D.

Пациенты всех групп исходно были сопоставимы по полу, возрасту, длительности заболевания и клинико-функциональным характеристикам.

Клиническое обследование включало сбор жалоб, анамнеза, физикальное обследование. Оценку функции верхней конечности проводили по данным опросника QuickDASH, оценку теннисного локтя — по данным опросника PRTEE. Кистевую динамометрию проводили при помощи динамометра «МЕГЕОН-34090». Все исследования проводились до, после лечения, а также через 3 недели и 1 мес. после лечения.

3. Результаты исследования и их обсуждение

Пациенты всех групп исходно были сопоставимы по полу, возрасту, длительности заболевания и клинико-функциональным характеристикам. Средний возраст в контрольной группе составил $32,30 \pm 7,52$ г, в группе сравнения — $31,85 \pm 8,53$ г, в основной 1 и основной 2 группах сравнения — $29,83 \pm 5,92$ и $33,00 \pm 6,15$ г соответственно ($p > 0,05$). Длительность заболевания в группах составила от 3 до 90 ($28,00 [14; 45,00]$) дней.

После поведенного лечения отмечено статистически значимое снижение показателей опросника DASH во всех группах, что указывает на улучшение функции верхней конечности. При этом во всех группах достоверно значимое снижение показателя отмечено по отношению к предыдущему периоду исследования ($p < 0,05$) (табл. 1).

В то же время в основной 1 группе через 3 недели отмечались статистически значимые различия по отношению к показателям контрольной группы ($p < 0,05$) и группы сравнения ($p < 0,05$), а через 1 мес. после лечения — по отношению к контрольной группе ($p < 0,01$). В группе основной 2 отмечалось статистически значимые различия по сравнению с контрольной группой

и группой сравнения после лечения, а также через 3 недели и 1 мес. после лечения. Отдельно следует отметить наличие существенных различий в основной 2-й группе по отношению к основной 1-й группе через 3 недели и через 1 мес. после лечения ($p < 0,05$).

Более детальный анализ результатов опросника DASH позволил установить, что через 1 мес. после лечения хорошую функциональность или «отсутствие неспособностей» (0 баллов по опроснику DASH) в группе контроля отмечали 28,6% (8 чел.), в группе сравнения — 53,3% (16 чел.), в группе основная 1 — 62,5% (20 чел.) и в группе основная 2 — 81,3% (26 чел.).

Углубленный анализ полученных данных позволил выявить отрицательную корреляцию средней степени между результатами опросника DASH и длительностью заболевания в группе сравнения после лечения ($r = 0,427$; $p < 0,05$) и через 1 мес. после лечения в основной 1 группе ($r = -0,344$; $p < 0,05$). При этом в основной 2 группе данного рода корреляционная зависимости отсутствовала, что позволяет говорить о том, что эффективность методики не зависела от длительности заболевания.

Оценка теннисного локтя пациента по данным опросника PRTEE, позволяющего одновременно оценивать выраженность боли и нарушение функции у пациентов с латеральным эпикондилитом, показала достоверно значимое снижение данного показателя различной степени выраженности во всех исследуемых группах по отношению к предыдущему периоду исследования ($p < 0,05$). В то же время в группе основная 1 через 1 мес. после лечения отмечены статистически значимые различия по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$) (табл. 2).

В группе основная 2 уже через 3 недели после лечения, а также через 1 мес. после лечения отмечалось

Таблица 1

Динамика показателей DASH у пациентов с латеральным эпикондилитом (баллы)

Table 1

Dynamics of DASH indicators in patients with lateral epicondylitis (scores)

| Группа | Период наблюдения (Me [Q ₁ ; Q ₃]) | | | |
|------------|---|--------------------------------------|--|--|
| | До лечения | После лечения | Через 3 нед. | Через 1 мес. |
| Контроль | 25,00 [12,50; 31,25] | 21,45 [12,50; 31,25] | 6,25 [6,25; 25,00] | 6,25 [0,00;25,00] |
| Сравнения | 27,50 [18,13; 43,75] | 21,88 [12,50; 37,50] | 9,38 [6,25; 25,00] | 6,25 [0,00; 15,63] |
| Основная 1 | 25,00 [12,50; 37,50] | 12,50 [12,50; 25,00] | 6,25* [#] [6,25; 6,25] | 6,25** [0,00; 6,25] |
| Основная 2 | 27,50 [15,00; 37,50] | 12,50* [#] [6,25; 18,75] | 0,00** ^{#,!"} [0,00; 6,25] | 0,00** ^{#,!"} [0,00; 0,00] |

* — $p < 0,05$, ** — $p < 0,001$ — по отношению к контрольной группе; # — $p < 0,05$ — по сравнению с группой сравнения; " — $p < 0,05$ — по сравнению с группой основная 1.

* — $p < 0,05$, ** — $p < 0,001$ — in relation to the control group; # — $p < 0,05$ compared to the comparison group; " — $p < 0,05$ — compared with the main group 1.

Таблица 2

Динамика показателей PRTEE у пациентов с латеральным эпикондилитом (баллы)

Table 2

Dynamics of PRTEE indicators in patients with lateral epicondylitis (scores)

| Группа | Период наблюдения (Ме [Q ₁ ; Q ₃]) | | | |
|-------------|---|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | До лечения | После лечения | Через 3 недели | Через 1 мес. |
| Контрольная | 72,00 [54,00; 84,00] | 32,00 [28,00; 53,00] | 21,00 [12,00; 39,00] | 22,49 [8,00; 36,00] |
| Сравнения | 74,00 [58,00; 84,50] | 36,50 [29,00; 76,00] | 22,50 [15,50; 49,00] | 15,00 [9,50; 27,00] |
| Основная 1 | 70,00 [54,00; 79,00] | 34,67 [19,00; 45,00] | 21,50 [13,00; 23,00] | 10,00* [7,00; 19,00] |
| Основная 2 | 76,00 [54,00; 81,00] | 32,00 [21,00; 45,00] | 12,00**,#," [7,00; 21,00] | 2,00**,#," [0,00; 13,00] |

* — $p < 0,05$, ** — $p < 0,001$ — по отношению к контрольной группе; # — $p < 0,05$ — по сравнению с группой сравнения; " — $p < 0,05$ — по сравнению с группой основная 1.

* — $p < 0,05$, ** — $p < 0,001$ — in relation to the control group; # — $p < 0,05$ compared to the comparison group; " — $p < 0,05$ — compared with the main group 1.

Таблица 3

Динамика показателей силы мышц кисти у пациентов с латеральным эпикондилитом (кг)

Table 3

Dynamics of hand muscle strength in patients with lateral epicondylitis (kg)

| Группа | Период наблюдения (Ме [Q ₁ ; Q ₃]) | | | |
|------------|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | До лечения | После лечения | Через 3 недели | Через 1 мес. |
| Контроль | 50,00 [43,00; 67,00] | 50,00 [43,00; 67,00] | 50,00 [43,00; 67,00] | 51,00 [44,00; 66,00] |
| Сравнения | 56,00 [43,00; 74,50] | 56,00 [42,50; 73,50] | 56,00 [40,50; 75,00] | 56,00 [43,00; 74,50] |
| Основная 1 | 60,00 [45,00; 76,00] | 60,00 [46,00; 76,00] | 60,00 [46,00; 76,00] | 60,00 [45,00; 77,00] |
| Основная 2 | 54,00 [48,00; 71,00] | 54,00 [48,00; 71,00] | 54,00 [48,00; 71,00] | 54,00 [48,00; 71,00] |

достоверно значимое улучшение показателей опросника PRTEE по отношению к контрольной группе ($p < 0,001$), а также по отношению к группе сравнения ($p < 0,05$) и группе основная 1 ($p < 0,05$), что указывает на существенное снижение выраженности болевого синдрома и функциональных нарушений при выполнении конкретных видов деятельности (поворот дверной ручки или ключа, ношение за ручки пакета с продуктами, открывание банки, выжимание мочалки или полотенца), а также в повседневной деятельности при ведении домашнего хозяйства, выполнении рабочих или ежедневных функций, при участии в проведении развлекательных мероприятий и т. д.

Анализ динамики показателей силы мышц кисти не выявил статистически значимых различий между группами на протяжении всего исследования ($p > 0,05$) (табл. 3).

4. Выводы

Полученные данные указывают на высокую эффективность применения ударно-волновой терапии на область сухожилий, мышц-сгибателей кисти и трехглавую мышцу плеча, которая, по сравнению с применением ударно-волновой терапии на область сухожилий или область сухожилий и мышц-сгибателей кисти, позволяет в более короткие сроки (через 3 недели после лечения), достоверно значимо улучшить показатели функциональной активности верхней конечности, а также существенно улучшить субъективную оценку «теннисного локтя» в виде снижения выраженности болевого синдрома и функциональных нарушений верхней конечности при выполнении различных видов деятельности, что позволяет говорить о более быстром восстановлении функций верхней конечности, особенно важном для спортсменов.

Вклад авторов:

Иванов Марк Владимирович — сбор и обработка материала, статистический анализ, написание текста статьи.

Самойлов Александр Сергеевич — редактирование, утверждение финальной версии статьи.

Пустовойт Василий Игоревич — написание текста статьи.

Authors' contributions:

Mark V. Ivanov — material collection and processing, statistical analysis, article text writing.

Alexander S. Samoylov — editing, approval of the final version of the article.

Vasylyi I. Pustovoyt — article text writing.

Список литературы / References

1. **Castillo-Lozano R., Casuso-Holgado M.J.** Incidence of musculoskeletal sport injuries in a sample of male and female recreational paddle-tennis players. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2016;57(6):816–821. <https://doi.org/10.23736/s0022-4707.16.06240-x>

2. **Shiri R., Viikari-Juntura E., Varonen H., Heliovaara M.** Prevalence and determinants of lateral and medial epicondylitis: a population study. *Am. J. Epidemiol.* 2006;164(11):1065–1074. <https://doi.org/10.1093/aje/kwj325>

3. **Patel H., Lala S., Helfner B., Wong T.T.** Tennis overuse injuries in the upper extremity. *Skeletal Radiol.* 2021;50(4):629–644. <https://doi.org/10.1007/s00256-020-03634-2>

4. **Thomas L., Kremers H.M., Bryan A.J., Ransom J.E., Smith J., Morrey B.F.** The Epidemiology and Health Care Burden of Tennis Elbow. A Population-Based Study. *Am. J. Sports Med.* 2015;43(5):1066–1071. <https://doi.org/10.1177/0363546514568087>

5. **Yi R., Bratchenko W.W., Tan V.** Deep Friction Massage Versus Steroid Injection in the Treatment of Lateral Epicondylitis. *Hand.* 2018;13(1):56–59. <https://doi.org/10.1177/1558944717692088>

6. **Tarpada S.P., Morris M.T., Lian J., Rashidi S.** Current advances in the treatment of medial and lateral epicondylitis. *J. Orthop.* 2018;15(1):107–110. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2018.01.040>

7. **Ahmed A.F., Rayyan R., Zikria B.A., Salameh M.** Lateral epicondylitis of the elbow: an up-to-date review of management. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2022 Jan. 15. <https://doi.org/10.1007/s00590-021-03181-z>

8. **Houck D.A., Kraeutler M.J., Thornton L.B., McCarty E.C., Bravman J.T.** Treatment of Lateral Epicondylitis With Autologous Blood, Platelet-Rich Plasma, or Corticosteroid Injections: A Systematic Review of Overlapping Meta-analyses. *Orthop. J. Sports Med.* 2019;7(3):2325967119831052. <https://doi.org/10.1177/2325967119831052>

9. **Challoumas D., Kirwan P.D., Borysov D., Clifford C., McLean M., Millar N.L.** Topical glyceryl trinitrate for the treatment of tendinopathies: A systematic review. *Br. J. Sports Med.* 2019;53(4):251–262. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099552>

10. **Tarpada S.P., Morris M.T., Lian J., Rashidi S.** Current advances in the treatment of medial and lateral epicondylitis. *J. Orthop.* 2018;15(1):107–110. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2018.01.040>

11. **Struijs P.A., Kerkhoffs G.M., Assendelft W.J., Van Dijk C.N.** Conservative treatment of lateral epicondylitis: Brace versus physical therapy or a combination of both — A randomized clinical trial. *Am. J. Sports Med.* 2004;32(2):462–469. <https://doi.org/10.1177/0095399703258714>

12. **Pattanittum P., Turner T., Green S., Buchbinder R.** Nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) for treating lateral elbow pain in adults. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2013;2013(5):CD003686. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd003686.pub2>

13. **Dragoo J.L., Meadows M.C.** The use of biologics for the elbow: a critical analysis review. *J. Shoulder Elbow Surg.* 2019;28(11):2053–2060. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2019.07.024>

14. **Dedes V., Tzirogiannis K., Polikandrioti M., Dede A.M., Mitsias A., Panoutsopoulos G.I.** Comparison of radial extracorporeal shockwave therapy with ultrasound therapy in patients with lateral epicondylitis. *J. Med. Ultrason.* 2020;47(2):319–325. <https://doi.org/10.1007/s10396-019-01002-9>

15. **Özmen T., Koparal S.S., Karataş Ö., Eser F., Özkurt B., Gafuroğlu T.Ü.** Comparison of the clinical and sonographic effects of ultrasound therapy, extracorporeal shock wave therapy, and Kinesio taping in lateral epicondylitis. *Turk J. Med. Sci.* 2021;51(1):76–83. <https://doi.org/10.3906/sag-2001-79>

16. **Yan C., Xiong Y., Chen L., Endo Y., Hu L., Liu M., et al.** A comparative study of the efficacy of ultrasonics and extracorporeal shock wave in the treatment of tennis elbow: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J. Orthop. Surg. Res.* 2019;14(1):248. <https://doi.org/10.1186/s13018-019-1290-y>

Информация об авторах:

Самойлов Александр Сергеевич, д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН, генеральный директор ФГБУ «Государственный научный центр РФ — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства, Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9241-7238> (fmbc@fmbs.ru)

Иванов Марк Владимирович*, ассистент кафедры восстановительной медицины, спортивной медицины, курортологии и физиотерапии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ «Государственный научный центр РФ — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства, Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3361-4522> (dr.markivanov@gmail.com)

Пустовойт Василий Игоревич, к.м.н., заведующий лабораторией больших данных и прецизионной спортивной медицины центра спортивной медицины и реабилитации ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства, Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23 (vipust@yandex.ru)

Information about the authors:

Alexander S. Samoylov, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor, Corresponding Member of the RAS, general director of A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 23 Marshal Novikov str., Moscow, 123098, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9241-7238> (fmbc@fmbs.ru)

Mark V. Ivanov*, assistant professor of the Department of Rehabilitation Medicine, Sports Medicine, Balneology and Physiotherapy of Biomedical University of Innovation and Continuing Education of A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 23 Marshal Novikov str., Moscow, 123098, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3361-4522> (dr.markivanov@gmail.com)

Vasylyi I. Pustovoyt, MD, PhD, head of the big data and precision sports medicine laboratory at the sports medicine and rehabilitation center at the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 23 Marshala Novikova, Moscow, 123098, Russia (vipust@yandex.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Анализ эффективности противодействия допингу в спорте в рамках медико-биологического обеспечения спортсменов сборных команд

А.А. Деревоедов¹, А.В. Жолинский¹, В.С. Фещенко^{1,2}, И.Т. Выходец³, А.А. Павлова^{1,*}

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

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

³ Федеральное медико-биологическое агентство, г. Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: анализ эффективности противодействия допингу в спорте в процессе медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации и определение путей ее повышения.

Материалы и методы: на основании материалов отчетов антидопинговых организаций за 2017–2022 годы, социологических исследований распространенности допинга в спорте и структуры запросов на терапевтическое использование проведен ретроспективный анализ динамики основных показателей, отражающих различные направления борьбы с допингом.

Результаты: выявлено существенное расхождение между оценкой распространенности нарушений антидопинговых правил по результатам социологических опросов и результатам лабораторных антидопинговых исследований.

Показана положительная динамика одобрения запросов спортсменов на терапевтическое использование, что позволило вдвое увеличить долю положительных решений антидопинговых организаций.

Определены основные направления совершенствования антидопинговой работы в процессе проведения мероприятий медико-биологического обеспечения.

Ключевые слова: противодействие допингу в спорте, терапевтическое использование запрещенных субстанций и методов, медико-биологическое обеспечение подготовки спортсменов, эффективность антидопинговой работы

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного задания Федерального медико-биологического агентства № 67.001.21.800.

Для цитирования: Деревоедов А.А., Жолинский А.В., Фещенко В.С., Выходец И.Т., Павлова А.А. Анализ эффективности противодействия допингу в спорте в рамках медико-биологического обеспечения спортсменов сборных команд // Спортивная медицина: наука и практика. 2022;12(4):11–21. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.4>

Поступила в редакцию: 05.10.2022

Принята к публикации: 29.12.2022

Online first: 12.01.2023

Опубликована: 01.02.2023

* Автор, ответственный за переписку

Analysis of the effectiveness of countering doping in sports in the framework of medical and biological support for athletes of national teams

Aleksandr A. Derevoedov¹, Andrey V. Zholinsky¹, Vladimir S. Feshchenko^{1,2}, Igor T. Vykhodets³,
Anna A. Pavlova^{1,*}

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

³ Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia

ABSTRACT

Objective: analysis of the effectiveness of combating doping in sports in the process of medical and biological support of athletes forming the national teams of the Russian Federation, and determining its ways.

Materials and methods: based on the reports of anti-doping organizations for 2017–2022, sociological studies of the prevalence of doping in sports and therapeutic use structures, a retrospective analysis of the dynamics of the main indicators reflecting the directions of various doping encounters was carried out.

Results: a significant discrepancy was revealed between the assessment of the prevalence of anti-doping rule violations based on the results of sociological surveys and the results of laboratory anti-doping studies.

A significant positive dynamic of approval of therapeutic use exemptions, which allowed doubling the share of positive decisions of anti-doping organizations is shown.

The main directions of improving anti-doping work in the process of carrying out medical and biological support measures are determined.

Keywords: countering doping in sports, therapeutic use of prohibited substances and methods, medical and biological support of athletes' training, effectiveness of anti-doping work

Funding: the study was supported by the State Order of the Federal Medical and Biological Agency of Russia No. 67.001.21.800.

For citation: Derevoedov A.A., Zholinsky A.V., Feshchenko V.S., Vykhodets I.T., Pavlova A.A. Analysis of the effectiveness of countering doping in sports in the framework of medical and biological support for athletes of national teams *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2022;12(4):11–21. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.4>

Received: 5 October 2022

Accepted: 29 December 2022

Online first: 12 January 2023

Published: 1 February 2023

* Corresponding author

1. Введение

Борьба с допингом в спорте — комплексная задача, в решении которой принимают участие правительства, антидопинговые организации, персонал спортсмена, включая медицинских работников, а также сами спортсмены в соответствии с требованиями Всемирного антидопингового кодекса Всемирного антидопингового агентства (далее — Кодекс ВАДА).

В 1999 году началась новая эра борьбы с допингом в спорте. 10 ноября 1999 года было создано ВАДА, а перед этим в том же году — две наиболее крупные и авторитетные национальные антидопинговые организации — американская (далее — USADA) и австралийская (далее — ASADA). В 2004 году перед Олимпийскими играми в Афинах к ВАДА перешли все полномочия по борьбе с допингом от Международного олимпийского комитета (далее — МОК). Тогда же вступил в силу Кодекс ВАДА пересматриваемый каждые 5 лет.

Несмотря на постоянное ужесточение санкций к нарушителям антидопинговых правил, увеличение

объемов внесоревновательного контроля, внедрение биологических паспортов, выявление нарушений не превышает 2 % от объема тестов.

Вопросы терапевтического использования запрещенных субстанций и методов (далее — ТИ) регламентируются такими документами ВАДА, как Международный стандарт по терапевтическому использованию (далее — МСТИ) и Международный стандарт «Запрещенный список» (далее — Запрещенный список).

В связи с постоянным обновлением рекомендаций антидопинговых организаций и «Руководств для врачей по ТИ», внедрением новых технических документов ВАДА требуется постоянный анализ и совершенствование образовательных программ и материалов для медицинских работников.

Анализ эффективности противодействия допингу за пятилетний период позволяет наметить направления ее повышения и разработать актуальные образовательные программы, направленные на совершенствование антидопинговых знаний и умений врачей,

принимающих участие в мероприятиях медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации.

Актуальность темы

Успешность противодействия допингу определяется эффективностью различных разделов этой работы. Как правило, внедрение новых подходов к планированию тестирования и совершенствование лабораторных методов исследований наряду с ужесточением санкций за нарушения не приводят к увеличению выявляемости запрещенных субстанций. Невысокая эффективность тестирования особенно заметна при сравнении с результатами опросов спортсменов.

Начиная с 2018 года в организации антидопинговой работы медицинских работников ФМБА России произошли существенные изменения. Был усовершенствован алгоритм оформления медицинских документов для запроса на ТИ, внедрена система консультирования врачей по вопросам ТИ, находящимся в компетенции специалистов ФМБА России. Несмотря на позитивную динамику одобрений запросов на ТИ, противодействие допингу в спорте в практике врача не исчерпывается своевременным и качественным оформлением документов для получения разрешения на ТИ. Другими направлениями этой работы являются влияние на взгляды и поведение спортсмена с целью предупреждения нарушений антидопинговых правил, а также постоянное обновление образовательных и информационных материалов для врачей в соответствии с изменениями документов антидопинговых организаций.

Анализ эффективности противодействия допингу за пятилетний период позволяет наметить направления ее повышения и разработать актуальные образовательные программы, направленные на совершенствование антидопинговых знаний и умений врачей, принимающих участие в мероприятиях медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации.

Все направления антидопинговой работы требуют постоянного мониторинга, анализа и совершенствования этой работы на основе анализа. Это касается как своевременной имплементации изменений документов ВАДА, совершенствования мероприятий допинг-контроля, так и повышения эффективности антидопинговой работы медицинских специалистов, основным направлением которой является оказание помощи спортсмену при оформлении им запроса на терапевтическое использование запрещенных субстанций и методов.

Пристальное внимание к антидопинговому разделу работы при оказании медицинской помощи спортсменам любого уровня связано, во-первых, с ежегодными изменениями Запрещенного списка, введением новых положений Международного стандарта по терапевтическому использованию и, во-вторых, с постоянным притоком в спортивную медицину выпускников

медицинских вузов, не имеющих опыта применения документов антидопинговых организаций.

Умение врача применять субстанции и методы из Запрещенного списка с учетом требований документов антидопинговых организаций защищает от непредумышленного нарушения антидопинговых правил не только спортсмена, но и самого врача.

Цели и задачи исследования

Целью работы является оценка динамики эффективности противодействия допингу в работе медицинского персонала при проведении мероприятий медико-биологического обеспечения за период с 2017 года после внесения существенных изменений в организацию антидопинговой работы. Основной задачей исследования является ретроспективный анализ эффективности противодействия допингу в спорте с целью совершенствовать работу врача, оказывающего медицинскую помощь спортсмену, на всех направлениях антидопинговой работы.

2. Материалы и методы

С целью анализа эффективности противодействия допингу в спорте в процессе медико-биологического обеспечения сборных команд были рассмотрены следующие основные источники:

- обращения врачей, принимающих участие в оказании медицинской помощи спортсменам, к специалисту по антидопинговым мерам ФГБУ «ФНКЦСМ ФМБА России» за период 2017–2021 годы;
- годовые отчеты Российского антидопингового агентства «РУСАДА» за последние 5 лет в части терапевтического использования;
- годовые отчеты ряда антидопинговых организаций (ВАДА, национальные антидопинговые организации) за последние 5 лет в части терапевтического использования.

Были сопоставлены результаты лабораторных антидопинговых исследований, направленных на выявление запрещенных субстанций и методов и данные социологических опросов различных категорий населения, включая спортсменов, подлежащих допинг-контролю, что позволило оценить эффективность антидопинговой работы в целом.

Проведенный комплексный анализ различных направлений противодействия допингу позволил дать объективную оценку динамики эффективности этой работы.

3. Полученные результаты

Широкое распространение применения запрещенных в спорте субстанций и методов для повышения спортивных результатов не вызывает сомнения. Это подтверждают данные опросов, проводимых среди спортсменов в разных странах.

Большинство авторов работ утверждают, что допинг — гораздо более распространенное явление, чем

об этом можно было бы судить по результатам лабораторных тестов, приведенных в отчетах антидопинговых организаций, поскольку показано, что в разных видах спорта от 5 до 75–80 % спортсменов, участвовавших в Олимпийских играх последних двух десятилетий, принимали препараты, повышающие эффективность спортивного выступления [1, 2].

В табл. 1 приведены результаты ряда исследований, направленных на изучение распространенности, причин и рисков применения допинга в разных странах. Сами исследователи, как правило, отмечают, что, учитывая чувствительность и большое значение для будущей карьеры спортсмена информации о применении запрещенных субстанций, результаты опросов не дают полного представления о распространенности допинга среди спортсменов и реальные цифры могут оказаться существенно выше. Однако даже эти выборочные данные позволяют судить о широком распространении в спорте такого явления, как допинг.

Сопоставление данных опросов и информации об отклонениях в биологических паспортах спортсменов говорит о том, что возможная частота применения допинга элитными спортсменами составляет от 14 до 39 %, в то время как положительные результаты лабораторных тестов существенно ниже [10].

Утверждается, что допинговые скандалы служат мощным средством косвенной рекламы, демонстрирующей, что без допинга невозможно добиться высоких спортивных результатов [1].

Таким образом, результаты проведенных исследований говорят о достаточно широком распространении применения допинга в самых разных странах, хотя можно полагать, что реальные показатели еще выше, поскольку спортсмены склонны скрывать такую информацию в связи с ее возможным влиянием на карьеру.

С целью анализа эффективности допинг-контроля рассмотрены данные, приведенные в отчетах ВАДА за 2017–2021 годы, отражающие объемы тестирования и количество неблагоприятных результатов анализа (положительных тестов) [11–14]. За 2021 год ВАДА представило только отчет по соответствию Кодексу без информации о тестировании.

Количество собранных допинг-проб (табл. 2), как и количество выявленных положительных проб (табл. 3), имело тенденцию к увеличению на протяжении 2017–2019 годов, однако COVID-19 внес существенные коррективы в антидопинговую активность в 2020 году. Было ограничено количество проводимых спортивных мероприятий и, соответственно, снижен объем допинг-тестирования.

Таблица 1

Результаты исследований, направленных на изучение распространенности, причин и рисков применения допинга в разных странах (по данным социологических опросов)

Table 1

Results of research aimed at studying the prevalence, causes and risks of doping in different countries (according to sociological surveys)

| Страна | Результаты исследований |
|--------------------------|---|
| Саудовская Аравия [3] | 4,3 % спортсменов применяют запрещенные субстанции. Факторы риска: низкий уровень образования, возраст до 20 лет, предшествующий прием биологически активных добавок (далее — БАД) и низкая информированность о возможных последствиях. Основной причиной использования запрещенных подходов является стремление повысить результаты |
| Российская Федерация [4] | 16,2 % спортсменов среднего школьного возраста от 11 до 15 лет считают, что без допинга невозможно добиться высоких спортивных результатов, 49,1 % подростков от 16 до 18 лет уверены в невозможности достижения высоких спортивных результатов без применения запрещенных фармакологических средств, а около 70 % опрошенных тренеров согласились с данным утверждением. Положительное отношение к допингу у молодых спортсменов зачастую совпадало с позицией их тренера по данному вопросу |
| Италия [5] | 10 % спортсменов признали частое использование амфетаминов и анаболических стероидов, 7 % использовали кровяной допинг, 2 % — бета-блокаторы или другие классы запрещенных субстанций |
| Греция [6] | Подтверждается зависимость частоты употребления допинга от социального окружения и общественного мнения о проблеме допинга |
| Албания [7] | Показано, что риск применения допинга выше в группах видов спорта, связанных с большой анаэробной работой и высоким риском травм. Более высоким риск применения допинга выявлен также у тех спортсменов, которые считают, что допинг является неотъемлемой составляющей их вида спорта, а также у тех, кто употребляет большое количество БАД |
| Франция [8] | Запрещенные субстанции применяли от 3 до 5 % детей и подростков, занимающихся спортом. Распространенность была выше у мальчиков, а также у тех, кто участвует в соревнованиях. Распространенность допинга у взрослых была значительно выше — 5–15 % |
| Германия [9] | Распространенность допинга среди спортсменов составляет 15 %. Авторы указывают, что в связи с чувствительностью и сокрытием информации цифры можно рассматривать как заниженные |

В гораздо большей степени эффективность противодействия допингу отражает доля положительных тестов из числа проведенных. Здесь тенденция прямо противоположная объемам тестов. Начиная с 2017 года количество положительных проб неуклонно падает, а если рассматривать только положительные пробы в олимпийских видах спорта, то этот показатель стабильно находится ниже единицы.

В табл. 4 представлена эффективность тестирования в олимпийских и неолимпийских видах спорта в 2017–2021 годах.

Для большей наглядности в таблицу добавлены результаты тестирования за 2008–2010 годы [15–17]. 2008 год взят за начало отсчета, поскольку с этого года стали выделяться атипичные результаты исследования, которые до этого включались в итоговые отчетные цифры, что завышало эффективность тестирования.

Прослеживается тенденция к снижению выявления положительных проб в олимпийских видах спорта, что вряд ли означает прогресс в борьбе с допингом.

Скорее, речь идет о проблемах с планированием тестирований и неэффективности лабораторных исследований.

Информация о пяти наиболее часто выявляемых классах субстанций при допинг-контроле, взятая из отчета ВАДА за 2019, чтобы исключить влияние пандемии, представлена в табл. 5.

Данные соотношения сохраняются на протяжении последних 5 лет с периодической сменой позиций отдельных классов внутри этой пятерки.

На протяжении практически всего периода существования ВАДА с 1999 года доля выявляемых нарушений от общего количества тестов остается примерно на одном уровне.

Если взять отдельные страны, самые высокие цифры наблюдались у отдельных антидопинговых организаций (Франция, Китай) и не превышали в отдельные годы 5 %, хотя в них включались, как правило, выявленные атипичные результаты и случаи нарушений в неолимпийских видах спорта.

Таблица 2

Количество собранных допинг-проб

Table 2

Number of doping samples collected

| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|------|
| Олимпийские виды спорта | 205 405 | 220 659 | 227 032 | 127 483 | н/д |
| Неолимпийские виды спорта | 39 827 | 42 860 | 51 015 | 22 275 | н/д |
| Всего | 245 232 | 263 519 | 27 8047 | 149 758 | н/д |

Таблица 3

Выявлено положительных проб

Table 3

Positive samples detected

| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|---------------------------|------|------|------|------|------|
| Олимпийские виды спорта | 1575 | 1659 | 1519 | 612 | н/д |
| Неолимпийские виды спорта | 1174 | 1115 | 1183 | 397 | н/д |
| Всего | 2749 | 2774 | 2702 | 1009 | н/д |

Таблица 4

Доля положительных проб от общего количества тестов (%)

Table 4

Percentage of positive samples from the total number of tests (%)

| | 2008 | 2009 | 2010... | ...2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|---------------------------|------|------|---------|---------|------|------|------|------|
| Олимпийские виды спорта | 0,98 | 0,9 | 0,9 | 0,77 | 0,75 | 0,67 | 0,48 | н/д |
| Неолимпийские виды спорта | 1,35 | 1,56 | 1,5 | 2,95 | 2,60 | 2,32 | 1,78 | н/д |
| Всего | 1,08 | 1,11 | 1,08 | 1,12 | 1,05 | 0,97 | 0,67 | н/д |

Таблица 5

Пять классов запрещенных субстанций, наиболее часто выявляемых при допинг-контроле (2019 г.)

Table 5

Five classes of prohibited substances most frequently detected during doping control (2019)

| № п/п | Наименование класса | Доля от общего количества нарушений (%) |
|-------|--|---|
| 1 | S1 Анаболические агенты | 44 |
| 2 | S5 Диуретики и другие маскирующие агенты | 16 |
| 3 | S6 Стимуляторы | 15 |
| 4 | S4 Гормоны и модуляторы метаболизма | 9 |
| 5 | S9 Глюкокортикостероиды | 6 |

Отчетные данные ВАДА вызывают еще больше вопросов, если их сравнивать с результатами различных социологических опросов, которые говорят о многократном превышении распространения допинга в спорте в сравнении с показателями отчетов.

Основой терапевтического использования является Запрещенный список, который ВАДА ежегодно пересматривает, проводя при этом процесс консультаций, в котором участвуют высококвалифицированные эксперты в области науки и медицины со всего мира, а также заинтересованные стороны. Это позволяет ВАДА анализировать последние тенденции и научные исследования, чтобы гарантировать, что любое новое или существующее вещество или метод, которые могут соответствовать критериям для включения в Запрещенный список, рассматриваются своевременно, чтобы защитить здоровье спортсменов и обеспечить равные условия для всех [11].

Механизм ТИ — средство, с помощью которого спортсмен может получить разрешение на использование запрещенной субстанции или метода для лечения установленного заболевания. Это необходимая часть элитного спорта, которую поддерживают подавляющая часть спортсменов, врачей и заинтересованных сторон по всему миру.

В помощь Комитетам по терапевтическому использованию антидопинговых организаций (далее — КТИ) были разработаны и опубликованы «Руководства для врачей по ТИ» и «Контрольные формы запросов на ТИ», содержащие основные требования к постановке диагноза, проведению терапии и оформлению медицинских документов, которые спортсмен прилагает к запросу. Следование этим документам позволяет повысить вероятность получения спортсменом разрешения на ТИ.

В ежегодных отчетах ВАДА указывается только количество одобренных запросов на ТИ, зарегистрированных в Системе антидопингового администрирования и менеджмента (АДАМС), аккумулирующей информацию о большинстве разделов антидопинговой работы.

Для анализа эффективности работы по предоставлению ТИ были рассмотрены отчеты за 2021 год наиболее крупных, эффективных и авторитетных НАДО,

к которым можно отнести Италию, США, Австралию, Францию, Россию, Норвегию и Китай [18–24]. Эффективность этой работы оценивалась как доля одобренных запросов на ТИ от количества поданных, что косвенно может характеризовать эффективность работы медицинских специалистов. Была рассмотрена доступная информация, размещенная на сайтах антидопинговых организаций, отражающая, как правило, количество поданных запросов, количество предоставленных разрешений и отказов. Некоторые отчеты содержали и другие данные — запросы на субстанции, не требующие ТИ, запросы, находящиеся на рассмотрении, случаи, когда запрос не требовался и ряд других. В представленных таблицах неясные или недетализированные причины отказов отнесены к прочим.

Анализируемая информация о запросах не является полной. НАДО в соответствии с Кодексом ВАДА предоставляют разрешения на ТИ только спортсменам национального уровня и ниже. Спортсмены международного уровня должны обращаться с запросами на ТИ в международную федерацию по виду спорта. Между тем международные федерации в своих ежегодных отчетах не предоставляют и не анализируют информацию о количестве запросов на ТИ и количестве предоставленных разрешений и отказов. Эти положения никак не регламентируются ВАДА и не позволяют оценить эффективность работы в целом. Представленные данные отражают исключительно работу НАДО.

В табл. 6 включена информация о количестве поданных запросов на ТИ, количестве предоставленных разрешений и отказов, а также другая информация, если она указана в отчете НАДО.

Представленные в табл. 6 данные позволяют выявить ряд закономерностей. Обращает на себя внимание большое количество поступающих запросов в НАДО Италии и США, кратно превышающие таковые в других странах. Поскольку НАДО предоставляют разрешения только спортсменам национального уровня и ниже, эти данные могут свидетельствовать об особенностях организации антидопинговой работы среди спортсменов национального и более низкого уровней. Возможно также, что запросы в международные федерации,

Таблица 6

Запросы на ТИ, поступившие в национальные антидопинговые организации в 2021 году

Table 6

TUE requests received by national anti-doping organizations in 2021

| Страна | Подано запросов | Выдано разрешений/ % от поданных | Отклонено | Не требующие одобрения | Прочее |
|-----------|-----------------|-------------------------------------|-----------|------------------------|--------|
| Италия | 581 | 259 / 45 % | 57 | 265 | |
| США | 558 | 322 / 58 % | 32 | 204 | |
| Австралия | 198 | 114 / 56 % | 2 | 23 | 59 |
| Франция | 164 | 56 / 34 % | 108 | | |
| Россия | 91 | 43 / 47 % | 12 | | 36 |
| Норвегия | 79 | 37 / 47 % | 7 | | 33 |
| Китай | 77 | 12 / 16 % | 4 | 51 | 10 |

подаваемые спортсменами международного уровня, идут через НАДО и отражаются в их отчетах. Более подробная информация о процессе ТИ, включая уровень спортсменов, подававших запросы, количество запросов, направленных в международные федерации и ряд других, недоступна.

Качество запросов, т. е. доля предоставленных разрешений от общего количества запросов находится на сравнимом уровне во всех странах за исключением Китая. Две наиболее опытные НАДО, которые были образованы еще до создания ВАДА, — США и Австралия — имеют наиболее высокий процент предоставленных разрешений.

Не все НАДО дают подробный анализ причин отказов, но в тех случаях, когда такой анализ проведен, обращает на себя внимание большое количество запросов на субстанции, которые не запрещены или не требуют запроса в конкретных условиях. Например, речь может идти о ситуации, когда запрашивается разрешение на ТИ субстанции, запрещенной только в соревновательный период, но применяемой вне соревнований. Как правило, это говорит о перестраховке врачей и спортсменов, когда запрос направляется «на всякий случай».

В ФМБА России в 2017 году антидопинговая работа при проведении мероприятий медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации была существенно реорганизована. Были назначены лица, ответственные за проведение антидопинговой работы в медицинских организациях ФМБА России, а также специалист по антидопинговым мерам в ФГБУ «ФНКЦСМ ФМБА России». В 2020 году был утвержден порядок оформления медицинских документов для запроса на ТИ, содержащий направления и формы взаимодействия врачей, принимающих участие в медико-биологическом обеспечении спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации.

Если оценивать результаты проведенных изменений формально, то уже в 2019 году количество положительных решений по запросам превысило показатели предыдущих лет вдвое.

Более глубокий ретроспективный анализ проведенной работы позволяет сделать ряд выводов, которые могут служить основой профилактической и образовательной работы.

В Российской Федерации эффективность работы, связанной с запросами на ТИ, находится на уровне, сравнимом с большинством ведущих стран. Количество подаваемых запросов на ТИ не может в полной мере отражать эффективность, поскольку должна сравниваться с потребностью в назначении запрещенных субстанций и методов, что практически невозможно из-за отсутствия необходимой информации.

Данные о запросах, приведенные в табл. 7, взяты из ежегодных отчетов РАА «РУСАДА» [24].

Количество запросов на ТИ, поступивших в РАА «РУСАДА» за последние 5 лет, находится примерно на одном уровне, за исключением 2020 года, когда спортивная деятельность в целом сократилась под влиянием пандемии.

В 2021 году запросы чаще всего подавались на субстанции и методы из классов Запрещенного списка, представленных в табл. 8.

Необходимо заметить, что в предшествующие три года больше всего запросов подавались на глюкокортикоиды, которые также наиболее часто отклонялись, поскольку запросы не требовались. Работа, проведенная РАА «РУСАДА» и специалистами ФГБУ «ФНКЦСМ ФМБА России», привела к лучшему пониманию врачами порядка назначения субстанций, запрещенных только в соревновательный период, и, соответственно, к снижению количества необоснованных запросов и отказов.

Противодействие допингу в спорте медицинскими работниками не исчерпывается оформлением

Таблица 7

Запросы, поступившие в РАА «РУСАДА» в 2017–2021 годах

Table 7

TUE requests received by RAA RUSADA in 2017–2021

| Год | Подано запросов | Выдано разрешений/ % от поданных | Отклонено | Причина не указана |
|------|-----------------|-------------------------------------|-----------|--------------------|
| 2017 | 98 | 22 / 22 % | 10 | 66 |
| 2018 | 101 | 22 / 22 % | 16 | 63 |
| 2019 | 104 | 48 / 46 % | 28 | 28 |
| 2020 | 68 | 35 / 51 % | 12 | 21 |
| 2021 | 91 | 43 / 47 % | 12 | 36 |

Таблица 8

Пять классов субстанций и методов, на которые наиболее часто направлялись запросы на ТИ в РАА «РУСАДА»
(2021 г., в % от количества запросов)

Table 8

Five classes of substances and methods to which TUE requests were most often sent to RAA RUSADA
(2021, in % of the number of requests)

| Класс | Наименование класса | Доля от общего количества запросов (%) |
|-------|---------------------------------------|--|
| S4 | Гормоны и модуляторы метаболизма | 29 |
| S5 | Диуретики и другие маскирующие агенты | 27 |
| S9 | Глюкокортикоиды | 21 |
| S3 | Бета-2 стимуляторы | 11 |
| M2 | Химические и физические манипуляции | 5 |

медицинских документов для запроса на ТИ. Врач как специалист, имеющий высокий авторитет в глазах спортсмена, может оказывать влияние на его поведение и намерения, разъясняя спортсмену как медицинские аспекты влияния допинга, так и негативный эффект, который он может оказать на карьеру спортсмена.

Как показывают отчеты ВАДА, наибольшее количество запрещенных субстанций выявляется в пробах спортсменов в циклических, скоростно-силовых и игровых видах спорта. Спортсмены этих групп видов спорта должны стать объектом наиболее активной антидопинговой работы врача.

Еще одно направление этой работы — эффективная организация и проведение фармакологической поддержки как элемента медико-биологического обеспечения. Применение разрешенных фармакологических средств и проверенных БАД часто дает не меньший эффект, чем сложные и высокорискованные схемы, включающие субстанции из Запрещенного списка. На первый план выступает профессионализм и опыт врача.

Результаты анализа запросов врачей дают большой объем информации о проблемах, связанных с оформлением медицинских документов. Чаще всего причиной отказов по-прежнему являются запросы на субстанции в тех случаях, когда запрос не требуется. В первую очередь это касается классов субстанций, запрещенных

только в соревновательный период: глюкокортикоидов (далее — ГК), наркотических анальгетиков и стимуляторов.

Новый порядок назначения глюкокортикоидов, вступивший в силу с 01.01.2022 года, предоставляет спортсмену возможность обращаться за разрешением на ретроактивное ТИ в период соревнований после проведения тестирования.

Несмотря на позитивные сдвиги, в антидопинговой работе врачей сохраняются существенные резервы для повышения ее эффективности.

Речь идет как о совершенствовании антидопинговой работы в медицинских организациях ФМБА России, так и о распространении этого опыта на другие медицинские организации, куда, как показывает практика, обращается до 50 % спортсменов, подлежащих допинг-контролю.

К основным направлениям совершенствования антидопинговой работы в ФМБА России можно отнести:

- внесение изменений в медицинскую документацию спортсмена и базу данных ФГИС МИАС, направленных на отражение антидопинговой работы для дальнейшего ее анализа и совершенствования;
- актуализация антидопинговых образовательных материалов для врачей, отражающих текущие изменения документов ВАДА;

- регулярный анализ качества медицинских документов для запроса на ТИ;
- проведение тестирований для оценки знаний и умений врачей в части противодействия допингу.

В связи с различным уровнем допингового риска различных групп видов спорта необходима разработка образовательных и информационных материалов для врачей, разъясняющих и детализирующих направления работы в связи с рисками. Основным ее разделом должна стать профилактика возможных нарушений путем влияния на взгляды спортсмена и тренерского состава. Врач, оказывающий помощь спортсмену, должен совершенствовать свои знания физиологии спорта, понимать возможные механизмы действия запрещенных субстанций в зависимости от группы видов спорта и использовать наиболее современные и эффективные методы профилактики, лечения и реабилитации.

Многое здесь будет зависеть от профессионализма, информированности и активности врача.

Следующим важным направлением является масштабирование имеющегося опыта на врачебно-физкультурные диспансеры, а в перспективе — на все медицинские организации.

Информационные, методические, образовательные материалы по вопросам антидопинга необходимо сделать доступными для каждого врача. Для этого можно

Вклад авторов:

Деревоедов Александр Анатольевич — существенный вклад в концепцию работы, сбор, анализ содержания, написание текста.

Жолинский Андрей Владимирович — критический пересмотр содержания, утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Фещенко Владимир Сергеевич — утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Выходец Игорь Трифанович — утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Павлова Анна Александровна — оформление рукописи.

Литература

1. **Платонов В.Н.** Допинг в олимпийском спорте: кризисные явления и пути их преодоления. Педагогика, психология та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. 2016;20(6):53–86. <https://doi.org/10.15561/18189172.2016.0608>
2. **Тевари С., Гонашвили А.С., Синютин М.В.** Отношение жителей Санкт-Петербурга к допингу в спорте: материалы социологического исследования. Теория и практика физической культуры. 2018;(6):90–91.
3. **Al Ghobain M., Konbaz M.S., Almassad A., Alsultan A., Al Shubaili M., Al Shabanh O.** Prevalence, knowledge and attitude of prohibited substances use (doping) among Saudi sport players. *Subst. Abuse Treat. Prev. Policy.* 2016;11:14. <https://doi.org/10.1186/s13011-016-0058-1>
4. **Бадрак К.А.** Отношение к проблеме допинга в спортивных школах. Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. 2010;(2):37–38.

использовать различные каналы и источники информации, а основой могут служить различные образовательные материалы РАА «РУСАДА», ориентированные на медицинских работников, а также материалы, разработанные в ФГБУ «ФНКЦСМ ФМБА России».

В качестве целевых показателей можно рассматривать достижение эффективности ТИ на уровне 60–70 % в течение ближайших двух лет. Эта работа требует не только участия специалистов по антидопинговой работе медицинских организаций ФМБА России, но и вовлечения врачей других медицинских организаций, принимающих участие в оказании помощи спортсменам, подлежащим допинг-контролю.

4. Выводы

Таким образом, ретроспективный анализ эффективности противодействия допингу в спорте в рамках медико-биологического обеспечения спортсменов сборных команд выявил повышение качества оформления медицинских документов для запросов на ТИ, что отразилось на увеличении доли положительных решений КТИ и сближении этих показателей с таковыми у ведущих стран. Были определены проблемы, связанные с организацией антидопинговой работой медицинского персонала, и основные направления ее совершенствования.

Authors' contributions:

Aleksandr A. Derevoedov — a significant contribution to the article concept, collection, analysis of content, text writing.

Andrey V. Zholinsky — critical review of the content, approval of the article final version for publication.

Vladimir S. Feshchenko — approval of the article final version for publication.

Igor T. Vykhodets — approval of the article final version for publication.

Anna A. Pavlova — manuscript formatting.

References

1. **Platonov V.N.** Doping in olympic sport: signs of the crisis and ways to overcome it. *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports.* 2016;20(6):53–86 (In Russ.). <https://doi.org/10.15561/18189172.2016.0608>
2. **Tvari S., Gonashvili A.S., Sinyutin M.V.** The attitude of St. Petersburg residents to doping in sports: materials of a sociological study. *Teoriya i praktika fizicheskoi kul'tury = Theory and practice of physical culture.* 2018;(6):90–91 (In Russ.).
3. **Al Ghobain M., Konbaz M.S., Almassad A., Alsultan A., Al Shubaili M., Al Shabanh O.** Prevalence, knowledge and attitude of prohibited substances use (doping) among Saudi sport players. *Subst. Abuse Treat. Prev. Policy.* 2016;11:14. <https://doi.org/10.1186/s13011-016-0058-1>
4. **Badrak K.A.** Attitude to the problem of doping in sports schools. *Fizicheskaya kul'tura: vospitanie, obrazovanie, trenirovka = Physical education: education, training.* 2010;(2):37–38 (In Russ.).

5. Scarpino V, Arrigo A, Benzi G, Garattini S, La Vecchia C, Bernardi L.R., Silvestrini G, Tuccimei G. Evaluation of prevalence of "doping" among Italian athletes. *Lancet*. 1990;336(8722):1048–1050. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(90\)92502-9](https://doi.org/10.1016/0140-6736(90)92502-9)

6. Ntoumanis N., Barkoukis V., Gucciardi D.F., Chan D.K.C. Linking Coach Interpersonal Style with Athlete Doping Intentions and Doping Use: A Prospective Study. *J. Sport Exerc. Psychol*. 2017;39(3):188–198. <https://doi.org/10.1123/jsep.2016-0243>

7. Sekulic D., Tahiraj E., Zvan M., Zenic N., Uljevic O., Lesnik B. Doping Attitudes and Covariates of Potential Doping Behaviour in High-Level Team-Sport Athletes; Gender Specific Analysis. *J. Sports Sci. Med*. 2016;15(4):606–615.

8. Laure P. Doping: epidemiological studies. *Presse Med*. 2000; 29(24):1365–1372.

9. Wippert P.-M., Flisser M. National doping prevention guidelines: Intent, efficacy and lessons learned — A 4-year evaluation. *Subst. Abuse Treat. Prev. Policy*. 2016;11(1):35. <https://doi.org/10.1186/s13011-016-0079-9>

10. de Hon O., Kuipers H., van Bottenburg M. Prevalence of doping use in elite sports: a review of numbers and methods. *Sports Med*. 2015;45(1):57–69. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0247-x>

11. WADA. 2020 Anti-Doping Testing Figures [internet]. Available at: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/2022-01/2020_anti-doping_testing_figures_en.pdf (accessed 07 July 2022).

12. WADA. 2019 Anti-Doping Testing Figures [internet]. Available at: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/2019_anti-doping_testing_figures_en.pdf (accessed 07 July 2022).

13. WADA. 2018 Anti-Doping Testing Figures [internet]. Available at: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/2018_testing_figures_report.pdf (accessed 07 July 2022).

14. WADA. 2017 Anti-Doping Testing Figures [internet]. Available at: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/2017_anti-doping_testing_figures_en_0.pdf (accessed 07 July 2022).

15. WADA. 2008 Adverse Analytical Findings and Atypical Findings WADA. Reported by Accredited Laboratories [internet]. Available at: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/WADA_LaboStatistics_2008.pdf (accessed 19 July 2022).

16. WADA. 2009 Adverse Analytical Findings and Atypical Findings Reported by Accredited Laboratories [internet]. Available at: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/WADA_2009_LaboratoryStatisticsReport_Final.pdf (accessed 19 July 2022).

17. WADA. 2010 Adverse Analytical Findings and Atypical Findings Reported by Accredited Laboratories [internet]. Available at: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/WADA_2010_Laboratory_Statistics_Report.pdf (accessed 19 July 2022).

18. NADO Italia Antidoping. Report Attivita Antidoping 2021 [internet]. Available at: <https://www.nadoitalia.it/attivita/controlli-antidoping/dati-statistici/423-dati-statistici-dell-anno-2021/file.html>. Электронный документ (accessed 19 July 2022).

19. USADA 2021. Compete Well. Annual Report [internet]. Available at: <https://www.usada.org/wp-content/uploads/2021-US-ADA-Annual-Report-.pdf> (accessed 19 July 2022).

20. Rapport D'activité 2021 [internet]. Available at: https://www.afl.d.fr/wp-content/uploads/2022/06/211595_AFLD_RA_21_HD_STDC.pdf (accessed 19 July 2022).

21. Sport Integrity Australia. 20/21 Annual Report [internet]. Available at: <https://www.sportintegrity.gov.au/sites/>

5. Scarpino V, Arrigo A, Benzi G, Garattini S, La Vecchia C, Bernardi L.R., Silvestrini G, Tuccimei G. Evaluation of prevalence of "doping" among Italian athletes. *Lancet*. 1990;336(8722):1048–1050. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(90\)92502-9](https://doi.org/10.1016/0140-6736(90)92502-9)

6. Ntoumanis N., Barkoukis V., Gucciardi D.F., Chan D.K.C. Linking Coach Interpersonal Style with Athlete Doping Intentions and Doping Use: A Prospective Study. *J. Sport Exerc. Psychol*. 2017;39(3):188–198. <https://doi.org/10.1123/jsep.2016-0243>

7. Sekulic D., Tahiraj E., Zvan M., Zenic N., Uljevic O., Lesnik B. Doping Attitudes and Covariates of Potential Doping Behaviour in High-Level Team-Sport Athletes; Gender Specific Analysis. *J. Sports Sci. Med*. 2016;15(4):606–615.

8. Laure P. Doping: epidemiological studies. *Presse Med*. 2000; 29(24):1365–1372.

9. Wippert P.-M., Flisser M. National doping prevention guidelines: Intent, efficacy and lessons learned — A 4-year evaluation. *Subst. Abuse Treat. Prev. Policy*. 2016;11(1):35. <https://doi.org/10.1186/s13011-016-0079-9>

10. de Hon O., Kuipers H., van Bottenburg M. Prevalence of doping use in elite sports: a review of numbers and methods. *Sports Med*. 2015;45(1):57–69. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0247-x>

11. WADA. 2020 Anti-Doping Testing Figures [internet]. Available at: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/2022-01/2020_anti-doping_testing_figures_en.pdf (accessed 07 July 2022).

12. WADA. 2019 Anti-Doping Testing Figures [internet]. Available at: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/2019_anti-doping_testing_figures_en.pdf (accessed 07 July 2022).

13. WADA. 2018 Anti-Doping Testing Figures [internet]. Available at: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/2018_testing_figures_report.pdf (accessed 07 July 2022).

14. WADA. 2017 Anti-Doping Testing Figures [internet]. Available at: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/2017_anti-doping_testing_figures_en_0.pdf (accessed 07 July 2022).

15. WADA. 2008 Adverse Analytical Findings and Atypical Findings WADA. Reported by Accredited Laboratories [internet]. Available at: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/WADA_LaboStatistics_2008.pdf (accessed 19 July 2022).

16. WADA. 2009 Adverse Analytical Findings and Atypical Findings Reported by Accredited Laboratories [internet]. Available at: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/WADA_2009_LaboratoryStatisticsReport_Final.pdf (accessed 19 July 2022).

17. WADA. 2010 Adverse Analytical Findings and Atypical Findings Reported by Accredited Laboratories [internet]. Available at: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/WADA_2010_Laboratory_Statistics_Report.pdf (accessed 19 July 2022).

18. NADO Italia Antidoping. Report Attivita Antidoping 2021 [internet]. Available at: <https://www.nadoitalia.it/attivita/controlli-antidoping/dati-statistici/423-dati-statistici-dell-anno-2021/file.html>. Электронный документ (accessed 19 July 2022) (In Italian).

19. USADA 2021. Compete Well. Annual Report [internet]. Available at: <https://www.usada.org/wp-content/uploads/2021-US-ADA-Annual-Report-.pdf> (accessed 19 July 2022).

20. Rapport D'activité 2021 [internet]. Available at: https://www.afl.d.fr/wp-content/uploads/2022/06/211595_AFLD_RA_21_HD_STDC.pdf (accessed 19 July 2022) (In French).

21. Sport Integrity Australia. 20/21 Annual Report [internet]. Available at: <https://www.sportintegrity.gov.au/sites/>

default/files/11059%20Sports%20Integrity%20-%20AnnualReport2020-21_FA-tagged_GW.pdf (accessed 19 July 2022).

22. AntidopingNorge. Årsrapport 2021. Medisinsk [internet]. Available at: <https://www.antidoping.no/%C3%A5rsrapport-2021/internasjonalt-medisinsk/medisinsk-1> (accessed 19 July 2022).

23. China Anti-Doping Agency. 2020 Annual Report [internet]. Available at: <https://www.chinada.cn/en/upload/files/2021/7/92bf3fb20a5b1571.pdf> (accessed 19 July 2022).

24. Отчеты о деятельности РАА «РУСАДА» 2017–2022 годы [интернет]. Режим доступа: <https://rusada.ru/about/reports/> (дата обращения 19.07.2022).

default/files/11059%20Sports%20Integrity%20-%20AnnualReport2020-21_FA-tagged_GW.pdf (accessed 19 July 2022).

22. AntidopingNorge. Årsrapport 2021. Medisinsk [internet]. Available at: <https://www.antidoping.no/%C3%A5rsrapport-2021/internasjonalt-medisinsk/medisinsk-1> (accessed 19 July 2022) (In Norwegian).

23. China Anti-Doping Agency. 2020 Annual Report [internet]. Available at: <https://www.chinada.cn/en/upload/files/2021/7/92bf3fb20a5b1571.pdf> (accessed 19 July 2022).

24. Reports on the activities of RAA RUSADA 2017–2022 [internet]. <https://rusada.ru/about/reports/> (accessed 19.07.2022) (In Russ.).

Информация об авторах:

Деревоедов Александр Анатольевич, к.м.н., ведущий научный сотрудник организационно-исследовательского отдела ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», 121059, Россия, Москва, Большая Дорогомиловская ул., 5. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8405-859X>

Жолинский Андрей Владимирович, к.м.н., директор ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», 121059, Россия, Москва, Большая Дорогомиловская ул., 5. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0267-9761>

Фещенко Владимир Сергеевич, к.м.н., начальник организационно-исследовательского отдела ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», 121059, Россия, Москва, Большая Дорогомиловская ул., 5; доцент кафедры реабилитации, спортивной медицины и физической культуры ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4574-6506>

Выходец Игорь Трифанович, к.м.н., заместитель начальника Управления организации спортивной медицины Федерального медико-биологического агентства; 123182, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, 30. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6206-2771>

Павлова Анна Александровна*, врач по спортивной медицине отдела медицинского обеспечения спортивных сборных команд и соревнований ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», 121059, Россия, Москва, Большая Дорогомиловская ул., 5. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7682-2057> (+7 (977) 491-73-13; dr_pavlova@hotmail.com)

Information about the authors:

Aleksandr A. Derevoedov, Ph.D. (Medicine), Leading Researcher of the Organizational-Research Department of the Federal Research and Clinical Center of Sports Medicine and Rehabilitation of Federal Medical Biological Agency, 5 Bolshaya Dorogomilovskaya str., Moscow, 121059, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8405-859X>

Andrey V. Zholinsky, Ph.D. (Medicine), Director of the Federal Research and Clinical Center of Sports Medicine and Rehabilitation of Federal Medical Biological Agency, 5 Bolshaya Dorogomilovskaya str., Moscow, 121059, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0267-9761>

Vladimir S. Feshchenko, Ph.D. (Medicine), Head of the Organizational-Research Department of the Federal Research and Clinical Center of Sports Medicine and Rehabilitation of Federal Medical Biological Agency, 5 Bolshaya Dorogomilovskaya str., Moscow, 121059, Russia; Associate Professor of the Department of Rehabilitation, Sports Medicine and Physical Culture of Pirogov Russian National Research Medical University, 1 Ostrovityanova st., Moscow, 117997, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4574-6506>

Igor T. Vykhodets, Ph.D. (Medicine), Deputy Head of the Office of the Organization of Sports Medicine of the Federal Medical and Biological Agency, 30 Volokolamskoe sh., Moscow, 123182, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6206-2771>

Anna A. Pavlova*, sports medicine physician of the Department of medical support of sports teams and competitions of the Federal Research and Medical Center of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, 5 Bolshaya Dorogomilovskaya str., Moscow, 121059. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7682-2057> (+7 (977) 491-73-13; dr_pavlova@hotmail.com)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.7>

УДК: 577.121

Тип статьи: Обзор литературы / Review



Практические рекомендации по стандартизации измерения метаболизма покоя методом непрямой калориметрии: литературный обзор

А.Г. Антонов¹, В.Д. Выборнов¹, М.Ю. Баландин¹, П.Д. Рыбакова^{1,*}, В.А. Бадтиева²,
Д.Б. Никитюк³

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

² ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной
и спортивной медицины «Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия

³ ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»,
Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Точные показатели скорости метаболизма в покое необходимы для планирования диеты и контроля за составом тела не только для здоровых людей, но и для спортсменов. Ряд факторов может изменять скорость метаболизма в покое во время его измерения с помощью непрямой калориметрии. Применяемая методология может повлиять на результаты исследования. Необходима четкая стандартизация данной процедуры для получения наиболее точных результатов.

Цель: провести обзор литературы для определения оптимального состояния испытуемого и методики проведения процедуры измерения метаболизма покоя с помощью метода непрямой калориметрии.

Материалы и методы: поиск литературы проводился в базах данных «PubMed», «MEDLINE» и «Cochrane Library». Запрос включал ключевые слова и логические фразы: «calorimetry», «indirect calorimetry», «resting metabolic rate», «energy metabolism», «basal metabolism», «standards». Рассматривались только англоязычные исследования и исследования на человеке. Дополнительные сведения были определены в результате обзора и включены в обзор.

Результаты: описаны параметры стандартизации при проведении процедуры измерения метаболизма покоя: потребление пищи, этанола, кофеина, никотина; повседневная деятельность и физическая активность; положение тела в пространстве и состояние окружающей среды во время измерения; действия специалиста, проводящего процедуру, и т. д. В статье изложены эффективные методы проведения измерения метаболизма покоя для получения наиболее точных результатов как у спортсменов, так и у людей, не занимающихся спортом.

Заключение: нами была предпринята попытка сформировать точные методические правила по стандартизации и рекомендации измерения метаболизма покоя методом непрямой калориметрии.

Ключевые слова: непрямая калориметрия, метаболизм покоя, стандартизация, газоанализ, энергетические траты

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Антонов А.Г., Выборнов В.Д., Баландин М.Ю., Рыбакова П.Д., Бадтиева В.А., Никитюк Д.Б. Практические рекомендации по стандартизации измерения метаболизма покоя методом непрямой калориметрии: литературный обзор. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2022;12(4):22–28. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.7>

Поступила в редакцию: 21.04.2022

Принята к публикации: 29.09.2022

Online first: 15.12.2022

Опубликована: 01.02.2023

* Автор, ответственный за переписку

Practical guidelines for standardising the measurement of resting metabolism by indirect calorimetry: a literature review

Alexey G. Antonov¹, Vasily D. Vybornov¹, Mikhail Y. Balandin¹, Polina D. Rybakova^{1,*},
Victoria A. Badtieva², Dmitry B. Nikityuk³

¹ *Moscow Innovative Sports Technology and National Teams Training Centre, Moscow Department of Sports, Moscow, Russia*

² *Moscow Scientific and Practical Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine, Moscow Department of Health, Moscow, Russia*

³ *Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia*

ABSTRACT

Accurate resting metabolic rate readings are essential for dietary planning and body composition monitoring not only for healthy individuals but also for athletes. A number of factors can alter resting metabolic rate during its measurement by indirect calorimetry. The methodology used may affect the results of the study. A clear standardisation of this procedure is needed to obtain the most accurate results.

Purpose: To review the literature to determine the optimal subject condition and methodology for the resting metabolism measurement procedure using indirect calorimetry.

Materials and methods: A literature search was conducted in PubMed, MEDLINE and Cochrane Library databases. The query included key words and logical phrases: "calorimetry", "indirect calorimetry", "resting metabolic rate", "energy metabolism", "basal metabolism", "standards". Only English-language studies and human studies were considered. Additional information was identified because of the review and included in the review.

Results: the parameters of standardization during the resting metabolism measurement procedure are described: consumption of food, ethanol, caffeine, nicotine; daily activities and physical activity; body position in space and environmental conditions during the measurement; actions of the specialist performing the procedure, etc. The article outlines effective methods for measuring resting metabolism to obtain the most accurate results in both athletes and non-athletes.

Conclusion: an attempt has been made to formulate precise methodological rules for standardization and recommendations for measuring resting metabolism by indirect calorimetry.

Keywords: indirect calorimetry, resting metabolism, standardisation, gas analysis, energy expenditure

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

For citation: Antonov A.G., Vybornov V.D., Balandin M.Y., Rybakova P.D., Badtieva V.A., Nikityuk D.B. Practical guidelines for standardising the measurement of resting metabolism by indirect calorimetry: a literature review. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2022;12(4):22–28. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.7>

Received: 21 April 2022

Accepted: 29 September 2022

Online first: 15 December 2022

Published: 1 February 2023

*Corresponding author

1. Введение

Ожидается, что общий расход энергии у большинства спортсменов будет выше по сравнению с населением в целом из-за тренировок и изменений в метаболизме и составе тела [1]. В то же время оценка потребности в энергии имеет решающее значение при планировании диеты для улучшения спортивных результатов и управления массой тела в видах спорта с весовыми категориями [2, 3]. Кроме того, недооценка или переоценка энергетических потребностей спортсменов может привести к нежелательным изменениям безжировой массы (БЖМ) и/или жировой массы (ЖМ), ухудшению работоспособности и проблемам со здоровьем, например к повышенному риску травм или сердечно-сосудистых заболеваний [1, 2, 4]. Heydenreich и соавт. провели систематический обзор и пришли к выводу, что у спортсменов, специализирующихся в видах спорта на выносливость,

общий расход энергии испытывает высокие колебания в течение тренировочного и соревновательного сезона [5]. Чтобы этого избежать, необходимо точно понимать, какие энерготраты испытывает спортсмен в течение подготовки, независимо от ее периода.

Энергетические потребности могут быть оценены на основе расхода метаболизма покоя (МП) [6], который представляет собой количество энергии, расходуемой в состоянии покоя натощак в термонейтральной среде, что составляет 60–70% от общего расхода энергии у здоровых взрослых с нормальным весом и совсем другие проценты у спортсменов [7]. В питании человека МП обычно оценивают с помощью прогностических уравнений, основанных на легкодоступных переменных, таких как возраст, рост, масса тела и т. д. Большинство широко используемых уравнений для оценки МП в общей популяции (Harris and Benedict [8], Шофилд [9],

ВОЗ [10], Миффлин [11] и Оуэн [12]) было разработано на основе минимально активных или малоподвижных людей. Принимая во внимание различный уровень физической активности и состав тела (т.е. более высокую БЖМ и клеточную массу тела с более низкой ЖМ) по сравнению с общей популяцией [13–15], уравнения, используемые для оценки МП в общей популяции, могут не подходить для спортсменов.

В спортивных лабораториях для расчета МП используют методы непрямой калориметрии. Но специалист часто сталкивается с проблемой стандартизации данной процедуры. Для более точного измерения существуют определенные стандарты: время суток, питание, физическая активность, положение тела в пространстве, работа прибора и др. Этот обзор описывает правила, которым должен следовать специалист для получения наиболее точных результатов измерения МП.

Цель обзора: обобщить литературу и определить рекомендации по проведению измерения МП.

2. Материалы и методы

Поиск литературы проводился в базах данных «PubMed», «MEDLINE» и «Cochrane Library». Запрос включал ключевые слова и логические фразы: «calorimetry», «indirect calorimetry», «resting metabolic rate», «energy metabolism», «basal metabolism», «standards». Дополнительные сведения были определены в результате обзора и включены в обзор. Рассматривались только англоязычные исследования и исследования на человеке.

3. Результаты и обсуждение

Для того чтобы более конкретно описать стандартизацию техники измерения, необходимо ответить на следующие вопросы:

1. Какой период голодания требуется, чтобы избежать ошибки в измерении МП, связанной с термический эффект пищи (ТЭП) или алкоголем?

Сообщается, что ТЭП составляет 5–10, 0–3 и 20–30% от энергетического содержания углеводов, липидов и белков соответственно, а в случае энергетического баланса на западной диете составляет ~ 10% от общего обмена веществ [16]. Измерение МП после приема пищи даст не точные результаты.

Пик ТЭП приходится на период между 60 и 180 минутами у большинства людей, причем у людей с ожирением и пожилых людей пик наблюдается позже (60–90 минут), чем у людей без ожирения и у молодых людей. Увеличение МП на 1,1–13,6% в течение 95 минут после приема алкоголя у здоровых мужчин, а среднее увеличение МП на 9% было зарегистрировано через 90–100 минут после приема алкоголя у женщин [17].

- Минимальное голодание в течение 5 часов после еды или перекуса и 4 часа после небольших приемов пищи. Более длительное голодание клинически нецелесообразно.

- Требуется минимум 2 часа воздержания от алкоголя.

2. Приводит ли употребление никотина или кофеина к ошибке в измерении МП?

Пик кофеина и общее количество. Как правило, термическую реакцию на кофеин можно измерить через 30–150 минут после приема внутрь. У здоровых мужчин употребление кофеина в дозе от 200 до 350 мг приводило к увеличению среднего значения МП в группе на 7–11% [18].

После ночного воздержания от кофеина МП вернулся к исходному уровню. Это говорит о том, что максимум 12 часов воздержания устраняют термический эффект кофеина, но 3 часа воздержания приближаются к базовому МП [19].

Никотиновый пик. Начальный термический эффект никотина достигает максимума через 10–60 мин после воздействия [3]. Частое воздействие может привести к дополнительным пикам. Хотя повышение МП происходит в течение 10 минут при первом воздействии, оно носит кратковременный характер, и МП возвращается к исходному уровню через 2 часа [20].

- Минимальное время воздержания от никотина составляет 2 часа, а от кофеина — 4 часа.

3. Какой период отдыха необходим перед началом измерения МП?

МП может быть ошибочно увеличен из-за физической активности, предпринятой до измерения МП. Низкий уровень физической активности, связанный с повседневной деятельностью, оказывает минимальное влияние на измерение МП при условии, что за активностью следует подходящий период отдыха.

Средние групповые измерения МП, проведенные у 10 молодых (средний возраст 25 лет, без стандартного отклонения) и 30 пожилых (60 лет) взрослых после подъема с постели, одевания, поездки на автомобиле и прохождения примерно 50 метров до центра тестирования, были статистически похожи на те, когда они ночевали в центре [21, 22].

У здоровых взрослых минимальный период отдыха от 10 до 20 минут считается адекватным условием тестирования, хотя более короткое время не измерялось [23].

- Рекомендуется минимальный отдых от 10 до 20 минут.

4. Какой период ограничения физической активности необходим перед измерением МП?

После ходьбы или бега на беговой дорожке с низкой или умеренной интенсивностью в течение 20–30 минут скорость метаболизма возвращается к исходному МП через 30–90 минут [24]. Одно исследование тренированных и нетренированных людей показало, что скорость метаболизма возвращается к уровню покоя в течение 60 минут после 30 минут езды на велосипеде с более высокой интенсивностью (70% аэробной способности) [25]. Выполнение упражнений с отягощениями также повышает скорость метаболизма после прекращения

упражнений. Даже через 14,5 часа после тренировки уровень метаболизма все еще был примерно на 100 ккал выше исходного МП [26].

- Минимальное воздержание от умеренных аэробных или анаэробных упражнений в течение 2 часов перед тестом, а для интенсивных упражнений с отягощениями необходимо воздержание не менее 14 часов.

5. Связаны ли определенные положения тела с повышенным уровнем метаболизма?

Определенные позы требуют повышенного мышечного тонуса и могут влиять на измерение МП. У 24 взрослых с массой тела от 48 до 109 кг среднее значение МП в группе, измеренное в положении сидя без движения, было на 70 ккал выше, чем в положении лежа на спине [27].

- Каждый человек должен чувствовать себя комфортно физически в том положении, в котором он находится во время измерения. Повторные измерения проводятся в положении, аналогичном положению тела при первичном измерении.

6. Какие характеристики окружающей среды следует контролировать, чтобы обеспечить точное измерение МП?

Влажность, шум и окружающая среда. Ни одно первичное исследование не изучало влияние окружающего шума и освещения на МП у здоровых взрослых. Два описательных обзора предполагают, что при измерении МП у пациентов в отделениях интенсивной терапии, в комнате должны отсутствовать шумы, а освещение должно быть мягким [28].

В исследовании с участием 10 женщин и 10 мужчин (в возрасте от 19 до 36 лет и индексом массы тела от 17 до 32 кг/м²) индивидуальное изменение МП после 3 часов воздействия умеренного холода (15 °С или 59 °F) по сравнению с МП при типичной температуре окружающей среды варьировалась от снижения на 4 до повышения на 30% зимой, и от снижения на 12 до повышения на 24% летом [29].

- При проведении измерения комнатная температура должна быть в пределах от 20 до 25 °С.

7. Как разные типы газосборных устройств влияют на результаты измерения МП?

Для непрямой калориметрии доступно несколько типов устройств для сбора газа, включая жесткие навесы, лицевые маски и мундштуки с зажимами для носа. Исследования, в которых устройства сбора газа тщательно контролировались, чтобы убедиться в отсутствии утечек, демонстрируют сопоставимость показателей МП [30–32].

- Необходимо строгое соблюдение процедуры для предотвращения утечек воздуха.

8. Какое изменение потребляемого O₂ (VO₂) и выделяемого CO₂ (VCO₂) допустимо для отражения стационарных измерений и за какой временной интервал?

Чтобы получить точное измерение МП, необходимо уделить внимание обеспечению стационарных условий,

определяемых степенью изменения VO₂ и VCO₂ в течение установленного периода времени. У здоровых людей надежные измерения МП могут быть получены с использованием 10-минутного протокола, в котором первые 5 минут данных игнорируются, а оставшиеся 5 минут данных имеют коэффициент вариации не более 10% [33].

- Необходимо игнорировать первые 5 минут, затем перейти к 5-минутному периоду с 10% коэффициентом вариации для VO₂ и VCO₂.

9. Какие различия в МП видны при измерении одного и того же человека в разное время суток или в разные дни?

У здоровых взрослых натошак и у пациентов, получающих постоянную пищевую поддержку, повторные измерения МП в течение 24 часов и до 5 месяцев различаются. При повторных утренних измерениях натошак в течение 4 часов у 24 здоровых взрослых (в возрасте от 19 до 51 года) индивидуальные внутрисубъектные вариации составили от 1,8 до 17,8% [34–36].

- Повторные измерения варьируются от 3 до 5% в течение 24 часов и до 10% в течение недель или месяцев.

10. Как следует применять дыхательный коэффициент (ДК) для интерпретации измерения МП?

ДК — это отношение VCO₂ к VO₂. При типичных метаболических состояниях со стабильной функцией дыхания диапазон ДК в метаболизме человека составляет приблизительно от 0,7 до 1. При атипичных метаболических и респираторных состояниях ДК может составлять 0,7 или 1, поэтому ДК может помочь в оценке достоверности некоторых непрямых калориметрических измерений МП.

Длительное голодание, недавнее или чрезмерное потребление пищи и потребление этанола перед измерением МП могут повлиять на ДК. Индивидуальные значения ДК варьировались от 0,72 до 0,80 после 16-часового голодания, но иногда опускались ниже 0,70 при голодании продолжительностью 22 часа (от 0,65 до 0,79) [37, 38]. С другой стороны, избыточное потребление энергии чаще поднимает ДК выше 1. При измерении через 10 минут после потребления около 1200 ккал в виде пищи с высоким содержанием углеводов или жиров, среднее значение ДК у здоровых добровольцев составило 1,04 и 0,98 соответственно [39].

- Показатели ДК до 0,70 или от 1 свидетельствуют о нарушении протокола или неточном измерении концентрации газа.

Выводы. Нами была предпринята попытка сформировать более точные методические правила по стандартизации измерения МП, в отличие от общепринятых. В таблице представлены параметры стандартизации и рекомендации по проведению измерения МП.

Данные рекомендации являются полезной отправной точкой для исследователей и специалистов, стремящихся получить точное измерение МП. В данной обзорной статье изложены эффективные методы точного измерения МП у здоровых людей и у спортсменов.

Таблица

Правила стандартизации проведения измерения МП

Table

Rules for standardizing the measurement of resting metabolic rate

| Параметр стандартизации | Рекомендации |
|---|---|
| Период голодания до процедуры | Минимальное голодание в течение 5 часов после еды/перекуса и 4 часа после небольших приемов пищи |
| Воздержание от алкоголя до процедуры | Минимум 2 часа воздержания |
| Воздержание от кофеина до процедуры | Минимум 4 часа воздержания |
| Воздержание от никотина до процедуры | Минимум 2 часа воздержания |
| Период отдыха перед измерением | 10–20 минут |
| Период ограничения физической активности перед измерением | Минимальное воздержание от умеренных аэробных/анаэробных упражнений в течение 2 часов; воздержание от интенсивных упражнений с отягощениями — не менее 14 часов |
| Положение тела в пространстве при проведении измерения | Комфортное положение тела во время измерения. Повторные измерения проводятся в положении, аналогичном положению тела при первичном измерении |
| Требования к окружающей среде | Температура в помещении должна быть в пределах от 20 до 25 °С |
| Влияние разных типов газосборных устройств на результат измерения | Необходимо строгое соблюдение процедуры для предотвращения утечек воздуха |
| Допустимость изменения VO_2 и VCO_2 для отражения стационарных измерений. Временной интервал | Необходимо игнорировать первые 5 минут, затем перейти к 5-минутному периоду с 10% коэффициентом вариации для VO_2 и VCO_2 |
| Различия в МП при измерении одного и того же человека в разное время суток/в разные дни | Повторные измерения варьируются от 3 до 5% в течение 24 часов и до 10% в течение недель или месяцев |
| Применение ДК при интерпретации МП | ДК до 0,70 или от 1 свидетельствуют о нарушении протокола или неточном измерении концентрации газа |

VCO_2 — выделяемый CO_2 ; VO_2 — потребляемый O_2 ; ДК — дыхательный коэффициент; МП — метаболизм покоя.

Вклад авторов:

Антонов Алексей Геннадьевич — существенный вклад в концепцию работы, сбор, анализ содержания, написание текста.

Выборнов Василий Дмитриевич — критический пересмотр содержания, утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Баландин Михаил Юрьевич — утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Рыбакова Полина Денисовна — существенный вклад в концепцию работы, оформление рукописи.

Бадтиева Виктория Асланбековна — утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Никитюк Дмитрий Борисович — утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Authors' contribution:

Alexei G. Antonov — substantial contribution to the conception of the paper, collection, analysis of content, writing of the text.

Vasily D. Vybornov — critical revision of the content, approval of the final version of the article for publication.

Mikhail Y. Balandin — approval of the final version of the article for publication.

Polina D. Rybakova — substantial contribution to the conception of the paper, design of the manuscript.

Victoria A. Badtieva — approval of the final version of the article for publication.

Dmitriy B. Nikityuk — approval of the final version of the article for publication.

Список литературы / References

1. **Thomas D.T., Erdman K.A., Burke L.M.** American College of Sports Medicine joint position statement. Nutrition and athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2016;48(3):543–568. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000852>
2. **Rodriguez N.R., DiMarco N.M., Langley S.** American dietetic association, dietitians of Canada, American College of Sports Medicine: nutrition and athletic performance. Position of the American dietetic association, dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: nutrition and athletic performance.

- J. Am. Diet Assoc. 2009;109(3):509–527. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2009.01.005>
3. **Trexler E.T., Smith-Ryan A.E., Norton L.E.** Metabolic adaptation to weight loss: implications for the athlete. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2014;11(1):7. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-11-7>
4. **Melin A.K., Heikura I.A., Tenforde A., Mountjoy M.** Energy availability in athletics: health, performance, and physique. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2019;29(2):152–164. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0201>
5. **Heydenreich J., Kayser B., Schutz Y., Melzer K.** Total Energy Expenditure, Energy Intake, and Body Composition in Endur-

ance Athletes Across the Training Season: A Systematic Review. *Sports Med. Open.* 2017;3(1):8. <https://doi.org/10.1186/s40798-017-0076-1>

6. **Jagim A.R., Camic C.L., Kisiolek J., Luedke J., Erickson J., Jones M.T., Oliver J.M.** Accuracy of resting metabolic rate prediction equations in athletes. *J. Strength Cond. Res.* 2018;32(7):1875–1881. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002111>

7. **Marra M., Montagnese C., Sammarco R., Amato V., Della Valle E., Franzese A., et al.** Accuracy of Predictive Equations for Estimating Resting Energy Expenditure in Obese Adolescents. *J. Pediatr.* 2015;166:1390–1396.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.03.013>

8. **Harris J.A., Benedict F.G.** A biometric study of human basal metabolism. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A.* 1918;4(12):370–373. <https://doi.org/10.1073/pnas.4.12.370>

9. **Schofield W.N.** Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum. Nutr. Clin. Nutr.* 1985;39(Suppl 1):5–41.

10. World Health Organization. Energy and protein requirements. Technical Report Series 724. Geneva: World Health Organization: 1985.

11. **Mifflin M.D., St Jeor S.T., Hill L.A., Scott B.J., Daugherty S.A., Koh Y.O.** A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990;51(2):241–247. <https://doi.org/10.1093/ajcn/51.2.241>

12. **Owen O.E., Holup J.L., D'Alessio D.A., Craig E.S., Polansky M., Smalley K.J., et al.** A reappraisal of the caloric requirements of men. *Am. J. Clin. Nutr.* 1987;46(6):875–885. <https://doi.org/10.1093/ajcn/46.6.875>

13. **Ribeyre J., Fellmann N., Montaurier C., Delaitre M., Vernet J., Coudert J., Vermorel M.** Daily energy expenditure and its main components as measured by whole-body indirect calorimetry in athletic and non-athletic adolescents. *Br. J. Nutr.* 2000;83(4):355–362.

14. **Poehlman E.T., Melby C.L., Badyak S.F.** Resting metabolic rate and postprandial thermogenesis in highly trained and untrained males. *Am. J. Clin. Nutr.* 1988;47(5):793–798. <https://doi.org/10.1093/ajcn/47.5.793>

15. **Melby C.L., Schmidt W.D., Corrigan D.** Resting metabolic rate in weight-cycling collegiate wrestlers compared with physically active, noncycling control subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990;52(3):409–414. <https://doi.org/10.1093/ajcn/52.3.409>

16. **Lam Y.Y., Ravussin E.** Analysis of energy metabolism in humans: A review of methodologies. *Mol. Metab.* 2016;5(11):1057–1071. <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2016.09.005>

17. **Segal K.R., Edano A., Blando L., Pi-Sunyer F.X.** Comparison of thermal effects of constant and relative caloric loads in lean and obese men. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990;51(1):14–21. <https://doi.org/10.1093/ajcn/51.1.14>

18. **Vander Weg M.W., Klesges R.C., Ward K.D.** Differences in resting energy expenditure between black and white smokers: Implications for postcessation weight gain. *Eur. J. Clin. Nutr.* 2000;54(12):895–899. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601110>

19. **Bracco D., Ferrarra J.M., Arnaud M.J., Jequier E., Schutz Y.** Effects of caffeine on energy metabolism, heart rate, and methylxanthine metabolism in lean and obese women. *Am. J. Physiol.* 1995;269(4 Pt 1):E671–E678. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1995.269.4.E671>

20. **Perkins K.A., Epstein L.H., Stiller R.L., Sexton J.E., Fernstrom M.H., Jacob R.G., Solberg R.** Metabolic effects of nicotine after consumption of a meal in smokers and nonsmokers. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990;52(2):228–233. <https://doi.org/10.1093/ajcn/52.2.228>

21. **Fredrix E.W.H.M., Soeters P.B., von Meyenfeldt M.F., Saris W.H.M.** Measurement of resting energy expenditure in a clinical setting. *Clin. Nutr.* 1990;9(6):299–304. [https://doi.org/10.1016/0261-5614\(90\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0261-5614(90)90001-9)

22. **Turley K.R., McBride P.J., Wilmore J.H.** Resting metabolic rate measured after subjects spent the night at home vs at a clinic. *Am. J. Clin. Nutr.* 1993;58(2):141–144. <https://doi.org/10.1093/ajcn/58.2.141>

23. **Schols A.M.W.J., Schoffelen P.F.M., Ceulemans H., Wouters E.F.M., Saris W.H.M.** Measurement of resting energy expenditure in patients with chronic obstructive pulmonary disease in a clinical setting. *JPEN J. Parenter. Enteral Nutr.* 1992;16(4):364–368. <https://doi.org/10.1177/0148607192016004364>

24. **Burleson M.A. Jr., O'Bryant H.S., Stone M.H., Collins M.A., Triplett-McBride T.** Effects of weight training exercise and treadmill exercise on post-exercise oxygen consumption. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1998;30(4):518–522. <https://doi.org/10.1097/00005768-199804000-00008>

25. **Short K.R., Sedlock D.A.** Excess postexercise oxygen consumption and recovery rate in trained and untrained subjects. *J. Appl. Physiol.* 1997;83(1):153–159. <https://doi.org/10.1152/jap-1997.83.1.153>

26. **Gillette C.A., Bullough R.C., Melby C.L.** Postexercise energy expenditure in response to acute aerobic or resistance exercise. *Int. J. Sport Nutr.* 1994;4(4):347–360. <https://doi.org/10.1123/ijns.4.4.347>

27. **Levine J.A., Schleusner S.J., Jensen M.D.** Energy expenditure of nonexercise activity. *Am. J. Clin. Nutr.* 2000;72(6):1451–1454. <https://doi.org/10.1093/ajcn/72.6.1451>

28. **McClave S.A., Snider H.L.** Use of indirect calorimetry in clinical nutrition. *Nutr. Clin. Pract.* 1992;7(5):207–221. <https://doi.org/10.1177/0115426592007005207>

29. **van Ooijen A.M.J., van Marken Lichtenbelt W.D., van Steenhoven A.A., Westerterp K.R.** Seasonal changes in metabolic and temperature responses to cold air in humans. *Physiol. Behav.* 2004;82(2-3):545–553. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2004.05.001>

30. **Isbell T.R., Klesges R.C., Meyers A.W., Klesges L.M.** Measure reliability using repeated measurements of resting energy expenditure with a face mask, mouth piece, and ventilated canopy. *JPEN J. Parenter. Enteral Nutr.* 1991;15(2):165–168. <https://doi.org/10.1177/0148607191015002165>

31. **Askanazi J., Silverberg P.A., Foster R.J., Hyman A.I., Milic-Emili J., Kinna J.M.** Effects of respiratory apparatus on breathing pattern. *J. Appl. Physiol.* 1980;48(4): 577–580. <https://doi.org/10.1152/jappl.1980.48.4.577>

32. **McAnena O.J., Harvey L.P., Katzeff H.L., Daly J.M.** In direct calorimetry: Comparison of hood and mask systems for measuring resting energy expenditure in healthy volunteers. *JPEN J. Parenter. Enteral Nutr.* 1986;10(6):555–567. <https://doi.org/10.1177/0148607186010006555>

33. **Horner N.K., Lampe J.W., Patterson R.E., Newuhouser M.L., Beresford S.A., Prentice R.L.** Indirect calorimetry protocol development for measuring resting metabolic rate as a component of total energy expenditure in free-living postmenopausal women. *J. Nutr.* 2001;131(8):2215–2218. <https://doi.org/10.1093/jn/131.8.2215>

34. **Frankenfield D.C., Wiles C.E. 3rd, Bagley S., Siegel J.H.** Relationships between resting and total energy expenditure in injured and septic patients. *Crit. Care Med.* 1994;22(11):1796–1804.

35. **Hejmsfield S.B., Hill J.O., Evert M., Casper K., DiGirolamo M.** Energy expenditure during continuous intragastric infusion of fuel. *Am. J. Clin. Nutr.* 1987;45(3): 526–533. <https://doi.org/10.1093/ajcn/45.3.526>

36. Weststrate J.A., Weys P.J.M., Poortvliet E.J., Deurenberg P., Hautvast J.G.A.J. Diurnal variation in postabsorptive resting metabolic rate and diet-induced thermogenesis. *Am. J. Clin. Nutr.* 1989;50(5):908–914. <https://doi.org/10.1093/ajcn/50.5.908>

37. Johnstone A.M., Faber P., Gibney E.R., Elia M., Horgan G., Golden B.E., Stubbs R.J. Effect of an acute fat on energy compensation and feeding behavior in lean men and women. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 2002;26(12):1623–1628. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802151>

Информация об авторах:

Антонов Алексей Геннадьевич, специалист по комплексному научно-методическому сопровождению спортсменов ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта города Москвы, Россия, 129272, Москва, Советской армии ул., 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3409-4485> (alexantonovk@gmail.com)

Выборнов Василий Дмитриевич, к.б.н., заместитель директора по медико-биологическому и научно-методическому сопровождению ГКУ города Москвы «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта города Москвы (ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта), Россия, 129272, Москва, Советской армии ул., 6 (v.vybornov84@gmail.com)

Баландин Михаил Юрьевич, специалист по комплексному научно-методическому сопровождению спортсменов ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта города Москвы, Россия, 129272, Москва, Советской армии ул., 6 (balandinm87@gmail.com)

Рыбакова Полина Денисовна*, специалист по комплексному научно-методическому сопровождению спортсменов ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта города Москвы, Россия, 129272, Москва, Советской армии ул., 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1165-6518> (+7 (977) 793-81-31; rybakova.poly@yandex.ru)

Бадтиева Виктория Асланбековна, член-корр. РАН, проф., д.м.н., заведующий филиалом № 1, «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины Департамента здравоохранения города Москвы», Россия, 105120, Москва, ул. Земляной вал, 53; профессор кафедры восстановительной медицины, реабилитации и курортологии, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет), Россия, 119048, Москва, ул. Трубецкая, 8. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4291-679X> (maratik2@yandex.ru)

Никитюк Дмитрий Борисович, член-корр. РАН, проф., д.м.н., директор ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Россия, 109240, Москва, Устьинский проезд, 2/14. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2259-1222> (nikitjuk@ion.ru)

Information about the authors:

Alexey G. Antonov, Specialist of Integrated Scientific and Methodical Support to Athletes of the Centre for Sports Innovative Technologies and National Teams Training of the Moscow City Sports Department, 6, Sovetskaya Army St., Moscow, 129272, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3409-4485> (alexantonovk@gmail.com)

Vasily D. Vybornov, Ph.D., Deputy Director for medical-biological and scientific-methodological support of the Centre for Sports Innovative Technologies and National Teams Training of the Moscow City Sports Department, 6, Sovetskaya Army St., Moscow, 129272, Russia (v.vybornov84@gmail.com.)

Mikhail Y. Balandin, Specialist of Integrated Scientific and Methodical Support to Athletes of the Centre for Sports Innovative Technologies and National Teams Training of the Moscow City Sports Department, 6, Sovetskaya Army St., Moscow, 129272, Russia. (balandinm87@gmail.com)

Polina D. Rybakova*, Specialist for Integrated Scientific and Methodical Support to Athletes of the Centre for Sports Innovative Technologies and National Teams Training of the Moscow City Sports Department, 6, Sovetskaya Army St., Moscow, 129272, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1165-6518> (rybakova.poly@yandex.ru; +7 (977) 793-81-31)

Victoria A. Badtieva, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, M.D., D.Sc. (Medicine), Head of Branch No. 1, Moscow Scientific and Practical Centre for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine, Moscow Health Care Department, 53 Zemlyanoy Val St., Moscow, 105120, Russia; Professor, Department of Restorative Medicine, Rehabilitation and Balneology, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Ministry of Health Care of Russia. 8, Trubetskaya St., Moscow, 119048, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4291-679X> (maratik2@yandex.ru)

Dmitry B. Nikitjuk, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, M.D., D.Sc. (Medicine), Director of Federal Research Centre for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 2/14, Ustyinsky proezd, Moscow, 109240, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2259-1222> (nikitjuk@ion.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Улучшение показателей адаптации школьников к физическим нагрузкам при использовании индивидуального подхода с учетом типов вегетативной регуляции

В.В. Горелик^{1,*}, С.Н. Филиппова², Н.Н. Назаренко¹

¹ ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», Тольятти, Россия

² ГАОУ ВО «Московский государственный университет спорта и туризма», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель: физиологическое обоснование индивидуализации подбора физических нагрузок на основе учета различий функционального состояния школьников, имеющих различные типы вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы.

Методы: обследовали 60 школьников в возрасте 12 лет. Экспериментальную группу составили школьники, которые занимались физическими упражнениями в течение 6 месяцев по разработанной индивидуально-типологической программе. Учащиеся контрольной группы занимались по школьной программе. Оценку функционального состояния проводили методом «Экспресс-оценка физического здоровья школьников» и методом диагностики показателей вариабельности сердечного ритма.

Результаты: В начале обследования показатели в экспериментальной и контрольной группах определялись особенностями 4 типов вегетативной регуляции: I, II, III, IV. Из них I и II соответствовали преобладанию симпатико-тонических дестабилизирующих влияний на сердечно-сосудистую систему, у IV преобладали парасимпатические влияния, проявляющиеся в астенизации функционального состояния учащихся. Тогда как III тип относится к физиологической норме и проявлялся в форме баланса регуляторных влияний отделов вегетативной нервной системы.

Выводы: на контрольном обследовании показатели адаптации и здоровья у всех типов школьников улучшились, тогда как в контрольной группе не выявлена положительная динамика показателей адаптации и здоровья. Это свидетельствует об эффективности индивидуально-типологически ориентированных занятий на уроке физического воспитания как имеющих оздоровительное воздействие на школьников.

Ключевые слова: физическое воспитание, индивидуальный подход, физические нагрузки, типы вегетативной регуляции, вариабельность сердечного ритма, функциональные системы организма

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Горелик В.В., Филиппова С.Н., Назаренко Н.Н. Улучшение показателей адаптации школьников к физическим нагрузкам при использовании индивидуального подхода с учетом типов вегетативной регуляции. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2022;12(4):29–39. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.9>

Поступила в редакцию: 11.07.2022

Принята к публикации: 10.12.2022

Online first: 12.01.2023

Опубликована: 01.02.2023

* Автор, ответственный за переписку

Improving the indicators of schoolchildren's adaptation to physical activity using an individual approach, taking into account the types of vegetative regulation

Victor V. Gorelik^{1*}, Svetlana N. Filippova², Natalya N. Nazarenko¹

¹Tolyatti State University, Tolyatti, Russia

²Moscow State University of Sports and Tourism, Moscow, Russia

ABSTRACT

Purpose: physiological substantiation of the physical activity selection based on the differences in the functional state of schoolchildren with different types of cardiovascular system autonomic regulation.

Methods: 60 schoolchildren, 12 years old, were examined. The experimental group consisted of schoolchildren who were engaged in physical exercises for 6 months according to the developed individual typological program. Students in the control group followed the school program. The assessment of the functional state was carried out by the method of "Express assessment of the physical health of schoolchildren" and the method of diagnosing indicators of heart rate variability.

Results: at the beginning of the survey, the indicators in the experimental group and the control group were determined by the characteristics of 4 types of autonomic regulation: I, II, III, IV. Of these, I, II corresponded to the predominance of sympathetic-tonic destabilizing influences on the cardiovascular system, in IV parasympathetic influences prevailed, manifested in the asthenia of the functional state of students. Whereas type III refers to the physiological norm and manifested itself in the form of a balance of regulatory influences of the parts of the autonomic nervous system.

Conclusions: at the control examination, the indicators of adaptation and health improved in all types of schoolchildren, while in the control group there was no positive dynamics of indicators of adaptation and health. This testifies to the effectiveness of individually typologically oriented classes at a physical education lesson as having a health-improving effect on schoolchildren.

Keywords: physical education, individual approach, physical activity, types of autonomic regulation, heart rate variability, functional systems of the body

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

For citation: Gorelik V.V., Filippova S.N., Nazarenko N.N. Improving the indicators of schoolchildren's adaptation to physical activity using an individual approach, taking into account the types of vegetative regulation. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2022;12(4):29–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.9>

Received: 11 July 2022

Accepted: 10 December 2022

Onlinefirst: 12 January 2023

Published: 1 February 2023

*Corresponding author

1. Введение

Здоровье подрастающего поколения является одной из важнейших проблем XXI века. Повышенное внимание ученых и педагогов к здоровью детей объясняется ухудшением демографической ситуации в РФ [1, 2].

В процессе онтогенеза в системе регуляции сердечного ритма наблюдаются индивидуальные особенности формирования тонуса ВНС, его неустойчивость на фоне возрастных особенностей растущего организма и адаптации к различным внешним воздействиям. При установлении причин неоднородности и неустойчивости нейрогуморальной регуляции сердечного ритма у детей и подростков исследователи указывают на многофакторность этого явления: конституционно-генетический дисбаланс механизмов регуляции физиологических функций; критические периоды функционального созревания ВНС в онтогенезе, вызывающие напряжение приспособительных механизмов [3, 4, 5, 19, 20]. В работах [19] определены 4 типа регуляции, отличающиеся различными соотношениями взаимодействий между

симпатическими и парасимпатическими отделами ВНС структурами коры головного мозга и подкорковых областей. По мнению Н.И. Шлык, тип вегетативной регуляции является генетически детерминированным и сохраняется у 82 % детей, а преобладание симпатической регуляции сердечного ритма в детском возрасте не должно считаться физиологической нормой [6, 7].

По данным [8, 9], индивидуально-типологическая вегетативная регуляция у детей 10–15 лет сопряжена со специфической конфигурацией гипоталамо-гипофизарных регуляторных гормонов и гормонов эндокринной системы организма, которые отражают уровень адаптационно-компенсаторных ресурсов детского организма [10, 11, 17, 18, 22, 23].

В процессе учебной деятельности, включающей умственную нагрузку на занятиях учебными предметами и физическую нагрузку на уроках физической культуры (ФК) различного характера, происходит комплексное влияние средовых факторов на нервные и эндокринные механизмы регуляции физиологических функций.

Нейрогуморальные сдвиги, возникающие у детей в процессе адаптации к физическим нагрузкам, во многом отличаются от таковых у взрослых, поскольку они обеспечивают сложные процессы роста и развития детского организма [12, 14, 21].

2. Методы исследования

Автоматизированная компьютерная программа (АКП) «Экспресс-оценка физического здоровья (ФЗ) школьников»

Для экспресс-оценки физического развития (ФР), здоровья, состояния функциональных систем организма и их отклонений от нормы в программе используются известные двигательные индексы: Кетле (ИК), Робинсона (ИР), Скибинского (ИС), Шаповаловой (ИШ), Руфье (ИРуф). Для получения результатов вычисления АКП индексов физического развития (ФР) и здоровья у школьников измерялись функциональные показатели, проводились двигательные тесты [13].

Программно-аппаратный комплекс «Варикард 2.51»

Анализ показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР) проводили на основе регистрации ЭКГ аппаратно-программным комплексом «Варикард 2.51», позволяющим вычислять до 40 различных параметров функционального состояния организма, рекомендуемых как российскими, так и европейско-американскими стандартами в области кардиологических исследований [15].

Организация исследований

Распределение в группах

В начале исследования были определены двигательные способности учащихся, при сборе общего анамнеза учитывались социальное положение, образ жизни, занятия физической культурой, спортом, режим труда, отдыха, сведения о состоянии здоровья, показатели функционального состояния, ВНС, ЦНС, пространственно-временные свойства. Кроме того, получение травм вследствие занятий физической культурой, спортом и возможность возобновления занятий.

Обследовали 60 школьников 6-х классов возраста 12 лет, из которых сформировали две группы по 30 учащихся в каждой, которых включили в экспериментальную (ЭГ) и контрольную группу (КГ), близкие по показателям функционального состояния и уровню физического развития. Измерения проводили в утренние часы, выделяя контрольный этап начального обследования, формирующий этап, в течение которого школьники ЭГ занимались в течение 6 месяцев (октябрь 2019 г. — апрель 2020 г., продолжительность занятий 45 мин) по разработанной индивидуально-типологической программе. Учащиеся КГ занимались по школьной программе. Обследование проводилось как в начале исследования для ЭГ и КГ, так и в конце исследования, при получении финальных результатов исследования.

После завершения периода занятий проводилось итоговое (контрольное) обследование в условиях и с использованием методов, аналогичных начальному обследованию.

Математико-статистический анализ

Обработку результатов проводили с помощью статистической программы SPSS версии 17.0. для Windows. Использовали методы сравнения средних по t -критерию Стьюдента для парных выборок.

3. Результаты

Формирующие индивидуально-типологические программы физических нагрузок на уроках ФК

На основе физиологических исследований типов ВСР и определения двигательных индексов были разработаны для ЭГ формирующие индивидуально-типологические программы занятий на уроках ФК, в которых физические нагрузки и виды упражнений подбирались с учетом типа вегетативной регуляции (ТВР) функциями сердечно-сосудистой системы. Программы имели развивающую и оздоровительную направленность. Содержание программ представлено в таблице 1.

Физиологическое обоснование выбора типологически ориентированных упражнений на уроках физического воспитания для учащихся с I, II и IV типами вегетативной регуляции.

Обучающимся в ЭГ с I, II и IV типами вегетативной регуляции были предложены типологически ориентированные корректирующие физические упражнения в отличие от школьников ГС, которые занимались по школьной учебной программе на основе используемых в РФ Федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) физического воспитания.

I тип вегетативной регуляции функций сердечно-сосудистой системы (ССС). Для обучающихся с I типом вегетативной регуляции, у которых умеренно повышен уровень активности симпатического отдела ВНС, были подобраны упражнения, направленные на повышение физической подготовленности и тренированности с дозированной физической нагрузкой. При этом наблюдалось снижение симпатической активности, возрастала сбалансированность ЦНС, оптимизировалось влияние на функциональные системы организма при систематически тренирующих физических воздействиях.

II тип вегетативной регуляции функций ССС. Для детей периода второго детства и подростков, имеющих II тип вегетативной регуляции, у которых значительно выражена симпатикотония, предлагались упражнения с использованием метода стретчинга для растяжения связок и мышц, повышения гибкости тела. Этот метод способствует снижению мышечного тонуса, расслаблению, улучшению трофики за счет усиления кровообращения в мышцах. Влияние стретчинга

на ЦНС проявляется в снижении симпатической активности и регуляции процессов возбуждения и торможения в коре головного мозга для достижения сбалансированности состояния ЦНС.

III тип вегетативной регуляции функций ССС. Дети периода второго детства и подростки, имеющие умеренное преобладание автономной регуляции с III типом вегетативной регуляции, адаптируются к физическим нагрузкам за счет напряжения центральных структур регуляции, при этом значительно и достоверно возрастают значения АМо50 — условного показателя активности симпатического звена регуляции, SI — индекса напряжения, соответственно, уменьшаются показатели суммарной мощности спектра ВСР (TP — суммарная мощность спектра ВСР, HF — значение суммарной мощности спектра высокочастотного компонента ВСР, LF — значение суммарной мощности спектра низкочастотного компонента ВСР и VLF — Значение суммарной мощности спектра очень низкочастотного компонента ВСР волн). Эти данные свидетельствуют о наиболее оптимальном взаимодействии между симпатическим и парасимпатическим отделами ВНС и центральными структурами в процессе регуляции сердечного ритма. Это состояние организма можно принять за *физиологическую норму* функционального состояния регуляторных систем, отражающих высокие адаптационные возможности организма. Они занимались по учебной школьной программе.

IV тип вегетативной регуляции функций ССС. Для обучающихся с IV типом вегетативной регуляции, у которых значительно преобладают парасимпатические влияния на ССС, были предложены подвижные игры, эстафеты, упражнения аэробного характера с умеренной интенсивностью, влияющие на нормализацию кровотока, развитие адаптационных реакций организма детей, снижение преобладания активности парасимпатического отдела ВНС

При выборе объема и интенсивности физической нагрузки на уроках физической культуры, используемой как формирующее воздействие на физическое развитие школьников, существенное значение имеет продолжительность интервала двигательной активности и отдыха между повторными нагрузками. Учет типа энергообеспечения позволил *управлять* выполнением двигательных заданий обучающимися с разным типом вегетативной регуляции с необходимой продолжительностью, интервалом отдыха и количеством повторений на занятии.

Изменение индекса здоровья обучающихся при физической адаптации в зависимости от индивидуально-типологического статуса

На рисунках 1, 2 представлена круговая диаграмма с показателей ВСР у школьников с разными типами вегетативной регуляции (ТВР) в ЭГ на начальном и конечном этапах исследования. Школьники ЭГ занимались

на формирующем этапе исследования по индивидуально-групповым программам, составленным с учетом типа ВР, которые определяли по функциональному состоянию сердечно-сосудистой системы. Разделение учащихся на группы по типам ВР полностью соответствует классификации Н.И. Шлык и включает 4 типа регуляции, имеющих отличительные признаки управления функциями кардиосистемы школьников. На рисунках 1, 2 представлена круговая диаграмма измеренных показателей ВСР у школьников с I–IV типами ВР кардиосистемы в ЭГ на начальном (рис. 1) и конечном (рис. 2) этапах обследования детей.

Использование физиологически обоснованной нагрузки на уроках физической культуры с учетом типов вегетативной регуляции обеспечивает улучшение регуляции физиологических показателей и приближение к оптимальным значениям *физиологической нормы* у школьников ЭГ показателей ВСР (рис. 2).

На рисунках 3, 4 представлена круговая диаграмма показателей ВСР по типам вегетативной регуляции в КГ на начальном и конечном этапах исследования.

В КГ на конечном этапе исследования (рис. 4) в сравнении с началом эксперимента (рис. 3) не наблюдается стабилизация показателей ВСР. Это свидетельствует о необходимости применения специально подобранных физкультурно-оздоровительных программ и коррекционных физических упражнений, какие использовались в ЭГ, на уроках физической культуры, проводимых с учащимися КГ в соответствии с действующими в РФ учебными стандартами. В таблицах 1, 2 представлено распределение показателей индексов здоровья у обучающихся с I, II, III, IV типами ВСР на начальном и конечном этапах исследования в ЭГ.

У обучающихся с III типом вегетативной регуляции показатели интегральных индексов физического развития и здоровья имеют оптимальные значения (находятся в оптимальной сфере) статокинезиограммы в отличие от обучающихся с I, II, IV типами вегетативной регуляции. Индексы здоровья Робинсона, Скибинского, Шаповаловой, Руфье и Кетле имеют значения, соответствующие оптимальным. Результаты можно считать оптимальными, поскольку у обучающихся с III типом вегетативной регуляции наблюдаются значения интегральных индексов, относящиеся к норме (табл. 1, 2, 3, 4).

У обучающихся с III типом вегетативной регуляции наблюдается наименьший разброс показателей ВСР. Минимизация ВСР может свидетельствовать о функциональной стабильности и достаточных адаптационных резервах, устойчивости интегративных механизмов кардиореспираторной системы к внешним воздействиям в виде двигательных нагрузок на уроках физической культуры. Показатели ИЗ в ЭГ на начальном этапе исследования имели значительные отклонения от значений нормы и наибольший разброс значений в рассматриваемых типах вегетативной регуляции I, II,

Модель евклидова расстояния кардиореспираторных показателей ЭГ в начале исследования

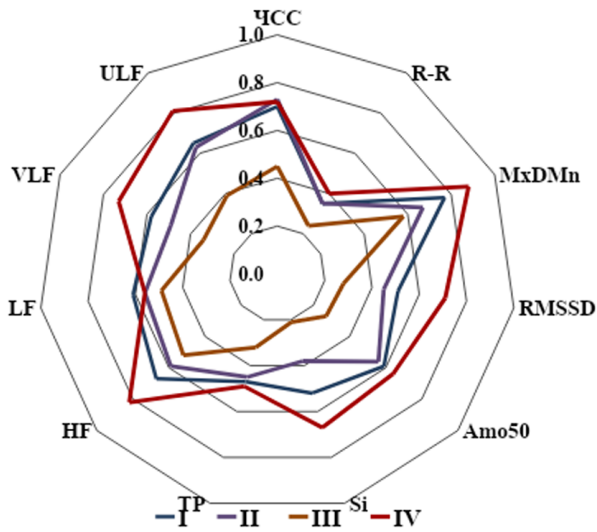


Рис. 1. Распределение показателей ВСП по типам вегетативной регуляции в ЭГ на начальном этапе исследования
Fig. 1. Distribution of heart rate variability indicators by types of autonomic regulation in the experimental group at the initial stage of the study

Модель евклидова расстояния кардиореспираторных показателей ЭГ в конце исследования

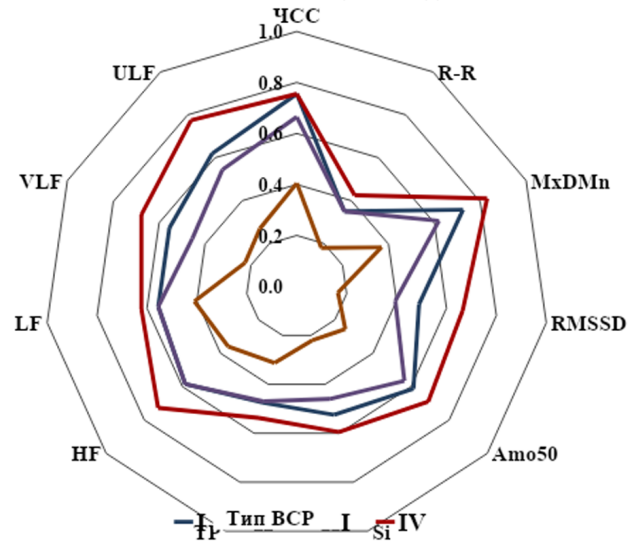


Рис. 2. Распределение показателей ВСП по типам вегетативной регуляции в ЭГ на конечном этапе исследования
Fig. 2. Distribution of heart rate variability indicators by types of autonomic regulation in the experimental group at the final stage of the study

Модель евклидова расстояния кардиореспираторных показателей КГ в начале исследования

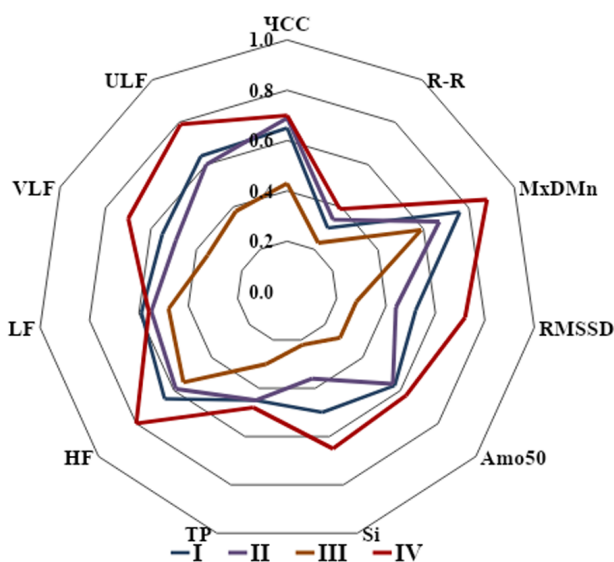


Рис. 3. Распределение показателей ВСП по типам вегетативной регуляции в КГ на начальном этапе исследования
Fig. 3. Distribution of heart rate variability indicators by types of autonomic regulation in the control group at the initial stage of the study

Модель евклидова расстояния кардиореспираторных показателей КГ в конце исследования

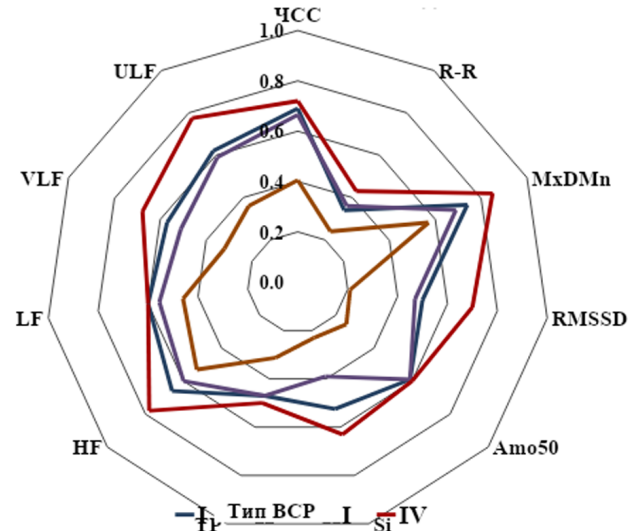


Рис. 4. Распределение показателей ВСП по типам вегетативной регуляции в КГ на конечном этапе исследования
Fig. 4. Distribution of heart rate variability indicators by types of autonomic regulation in the control group at the final stage of the study

Таблица 1

Расчет показателей конфигурации производного стимула по типам вегетативной регуляции и индексам здоровья в начале исследования в ЭГ

Table 1

Calculation of the derivative stimulus configuration indicators of by types of autonomic regulation and health indices at the beginning of the study in the experimental group

| В начале исследования | I | II | III | IV |
|-----------------------|------|------|------|------|
| Индекс Руфье | 0,65 | 0,72 | 0,60 | 0,73 |
| Индекс Робинсона | 0,69 | 0,68 | 0,44 | 0,61 |
| Индекс Кетле | 0,65 | 0,39 | 0,42 | 0,64 |
| Индекс Скибинского | 0,71 | 0,71 | 0,53 | 0,70 |
| Индекс Шаповаловой | 0,71 | 0,62 | 0,57 | 0,62 |

Таблица 3

Расчет показателей конфигурации производного стимула по типам вегетативной регуляции и индексам здоровья в начале исследования в КГ

Table 3

Calculation of the derivative stimulus configuration indicators of by types of autonomic regulation and health indices at the beginning of the study in the control group

| В начале исследования | I | II | III | IV |
|-----------------------|------|------|------|------|
| Индекс Руфье | 0,63 | 0,71 | 0,59 | 0,71 |
| Индекс Робинсона | 0,71 | 0,72 | 0,44 | 0,62 |
| Индекс Кетле | 0,64 | 0,38 | 0,43 | 0,64 |
| Индекс Скибинского | 0,69 | 0,73 | 0,52 | 0,71 |
| Ин Шаповаловой | 0,71 | 0,62 | 0,60 | 0,65 |

IV. На конечном этапе исследования уменьшился разброс показателей индексов здоровья (ИЗ) в ЭГ, что свидетельствует о сбалансированности систем адаптации и их устойчивости вследствие применения типологически ориентированной нагрузки.

В таблицах 3, 4 представлено распределение показателей индексов здоровья у школьников КГ с I, II, III, IV типами ВСР на начальном и конечном этапах исследования.

Важно отметить, что на конечном этапе исследования в КГ индексы здоровья Робинсона, Скибинского, Шаповаловой, Руфье и Кетле имеют отклонения от значений *физиологической нормы* и наибольший разброс показателей в рассматриваемых типах вегетативной регуляции I, II, IV, что свидетельствует о несбалансированности систем адаптации и их неустойчивости в регуляции ЦНС в сравнении с ЭГ.

Рассмотрение изменений индексов здоровья обучающихся в зависимости от индивидуально-типологического статуса показывает, что вариабельность

Таблица 2

Расчет показателей конфигурации производного стимула по типам вегетативной регуляции и индексам здоровья в конце исследования в ЭГ

Table 2

Calculation of the derivative stimulus configuration indicators of by types of autonomic regulation and health indices at the final stage of the study in the experimental group

| В конце исследования | I | II | III | IV |
|----------------------|------|------|------|------|
| Индекс Руфье | 0,59 | 0,62 | 0,56 | 0,65 |
| Индекс Робинсона | 0,64 | 0,62 | 0,44 | 0,66 |
| Индекс Кетле | 0,63 | 0,45 | 0,43 | 0,60 |
| Индекс Скибинского | 0,57 | 0,60 | 0,57 | 0,62 |
| Индекс Шаповаловой | 0,67 | 0,63 | 0,51 | 0,67 |

Таблица 4

Расчет показателей конфигурации производного стимула по типам вегетативной регуляции и индексам здоровья в конце исследования в КГ

Table 4

Calculation of the derivative stimulus configuration indicators of by types of autonomic regulation and health indices at the final stage of the study in the control group

| В конце исследования | I | II | III | IV |
|----------------------|------|------|------|------|
| Индекс Руфье | 0,65 | 0,70 | 0,60 | 0,72 |
| Индекс Робинсона | 0,70 | 0,69 | 0,45 | 0,63 |
| Индекс Кетле | 0,68 | 0,38 | 0,43 | 0,66 |
| Индекс Скибинского | 0,70 | 0,70 | 0,50 | 0,70 |
| Индекс Шаповаловой | 0,72 | 0,64 | 0,61 | 0,68 |

и значения индексов здоровья в группе детей с III типом ВСР под действием физиологически обоснованной двигательной нагрузки стабилизировались, их разброс уменьшился. Выраженную положительную динамику показали индексы Шаповаловой (скоростно-силовая выносливость мышц спины и живота) и Руфье (реакция сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку). Разброс индексов от значений нормы в группах I, II, IV типов умеренно уменьшился в ЭГ. Эти данные свидетельствуют о снижении толерантности к двигательной нагрузке, особенно выраженной у обучающихся с IV типом регуляции кардиосистемы.

Следовательно, тип вегетативной регуляции является важнейшим физиологическим показателем, определяющим функционирование организма человека. Формирование **типа регуляции** как фенотипического признака осуществляется под влиянием средовых факторов, в том числе двигательной активности. Индивидуально-типологические характеристики зависят также от состояния нервной, сердечно-сосудистой,

Таблица 5

Показатели ВСР у мальчиков периода второго детства (12 лет) в конце исследования в ЭГ и КГ ($M \pm m$)

Table 5

Indicators of heart rate variability in boys of the period of the second childhood (12 years old) at the end of the study ($M \pm m$)

| | | ЧСС, уд/мин | R-R, мс | MxDMn, мс | RMSSD, мс | Амо 50 %/50, мс | SI, усл. ед. |
|---------|----|-------------|-------------|-------------|------------|-----------------|--------------|
| I тип | ЭГ | 90,4* | 664,8* | 249,9* | 37,1 | 47,2* | 139,3* |
| | | $\pm 1,2$ | $\pm 21,6$ | $\pm 12,4$ | $\pm 1,8$ | $\pm 1,2$ | $\pm 12,4$ |
| | КГ | 92,1 | 642,35 | 221,1 | 34,8 | 52,8 | 153,5 |
| | | 0,9 | 23,2 | 11,4 | 0,9 | 1,8 | 10,8 |
| II тип | ЭГ | 91,8* | 629,4* | 225,6 | 32,8* | 63,1** | 160,2* |
| | | 1,04 | 11,5 | 7,9 | 1,1 | 1,2 | 11,3 |
| | КГ | 93,42 | 611,1 | 212,5 | 27 | 67,3 | 233 |
| | | $\pm 0,75$ | $\pm 22,1$ | $\pm 9,1$ | $\pm 1,3$ | $\pm 0,7$ | $\pm 53,4$ |
| III тип | ЭГ | 83,4* | 803,9* | 338,9* | 64,3* | 30,9** | 64,6* |
| | | $\pm 1,4$ | $\pm 24,2$ | $\pm 13,3$ | $\pm 1,9$ | $\pm 0,9$ | $\pm 2,2$ |
| | КГ | 86,9 | 766,6 | 313,8 | 61,9 | 33,4 | 69,3 |
| | | $\pm 0,6$ | $\pm 6,8$ | $\pm 14,1$ | $\pm 1,3$ | $\pm 0,75$ | $\pm 2,5$ |
| IV тип | ЭГ | 68,1* | 868,2* | 527,2* | 120,4* | 22,4 | 14,9 |
| | | $\pm 1,5$ | $\pm 9,5$ | $\pm 14,04$ | $\pm 6,9$ | $\pm 0,7$ | $\pm 1,9$ |
| | КГ | 75,4 | 838,6 | 481,9 | 123,7 | 18,2 | 13,1 |
| | | $\pm 1,5$ | $\pm 11,08$ | $\pm 9,8$ | $\pm 8,66$ | $\pm 0,8$ | $\pm 1,16$ |

Примечание: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$.

Note: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$.

дыхательной и других функциональных систем организма детей, которые изменяются в онтогенезе под влиянием физической деятельности.

В таблице 6 приведены показатели ВСР у школьников возраста второго детства в конце исследования в ЭГ и КГ ($M \pm m$).

Оптимальное состояние регуляторных систем отмечается в ЭГ (табл. 6), после проведенных дополнительных занятий функции ЦНС сбалансированы. Можно заключить, что долговременная адаптация, выражающаяся в вегетативной сбалансированности и вестибулярной устойчивости при занятиях, обусловлена применением упражнений с учетом типов вегетативной регуляции, оптимизирующих функциональное состояние ССС, которое выступает индикатором уровня адаптационных возможностей организма школьников.

В КГ (табл. 7) наблюдаются дисбаланс вегетативной регуляции, выраженное усиление активности вазомоторного центра, регулирующего сосудистый тонус, и ослабление активности симпатического сердечно-сосудистого центра, что и проявляется в пониженных, по сравнению с ЭГ, функциональных показателях обучающихся.

В дальнейшем полученные результаты позволяют рекомендовать применять более широко психофизиологическую диагностику сенсомоторного реагирования и variability сердечного ритма обучающихся

для выбора наиболее эффективного пути повышения готовности к учебной деятельности и достижения толерантности (переносимости) учебных физических нагрузок, а также их индивидуально-типологического подбора в зависимости от типов вегетативной регуляции функций ССС.

Согласно исследованиям Р.М. Баевского, ВРС отражает работу механизмов регуляции целостного организма, а не только сердечно-сосудистой системы. Поэтому с помощью методики ВСР по регистрируемым отклонениям в функциях сердечно-сосудистой системы можно определить адаптацию и уровень состояния здоровья. Становится доступной оценка отклонений здоровья от состояния нормы, переход в донозологическое состояние или состояние значительного снижения активности регуляторных систем вследствие их истощения у обучающихся.

Функциональная интеграция сердечно-сосудистой и дыхательной систем в кардиореспираторную мегасистему, имеющую ведущее значение для субстратного обеспечения процессов метаболизма, энергетического обмена, детоксикации клеточных, органно-тканевых структур и функциональных систем организма, позволяет считать сердечно-сосудистую систему основным жизнеопределяющим компонентом в процессах функционирования целостного организма человека.

Таблица 6

Состояние регуляторных систем в конце исследования в ЭГ

Table 6

The state of regulatory systems at the end of the study in the experimental group

| Характеристики системы регуляции сердечного ритма | Частные диагностические заключения | Оценки в баллах | Отклонения от моды |
|---|---|-----------------|--------------------|
| А. Суммарный эффект регуляции | Нормокардия | 0 | 0 |
| Б. Функции автоматизма | Нарушение ритма не выявлено | 0 | 0 |
| В. Вегетативный гомеостаз | Равновесие симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы | 0 | 0 |
| Г. Вазомоторный (сосудистый) центр | Нормальная активность подкоркового сердечно-сосудистого центра | 0 | -1 |
| Д. Симпатический сердечно-сосудистый ПНЦ | Выраженное ослабление активности симпатического сердечно-сосудистого центра | -2 | -1 |
| Показатель активности регуляторных систем ПАРС+ (IRSA+): 2 (-2+0) | | | НТИ: 2 |

Таблица 7

Состояние регуляторных систем в конце исследования в КГ

Table 7

The state of regulatory systems at the end of the study in the control group

| Характеристики системы регуляции сердечного ритма | Частные диагностические заключения | Оценки в баллах | Отклонения от моды |
|---|---|-----------------|--------------------|
| А. Суммарный эффект регуляции | Выраженная брадикардия | -2 | -2 |
| Б. Функции автоматизма | Выраженная аритмия | -2 | -2 |
| В. Вегетативный гомеостаз | Выраженное преобладание парасимпатической нервной системы | -2 | -2 |
| Г. Вазомоторный (сосудистый) центр | Нормальная активность подкоркового сердечно-сосудистого центра | 0 | 0 |
| Д. Симпатический сердечно-сосудистый ПНЦ | Выраженное ослабление активности симпатического сердечно-сосудистого центра | -2 | -1 |
| Показатель активности регуляторных систем ПАРС+ (IRSA+): 8 (-8+0) | | | НТИ: 7 |

В нашем исследовании мы получили подтверждение этих ранее установленных результатов (Р.М. Баевский, Ю.Н. Семенов). В проведенном исследовании показано, что при использовании типологически ориентированных упражнений наблюдаются установление равновесия симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, нормализация активности подкоркового сердечно-сосудистого центра, выраженное ослабление активности симпатического сердечно-сосудистого центра.

4. Выводы

У обучающихся с III ТВР показатели ВСР и интегральных индексов физического развития и здоровья

Робинсона, Скибинского, Шаповаловой, Руфье и Кетле имеют оптимальные значения в отличие от обучающихся с I, II, IV ТВР. При использовании у I, II, IV ТВР типологически обусловленной физической нагрузки у обучающихся наблюдалось улучшение индексов здоровья, минимизация ВСР, что свидетельствует о функциональной стабильности и достаточных адаптационных резервах, устойчивости интегративных механизмов кардиореспираторной системы к нагрузкам на уроках ФВ. Комплексное применение показателей (индексов) здоровья и variability сердечного ритма позволяет разработать физиологически обоснованные программы двигательной нагрузки для применения в ОУ на уроках физического воспитания.

Вклад авторов:

Горелик Виктор Владимирович — дизайн статьи, статистическая обработка данных, написание текста статьи.

Филиппова Светлана Николаевна — написание текста статьи, научное редактирование, теоретическая переработка статьи.

Назаренко Наталья Нефедовна — дизайн статьи.

Литература

1. Агаджанян Н.А., Цатурян Л.Д., Кувандыкова Р.Х. Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма, показателей периферической крови и гормонального профиля у подростков Ставропольского края: этнофизиологический аспект. *Экология человека*. 2015;(8):26–31. <https://doi.org/10.17816/humeco17005>
2. Баевский Р.М. Физиологическая норма и концепция здоровья. *Российский физиологический журнал*. 2003;89(4):473–489.
3. Бочарова И.А., Агеева Е.С. Адаптация сердечно-сосудистой системы к регулярным физическим нагрузкам. *Вестник Хакасского гос. ун-та им. Н.Ф. Катанова*. 2015;(12):24–26.
4. Ушаков А.С., Клещенко Н.Е., Ненашева А.В., Астахов С.И., Рябина К.Е. Вариабельность сердечного ритма в процессе учебной деятельности у практически здоровых школьников, не занимающихся спортом. *Теория и практика физической культуры*. 2016;(3):20–22.
5. Рябова И.В., Филиппова С.Н., Алексеева С.И., Соболевская Т.А., Черногоров Д.Н. Влияние учебных нагрузок на адаптацию и состояние регуляторных систем организма младших школьников. *Человек. Спорт. Медицина*. 2021;20(4):55–61. <https://doi.org/10.14529/hsm200406>
6. Демидов В.А., Мавлиев Ф.А., Соснов Н.В. Медленноволновые характеристики вариабельности показателей кардиогемодинамики у лиц юношеского возраста. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура*. 2012;28:36–39.
7. Добрин А.В. Особенности вариабельности кардиоритма как показатель адекватности двигательного режима в процессе занятий физической культурой детей 7–8 лет. *Теория и практика физической культуры*. 2018;(8):28–30.
8. Ключников С.О., Гнетнева Е.С. Вегетативные изменения и их коррекция у детей. *Вопросы практической педиатрии*. 2009;4(4):82–87.
9. Коломиец О.И., Быков Е.В. Вариабельность сердечного ритма при адаптации к физическим нагрузкам различной направленности. *Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта*. 2014;(12):98–103.
10. Криволапчук И.А. Эффективность использования физических упражнений для оптимизации функционального состояния детей на этапах количественных и качественных преобразований в деятельности физиологических систем. *Физиология развития человека: материалы международной конференции, секция 4 (г. Москва, 22–24 июня 2009 г.)*. Москва: Вердана; 2009, с. 50–51.
11. Никулина А.В., Козлов В.А., Шуканов А.А. Изменчивость вариабельности сердечного ритма как отражение реализации физиологических механизмов адаптации организма. *Человек. Спорт. Медицина*. 2017;17(4):14–20. <https://doi.org/10.14529/hsm170402>

Authors' contributions:

Victor V. Gorelik — study design, statistical data processing, article text writing.

Svetlana N. Filippova — article text writing, scientific editing, theoretical revision of the article.

Natalya N. Nazarenko — study design.

References

1. Agadzhanian N.A., Tsaturian L.D., Kuvandykova R.H. Features of Vegetative Regulation of Heart Rhythm, Peripheral Blood and Hormonal Profile in Adolescents of Stavropol Region: Ethnophysiological Aspects. *Ekologiya cheloveka = Human Ecology*. 2015;22(8):26–31 (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/humeco17005>
2. Baevskii R.M. Concept of Physiological Norm and Criteria of Health. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal = Russian Journal of Physiology*. 2003;89(4):473–489 (In Russ.).
3. Bocharova I.A., Ageyeva E.S. Adaptation of Cardiovascular System to Regular Exercise. *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.F. Katanova*. 2015;(12):24–26 (In Russ.).
4. Ushakov A.S., Kleshchenkova N.E., Nenashева A.V., Astakhov S.I., Ryabina K.E. Heart Rate Variability in Learning Process in Healthy Schoolgirls Not Doing Sports. *Teoriya i praktika fizicheskoi kul'tury = Theory and Practice of Physical Culture*. 2016;(3):20–22 (In Russ.).
5. Ryabova I.V., Philippova S.N., Alekseeva S.I., Sobolevskaya T.A., Chernogorov D.N. Adaptation and Regulatory Systems in Primary Schoolchildren. *Chelovek. Sport. Meditsina = Human. Sport. Medicine*. 2021;20(4):55–61 (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm200406>
6. Demidov V.A., Mavliyev F.A., Sosnov N.V. Медленноволновые характеристики вариабельности показателей кардиогемодинамики у лиц юношеского возраста. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Obrazovanie, zdravookhranenie, fizicheskaya kul'tura = Bulletin of the South Ural State University. Series "Education, health care, physical education"*. 2012;28:36–39 (In Russ.).
7. Dobrin A.V. Heart Rate Variability Data to Rate 7-8 Year-Olds' Physical Education Process Efficiency. *Teoriya i praktika fizicheskoi kul'tury = Theory and Practice of Physical Culture*. 2018;(8):28–30 (In Russ.).
8. Klyuchnikov S.O., Gnetneva E.S. Vegetative changes and their correction in children. *Voprosy prakticheskoi pediatrii = Clinical Practice in Pediatrics*. 2009;4(4):82–87 (In Russ.).
9. Kolomiyets O.I., Bykov E.V. Heart rate variability during adaptation to physical activity of different profile. *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*. 2014;(12):98–103 (In Russ.).
10. Krivolapchuk I.A. The effectiveness of the use of physical exercises to optimize the functional state of children at the stages of quantitative and qualitative transformations in the activity of physiological systems. *Physiology of human development: materials of the international conference, section 4 (Moscow, June 22–24, 2009)*. Moscow: Verdana Publ.; 2009, p. 50–51 (In Russ.).
11. Nikulina A.V., Kozlov V.A., Shukanov A.A. Changes in Heart Rate Variability as a Reflection of Implemented Physiological Mechanisms of Adaptation. *Chelovek. Sport. Meditsina = Human. Sport. Medicine*. 2017;17(4):14–20 (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm170402>

12. Шибкова Д.З., Байгузин П.А., Эрлих В.В., Батуева А.Э., Сабирьянова Е.С. Отбор и медико-биологическое сопровождение одаренных обучающихся, реализующих образовательную и спортивную деятельность. *Science for Education Today*. 2020;10(5):196–210. <https://doi.org/10.15293/2658-6762.2005.11>
13. Поляков С.Д., Хрущев С.В., Соболев А.М. Компьютерные технологии мониторинга физического здоровья школьников. *Физкультура в профилактике, лечении и реабилитации*. 2004;(4):4–8.
14. Крылова А.В., Ситдиков Ф.Г., Аникина Т.А., Зверев А.А. Реакция симпатoadренальной системы мальчиков на дозированную физическую нагрузку. *Наука и спорт: современные тенденции*. 2019;22(1):60–66.
15. Семенов Ю.Н. Комплекс для переработки кардиоинтервалов и анализа variability сердечного ритма «Варикард 2.51»: руководство к эксплуатации. Рязань: Рамена; 2014.
16. Синяк Е.Д. Влияние урока физической культуры на variability сердечного ритма у детей младшего школьного возраста в начале и в конце учебного года [диссертация]. Казань: Казанский государственный педагогический университет; 2003.
17. Григорьев О.В., Ситдиков Ф.Г., Самигулин Г.Х. Возрастные особенности недельной динамики функционального состояния организма младших школьников. *Физиология человека*. 2000;26(6):752–754. <https://doi.org/10.1023/A:1026610220635>
18. Колпаков В., Томилова Е., Стрижак Н., Кривошеков С.Г., Беспалова Т.В. Типологическая variability психофизиологических особенностей младших школьников как прогностическая основа для формирования успешности в спортивной и оздоровительной деятельности. *Человек. Спорт. Медицина*. 2020;19(S2):7–17. <https://doi.org/10.14529/hsm19s201>
19. Шлык Н.И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов. Ижевск: Удмуртский гос. ун-т; 2009.
20. Makivić B., Nikić M.D., Willis M.S. Heart Rate Variability (HRV) as a Tool for Diagnostic and Monitoring Performance in Sport and Physical Activities. *Journal of Exercise Physiology Online*. 2013;16(3):103–131.
21. Plews D.J., Laursen P.B., Le Meur Y., Hausswirth C., Kilding A.E., Buchheit M. Monitoring training with heart-rate variability: How much compliance is needed for valid assessment? *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2014;9 (5):783–790. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0455>
22. Plews D.J., Laursen P.B., Kilding A.E., Buchheit M. Evaluating training adaptation with heart-rate measures: A methodological comparison. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2013;8(6):688–691. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013.8.6.688>
23. Douglas J., Plews D.J., Handcock P.J., Rehrer N.J. The Beneficial Effect of Parasympathetic Reactivation on Sympathetic Drive During Simulated Rugby Sevens. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2016;11(4):480–488. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0317>
12. Shibkova D.Z., Baiguzhin P.A., Erlich V.V., Batueva A.E., Sabiryanova E.S. Selection and biomedical support for gifted children simultaneously involved in education and sports. *Science for Education Today*. 2020;10(5):196–210. <https://doi.org/10.15293/2658-6762.2005.11>
13. Polyakov S.D., Khrushchev S.V., Sobolev A.M. Computer technologies for the physical health monitoring of schoolchildren. *Fizkul'tura v profilaktike, lechenii i reabilitatsii* [Physical education in prevention, treatment and rehabilitation]. 2004;(4):4–8 (In Russ.).
14. Krylova A.V., Sitdikov F.G., Anikina T.A., Zverev A.A. Response of Sympathoadrenal System of Boys to a Dosed Physical Load. *Nauka i sport: sovremennye tendentsii = Science and Sport: current trends*. 2019;22(1):60–66 (In Russ.).
15. Semenov Yu.N. Complex for processing cardiointervals and heart rate variability analysis “Varicard 2.51”. Ryazan: Ramena Publ.; 2014 (In Russ.).
16. Sinyak E.D. Influence of a physical culture lesson on heart rate variability in children of primary school age at the beginning and at the end of the school year [dissertation]. Kazan: Kazan State Pedagogical University; 2003 (In Russ.).
17. Grigor'eva O.V., Sitdikov F.G., Samigullin G.Kh. Age-related characteristics of weekly dynamics of the functional state of young schoolchildren. *Human Physiology*. 2000;26(6):752–754 (In Russ.). <https://doi.org/10.1023/A:1026610220635>
18. Kolpakov V., Tomilova E., Strizhak N., Krivoshchekov S., Bepalova T. Typological Variability of Psychophysiological Features in Schoolchildren for Prognosing Success in Sports and Health Enhancement Activities. *Chelovek. Sport. Meditsina = Human. Sport. Medicine*. 2020;19(S2):7–17 (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm19s201>
19. Shlyk N.I. Heart rate and type of regulation in children, adolescents and athletes. Izhensk: Udmurt State University; 2009 (In Russ.).
20. Makivić B., Nikić M.D., Willis M.S. Heart Rate Variability (HRV) as a Tool for Diagnostic and Monitoring Performance in Sport and Physical Activities. *Journal of Exercise Physiology Online*. 2013;16(3):103–131.
21. Plews D.J., Laursen P.B., Le Meur Y., Hausswirth C., Kilding A.E., Buchheit M. Monitoring training with heart-rate variability: How much compliance is needed for valid assessment? *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2014;9 (5):783–790. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0455>
22. Plews D.J., Laursen P.B., Kilding A.E., Buchheit M. Evaluating training adaptation with heart-rate measures: A methodological comparison. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2013;8(6):688–691. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013.8.6.688>
23. Douglas J., Plews D.J., Handcock P.J., Rehrer N.J. The Beneficial Effect of Parasympathetic Reactivation on Sympathetic Drive During Simulated Rugby Sevens. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2016;11(4):480–488. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0317>

Информация об авторах:

Горелик Виктор Владимирович*, к.б.н., доцент кафедры адаптивной физической культуры, спорта и туризма, ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», Россия, 445020, Самарская область, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14. ORCID: <https://0000-0001-8767-5200> (legoy@list.ru)

Филиппова Светлана Николаевна, д.б.н., профессор кафедры физиологии спорта и физического воспитания ГАОУ ВО «Московский государственный университет спорта и туризма», Россия, 117519, Москва, Кировоградская ул., 21. ORCID: <https://0000-0003-3626-63> (svetjar@mail.ru)

Назаренко Наталья Нефедовна, к.п.н., доцент кафедры адаптивной физической культуры, спорта и туризма, ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», Россия, 445020, Самарская область, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14. ORCID: <https://0000-0002-9883-2088> (kredo6607@mail.ru)

Information about the authors:

Victor V. Gorelik*, Ph.D. (Biology), Associate Professor of the Department of Adaptive Physical Education, Sports and Tourism, Tolyatti State University, 14 Belorusskaya str., 445020, Samara region, Tolyatti, Russia. ORCID: <https://0000-0001-8767-5200> (lecgoy@list.ru)

Svetlana N. Filippova, D.Sc. (Biology), Professor, Moscow State University of Sports and Tourism, department physiology of sport and physical education. 21 bldg. 1 Kirovogradskaya str., 117519, Moscow, Russia ORCID: <https://0000-0003-3626-63> (svetjar@mail.ru)

Natalya N. Nazarenko, Ph.D. (Pedagogy), Associate Professor of the Department of Adaptive Physical Education, Sports and Tourism, Tolyatti State University, 14 Belorusskaya str., Tolyatti, Samara region, 445020, Russia. ORCID: <https://0000-0002-9883-2088> (kredo6607@mail.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.8>

УДК: 612.1

Тип статьи: Оригинальное исследование / Original Article



Особенности карнитинового обмена у юных спортсменов

А.С. Самойлов¹, А.В. Жолинский², Н.В. Рылова^{1,*}, И.В. Большаков¹

¹ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России, Москва, Россия

²ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучить показатели карнитинового обмена у юных спортсменов различных специализаций.

Материалы и методы: в данном исследовании приняли участие 46 человек с разным уровнем физической активности в возрасте от 15 до 18 лет. Первую группу составили 18 девочек, профессионально занимающихся хоккеем на траве (средний возраст — $16,17 \pm 0,31$ года). Во вторую группу включены спортсмены-пловцы общим количеством 21 человек (10 девушек и 11 мальчиков, средний возраст — $17,00 \pm 0,26$ года). В группу контроля вошли 7 юношей со стандартным режимом двигательной активности, не занимающихся спортом (возраст испытуемых — 16 лет). В процессе исследования применялся метод жидкостной тандемной хромато-масс-спектрометрии с ионизацией в электроспрее. Материал для исследования — капиллярная кровь. В результате анализа материала определялись концентрации связанного карнитина (ацилкарнитин) и свободного карнитина в мкмоль/л.

Результаты: сравнительный анализ крови между тремя группами продемонстрировал различия показателей свободного карнитина. Было показано, что концентрация свободного карнитина в плазме крови спортсменов, занимающихся хоккеем на траве, была достоверно ниже, чем в группах спортсменов-пловцов и лиц, не занимающихся спортом ($p < 0,001$). При этом значения показателей связанного карнитина значимо не отличались между всеми испытуемыми ($p > 0,05$). Установлено, что значения карнитинового коэффициента были достоверно выше в группе спортсменов-хоккеистов по сравнению с другими группами ($p < 0,001$).

Заключение: снижение показателей свободного карнитина в группе спортсменов-хоккеистов, возможно, является следствием долговременной адаптации организма к условиям, в которых главным энергетическим субстратом для работающих мышц является глюкоза. Необходимы дальнейшие исследования для уточнения точных механизмов развития данного явления.

Ключевые слова: карнитин, ацилкарнитин, спортсмены, дети, окисление жирных кислот

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Самойлов А.С., Жолинский А.В., Рылова Н.В., Большаков И.В. Особенности карнитинового обмена у юных спортсменов. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2022;12(4):40–44. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.8>

Поступила в редакцию: 22.04.2022

Принята к публикации: 30.08.2022

Online first: 25.09.2022

Опубликована: 01.02.2023

* Автор, ответственный за переписку

Features of carnitine metabolism in young athletes

Alexander S. Samoilov¹, Andrey V. Zholinsky², Natalia V. Rylova^{1,*}, Ivan V. Bolshakov¹

¹Russian State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

²Federal Scientific and Clinical Center for Sports Medicine and Rehabilitation, Moscow, Russia

ABSTRACT

Objective: to study the indicators of carnitine metabolism in young athletes of various specializations.

Materials and methods: This study involved 46 people with different levels of physical activity aged 15 to 18 years. The first group consisted of 18 girls professionally involved in field hockey (mean age, 16.17 ± 0.31 years). The second group included 21 swimmers (10 girls and 11 boys, mean age 17.00 ± 0.26 years). The control group included 7 young men with a standard mode of motor activity, not involved in sports (the age of the subjects was 16 years). In the course of the study, the method of liquid tandem chromatography-mass spectrometry with ionization in an electrospray was used.

The material for research is capillary blood. As a result of the analysis of the material, the concentrations of bound carnitine (acylcarnitines) and free carnitine were determined in $\mu\text{mol/l}$.

Results: Comparative blood analysis between the three groups showed differences in free carnitine levels. It was shown that the concentration of free carnitine in the blood plasma of field hockey athletes was significantly lower than in the groups of swimmers and non-athletes ($p < 0.001$). At the same time, the values of indicators of bound carnitine did not differ significantly between all subjects. We also studied that the values of the carnitine coefficient were significantly higher in the group of hockey players compared to other groups ($p < 0.001$).

Conclusion: The decrease in free carnitine levels in the group of hockey players is probably the result of long-term adaptation of the body to conditions in which glucose is the main energy substrate for working muscles. Further studies are needed to clarify the exact mechanisms of development of this phenomenon.

Keywords: carnitine, acylcarnitine, athletes, children, fatty acid oxidation

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

For citation: Samoilov A.S., Zholin A.V., Rylova N.V., Bolshakov I.V. Features of carnitine metabolism in young athletes. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2022;12(4):40–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.8>

Received: 22 April 2022

Accepted: 30 August 2022

Online first: 25 September 2022

Published: 1 February 2023

***Corresponding author**

1. Введение

Карнитин представляет собой производное аминокислот метионина и лизина. Данное вещество играет важную роль в энергетическом обеспечении тканей и органов человеческого организма. Основной функцией карнитина является транспорт длинноцепочечных жирных кислот из цитозоля в митохондриальный матрикс, где в они в последующем подвергаются β -окислению [1, 2]. Продукты β -окисления (две молекулы углерода) затем используются в цикле Кребса для производства аденозинтрифосфата (АТФ). Митохондриальное окисление жирных кислот является важным путем поддержания энергетического гомеостаза в организме, особенно во время голодания и выполнения продолжительных физических упражнений аэробного характера [3]. Другими установленными функциями карнитина являются обеспечение целостности клеточных мембран, стабилизация физиологического соотношения кофермент А/ацетил-КоА в митохондриях, снижение продукции лактата, регуляция протеолиза и синтеза белка [4]. Также было показано, что данное соединение обладает противовоспалительной и антиоксидантной активностью [5].

Карнитин эндогенно синтезируется в печени, почках и головном мозге при участии витамина С, витамина В₆, ниацина и восстановленного железа в качестве кофакторов. При этом биосинтез карнитина составляет лишь 25 % от суточной потребности, остальное количество поступает с пищей. Основным источником является красное мясо, в 100 г которого может содержаться до 140–190 мг карнитина. Напротив, продукты растительного происхождения содержат незначительное количество данного вещества [6]. Существуют также биологически активные добавки, содержащие карнитин, которые применяются многими спортсменами для улучшения переносимости физических нагрузок, повышения производительности, уменьшения чувства усталости и снижения массы тела [7]. Однако следует отметить, что биодоступность карнитина из пищевых источников составляет в среднем

54–86 %, в то время как биодоступность добавок карнитина составляет по разным данным от 9 до 25 % [6].

Было исследовано, что общее содержание карнитина в организме человека составляет около 300 мг/кг, при этом около 95 % хранится внутриклеточно в сердце и скелетных мышцах, а остальная часть — в печени, почках и плазме. В состоянии покоя карнитиновый пул скелетных мышц распределяется следующим образом: 80–90 % свободного карнитина, 10–20 % короткоцепочечных ацилкарнитинов (с числом атомов углерода менее 10) и около 5 % длинноцепочечных ацилкарнитинов (с числом атомов углерода более 10). Количество циркулирующего карнитина в плазме составляет всего 0,5 % от общего количества данного вещества в организме [4]. В крови человека карнитин в основном находится в свободной форме (70–80 %) и в форме ацилкарнитинов (20–30 %), большая часть которых представлена ацетил-карнитином. В норме уровень свободной формы карнитина в плазме крови составляет 20–60 мкмоль/л [8]. Довольно информативно определение соотношения связанной формы карнитина и свободного карнитина (карнитиновый коэффициент). В норме данное соотношение не превышает 0,6. Высокие значения коэффициента свидетельствуют об относительной недостаточности свободного карнитина [8].

Изменения содержания отдельных форм карнитина в крови наблюдаются при различных заболеваниях. Было исследовано, что повышенные уровни ацилкарнитинов наблюдаются у пациентов с диабетом 2-го типа, сердечной недостаточностью, а также у взрослых среднего и пожилого возраста с различными сердечно-сосудистыми заболеваниями. Данная закономерность обусловлена тем, что снижение доступности кислорода ухудшает окисление жирных кислот и ведет к последующему накоплению ацил-КоА и ацилкарнитинов в митохондриях [9]. К снижению содержания свободного карнитина и увеличению карнитинового коэффициента приводят такие состояния, как гиповитаминоз витаминов С и В, генетические заболевания (первичный

системный дефицит карнитина, дефекты в обмене аминокислот и липидов), нарушения почечной реабсорбции (диета с повышенным содержанием белков и жиров, беременность), снижение потребления карнитина, почечная недостаточность и другие [10]. Также на уровень содержания карнитина в крови предположительно может влиять характер физической активности человека.

Цель исследования: изучить показатели карнитинового обмена у юных спортсменов различных специализаций.

2. Материалы и методы

В данном исследовании приняли участие 46 человек с разным уровнем физической активности в возрасте от 15 до 18 лет. Первую группу составили 18 девочек, профессионально занимающихся хоккеем на траве (средний возраст — $16,17 \pm 0,31$ года). Во вторую группу включены спортсмены-пловцы общим количеством 21 человек (10 девушек и 11 мальчиков, средний возраст — $17,00 \pm 0,26$ года). В группу контроля вошли 7 юношей со стандартным режимом двигательной активности, не занимающихся спортом (возраст испытуемых — 16 лет). Перед исследованием все участники были устно проинформированы о целях и методах исследования. Проводился опрос по анкете, включающей информацию о данных личного характера (ФИО), наличии хронических заболеваний и уровне физической активности. Каждый испытуемый подписал информированное добровольное согласие. В процессе исследования применялся метод жидкостной тандемной хромато-масс-спектрометрии с ионизацией в электроспрее. Материал для исследования — капиллярная кровь. В результате анализа материала определялись концентрации связанного карнитина (ацилкарнитинов) и свободного карнитина в мкмоль/л.

Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с помощью программ Microsoft Office Excel и Rstudio (версия 1.1.463) на языке R. Проверку выборки на нормальность распределения проводили с помощью критерия Шапиро — Уилка. Для проверки гипотезы о гомогенности дисперсий между группами использовался тест Бартлетта. Анализ данных был осуществлен методами параметрической статистики (однофакторный дисперсионный анализ и критерий Тьюки для множественных сравнений). В случае нарушения предположения о нормальности распределения в группах сравнения и гомогенности дисперсии между выборками применялись методы непараметрического статистического анализа. В этом случае для выявления различий в значениях параметров между группами использовался ранговый однофакторный дисперсионный анализ (критерий Краскела — Уоллиса), а для попарных сравнений применялся критерий Манна — Уитни с поправкой Бонферрони для множественных сравнений. Критическое значение уровня значимости принимали равным 0,05.

3. Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования состояния карнитинового обмена у юных спортсменов представлены в таблице.

Нами установлено, что содержание свободного и связанного карнитина, а также значения карнитинового коэффициента во всех группах были в пределах референсных значений. Сравнительный анализ крови между тремя группами продемонстрировал различия показателей свободного карнитина. Было показано, что концентрация свободного карнитина в плазме крови спортсменов, занимающихся хоккеем на траве, была достоверно ниже, чем в группах спортсменов-пловцов и лиц, не занимающихся спортом ($p < 0,001$). При этом значения показателей связанного карнитина значимо не отличались между всеми испытуемыми. Также нами было исследовано, что значения карнитинового коэффициента были достоверно выше в группе спортсменов-хоккеистов по сравнению с другими группами ($p < 0,001$). Принимая во внимание гендерную неоднородность исследуемых групп, был проведен анализ показателей карнитинового обмена в группе пловцов, в состав которой включены как лица мужского, так и женского пола. Нами не было обнаружено различий в содержании свободного и связанного карнитина между пловцами разного пола ($p > 0,05$), что указывает на незначимость данного фактора в нашем исследовании.

К возможным причинам снижения содержания свободного карнитина в группе спортсменов-хоккеистов по сравнению с пловцами и группой контроля можно отнести гиповитаминоз витаминов В и С, диету с повышенным содержанием белков и жиров, сниженное потребление карнитина с пищей. Также следует отметить, что хоккей на траве является высокоинтенсивным видом спорта. Основной целью тренировок является развитие скоростно-силовых характеристик, что сопряжено со значительными анаэробными нагрузками. Снижение показателей свободного карнитина в данной группе спортсменов возможно является следствием долговременной адаптации организма к условиям, в которых главным энергетическим субстратом для работающих мышц является глюкоза. Конкретные механизмы данного явления и его потенциальные риски нуждаются в дальнейших исследованиях. Также существует необходимость исследования вопроса о дополнительной дотации добавок карнитина для спортсменов, подвергающихся высоким анаэробным нагрузкам.

4. Выводы

Таким образом, нами установлено, что концентрация свободного карнитина в плазме крови спортсменов, занимающихся хоккеем на траве, была достоверно ниже, чем у спортсменов-пловцов и лиц, не занимающихся спортом ($p < 0,001$). При этом значения показателей связанного карнитина значимо не отличались между всеми испытуемыми. Установлено, что значения карнитинового коэффициента были достоверно выше в группе

Таблица

Показатели, характеризующие состояние карнитинового обмена у юных спортсменов различных специализаций ($M \pm m$)

Table

Indicators characterizing the state of carnitine metabolism in young athletes of various specializations ($M \pm m$)

| Показатель/Indicator | Группы исследуемых/Study groups | | | Критерий/ Criterion | p |
|--|---|--------------------------------|--|------------------------|---------|
| | Хоккей на траве/ Field hockey (n = 18) | Плавание/ Swimming (n = 21) | Контрольная группа/ Control group (n = 7) | | |
| Свободный карнитин, мкмоль/л/ Free carnitine, $\mu\text{mol/l}$ | 26,77 \pm 0,98 | 38,41 \pm 0,92 | 40,57 \pm 2,50 | F* | < 0,001 |
| Ацилкарнитины, мкмоль/л/ Acylcarnitines, $\mu\text{mol/l}$ | 12,36 \pm 0,52 | 12,56 \pm 0,56 | 11,14 \pm 0,93 | F* | >0,05 |
| Карнитиновый коэффициент/ Carnitine ratio | 0,46 \pm 0,02 | 0,33 \pm 0,02 | 0,27 \pm 0,01 | H** | < 0,001 |

Примечание: F* — критерий Фишера, H** — критерий Краскела — Уоллиса.

Note: F* — Fisher's test, H** — Kruskal — Wallis test.

спортсменов-хоккеистов по сравнению с другими группами. К возможным причинам снижения содержания свободного карнитина и повышения значений карнитинового коэффициента в группе спортсменов-хоккеистов можно отнести гиповитаминоз витаминов В и С, сниженное потребление карнитина с пищей. Однако

в данном случае снижение уровня свободного карнитина, вероятно, связано с долговременной адаптацией организма к анаэробным нагрузкам. Необходимы дальнейшие исследования для уточнения точных механизмов развития данного явления.

Вклад авторов:

Самойлов Александр Сергеевич — концепция и дизайн исследования.

Жолинский Андрей Владимирович — дизайн исследования и редактирование текста.

Рылова Наталья Викторовна — сбор и обработка материала, редактирование текста.

Большаков Иван Владимирович — написание текста, статистическая обработка.

Authors' contributions:

Alexander S. Samoilo — study concept and design.

Andrey V. Zholinsky — study design and text editing.

Natalia V. Rylova — collection and processing of material, text editing.

Ivan V. Bolshakov — text preparation, statistical data processing.

Список литературы

1. Purdom T., Kravitz L., Dokladny K., Mermier C. Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. J. Int. Soc. Sports Nutr. 2018;15:3. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0207-1>
2. Adeva-Andany M.M., Calvo-Castro I., Fernández-Fernández C., Donapetry-García C., Pedre-Piñeiro A.M. Significance of l-carnitine for human health. IUBMB Life. 2017;69(8):578–594. <https://doi.org/10.1002/iub.1646>
3. Knottnerus S.J.G., Bleeker J.C., Wüst R.C.I., Ferdinands S., IJlst L., Wijburg F.A., et al. Disorders of mitochondrial long-chain fatty acid oxidation and the carnitine shuttle. Rev. Endocr. Metab. Disord. 2018;19(1):93–106. <https://doi.org/10.1007/s11154-018-9448-1>
4. Gnoni A., Longo S., Gnoni G.V., Giudetti A.M. Carnitine in Human Muscle Bioenergetics: Can Carnitine Supplementation Improve Physical Exercise? Molecules. 2020;25(1):182. <https://doi.org/10.3390/molecules25010182>
5. Sawicka A.K., Renzi G., Olek R.A. The bright and the dark sides of L-carnitine supplementation: a systematic review. J. Int. Soc. Sports Nutr. 2020;17(1):49. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00377-2>
6. Fielding R., Riede L., Lugo J.P., Bellamine A. l-Carnitine Supplementation in Recovery after Exercise. Nutrients. 2018;10(3):349. <https://doi.org/10.3390/nu10030349>

References

1. Purdom T., Kravitz L., Dokladny K., Mermier C. Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. J. Int. Soc. Sports Nutr. 2018;15:3. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0207-1>
2. Adeva-Andany M.M., Calvo-Castro I., Fernández-Fernández C., Donapetry-García C., Pedre-Piñeiro A.M. Significance of l-carnitine for human health. IUBMB Life. 2017;69(8):578–594. <https://doi.org/10.1002/iub.1646>
3. Knottnerus S.J.G., Bleeker J.C., Wüst R.C.I., Ferdinands S., IJlst L., Wijburg F.A., et al. Disorders of mitochondrial long-chain fatty acid oxidation and the carnitine shuttle. Rev. Endocr. Metab. Disord. 2018;19(1):93–106. <https://doi.org/10.1007/s11154-018-9448-1>
4. Gnoni A., Longo S., Gnoni G.V., Giudetti A.M. Carnitine in Human Muscle Bioenergetics: Can Carnitine Supplementation Improve Physical Exercise? Molecules. 2020;25(1):182. <https://doi.org/10.3390/molecules25010182>
5. Sawicka A.K., Renzi G., Olek R.A. The bright and the dark sides of L-carnitine supplementation: a systematic review. J. Int. Soc. Sports Nutr. 2020;17(1):49. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00377-2>
6. Fielding R., Riede L., Lugo J.P., Bellamine A. l-Carnitine Supplementation in Recovery after Exercise. Nutrients. 2018;10(3):349. <https://doi.org/10.3390/nu10030349>

7. Pooyandjoo M., Nouhi M., Shab-Bidar S., Djafarian K., Olyaeemanesh A. The effect of l-carnitine on weight loss in adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Obes. Rev.* 2016;17:970–976. <https://doi.org/10.1111/obr.12436>

8. Иванова И.И., Гнусаев С.Ф., Ильина А.А. Клинические проявления нарушений клеточного энергообмена при соматических заболеваниях у детей. *Российский вестник перинатологии и педиатрии.* 2018;63(2):27–33. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2018-63-2-27-33>

9. Gander J., Carrard J., Gallart-Ayala H., Borreggine R., Teav T., Infanger D., et al. Metabolic Impairment in Coronary Artery Disease: Elevated Serum Acylcarnitines Under the Spotlights. *Front. Cardiovasc. Med.* 2021;8:792350. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.792350>

10. Сизова Ж.М., Ших Е.В., Махова А.А. Применение L-карнитина в общей врачебной практике. *Терапевтический архив.* 2019;91(1):114–120. <https://doi.org/10.26442/00403660.2019.01.000040>

7. Pooyandjoo M., Nouhi M., Shab-Bidar S., Djafarian K., Olyaeemanesh A. The effect of l-carnitine on weight loss in adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Obes. Rev.* 2016;17:970–976. <https://doi.org/10.1111/obr.12436>

8. Ivanova I.I., Gnusaev S.F., Ilyina A.A. Clinical manifestations of cellular energy metabolism disorders in somatic diseases in children. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii = Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics.* 2018;63(2):27–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2018-63-2-27-33>

9. Gander J., Carrard J., Gallart-Ayala H., Borreggine R., Teav T., Infanger D., et al. Metabolic Impairment in Coronary Artery Disease: Elevated Serum Acylcarnitines Under the Spotlights. *Front. Cardiovasc. Med.* 2021;8:792350. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.792350>

10. Sizova Zh.M., Shikh E.V., Makhova A.A. The use of L-carnitine in general medical practice. *Terapevticheskiy arkhiv = Therapeutic archive.* 2019;91(1):114–120. (In Russ.). <https://doi.org/10.26442/00403660.2019.01.000040>

Информация об авторах:

Самойлов Александр Сергеевич, д.м.н., генеральный директор ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России, Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1227-2332>

Жолинский Андрей Владимирович, к.м.н., директор ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Россия, 121059, Москва, ул. Большая Дорогомилловская ул., 5. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0267-9761>

Рылова Наталья Викторовна*, д.м.н., профессор, заведующая лабораторией спортивной нутрициологии Центра спортивной медицины и реабилитации ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России, Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9248-6292> (nrilova@fmbcfmba.ru)

Большаков Иван Владимирович, ординатор кафедры восстановительной медицины, спортивной медицины, курортологии и физиотерапии с курсом сестринского дела МБУ ИНО ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6460-1337> (julymbo04@gmail.com)

Information about the authors:

Samoilov Alexander Sergeevich, MD, D.Sc. (Medicine), General Director Russian State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, 23 Marshala Novikova str., Moscow, 123098, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1227-2332>

Zholinsky Andrey Vladimirovich, MD, PhD (Medicine) Director of the Federal Scientific and Practical Center for Sports Medicine and Rehabilitation, FMBA, 5 Bolshaya Dorogomilovskaya str., Moscow, 121059, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0267-9761>

Rylova Natalya Viktorovna*, MD, D.Sc. (Medicine), Professor, Head of the Laboratory of Sports Nutrition of the Center for Sports Medicine and Rehabilitation Russian State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, 23 Marshala Novikova str., Moscow, 123098, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9248-6292> (nrilova@fmbcfmba.ru)

Bolshakov Ivan Vladimirovich, Resident of the Department of Restorative Medicine, Sports Medicine, Balneology and Physiotherapy with a Nursing Course, Russian State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, 23 Marshala Novikova str., Moscow, 123098, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6460-1337> (julymbo04@gmail.com)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Текущность крови при физических нагрузках разного вида

М.Е. Григорьева^{1,}, С.М. Сороколетов², А.В. Коробовский³, Л.А. Ляпина¹*

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия

² ГБУЗ «Городская клиническая больница имени С.П. Боткина»
Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

³ ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

В настоящей работе представлены данные литературы и собственных результатов по изучению текущести (или реологических свойств) крови при выполнении физических упражнений. Показано, что реология крови зависит от функционального состояния системы гемостаза. Установлено, что при физиологическом состоянии организма физические нагрузки любой силы могут привести к изменениям реакций первичного и плазменного гемостаза и, соответственно, реологических свойств крови. В обзоре описывается исследование факторов, взаимосвязанных с текущестью крови у людей и животных до и после физических упражнений (бег, плавание и т. д.) при нормальном физиологическом состоянии организма, перенапряжении, а также при некоторых видах патологии (сердечно-сосудистые и метаболические заболевания). Представляются данные по текущести крови в условиях ограничения физической нагрузки. Особое внимание уделяется корректирующей роли физических упражнений на реологию (текущность) крови при нарушении гомеостаза организма. Рассматриваются возможные механизмы действия физических нагрузок на текущность крови.

Ключевые слова: текущность крови, физические нагрузки, ограничение подвижности, коррекция, механизм действия

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Григорьева М.Е., Сороколетов С.М., Коробовский А.В., Ляпина Л.А. Текущность крови при физических нагрузках разного вида // Спортивная медицина: наука и практика. 2022;12(4):45–58. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.3>

Поступила в редакцию: 23.08.2022

Принята к публикации: 19.12.2022

Online first: 15.01.2023

Опубликована: 01.02.2023

* Автор, ответственный за переписку

Blood fluidity during physical exertion of various types

Marina E. Grigorjeva^{1,}, Sergey M. Sorokoletov², Alexander V. Korobovsky³, Ludmila A. Lyapina¹*

¹ M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

² S.P. Botkin City Clinical Hospital, Moscow, Russia

³ Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

ABSTRACT

This paper presents data from the literature and own results on the study of blood fluidity (or rheological properties) when performing physical exercises. It is shown that the rheology of blood depends on the functional state of the haemostasis system. It has been established that in the physiological state of the organism, physical exertion of any strength can lead to changes in the reactions of primary and plasma haemostasis and, accordingly, the rheological properties of blood. The review describes the study of factors related to blood flow in humans and animals before and after physical exercise (running, swimming, etc.) in the normal physiological state of the organism, with overstrain and with certain types of pathology (cardiovascular and metabolic diseases). Data on blood flow in conditions of physical activity restriction are presented. Special attention is paid to the corrective role of physical exercises on the rheology (fluidity) of blood in violation of homeostasis of the organism. Possible mechanisms of action of physical exertion on blood flow are considered.

Keywords: blood fluidity, physical exertion, limitation of mobility, correction, mechanism of action

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

For citation: Grigorjeva M.E., Sorokoletov S.M., Korobovsky A.V., Lyapina L.A. Blood fluidity during physical exertion of various types. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2022;12(4):45–58. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.3>

Received: 23 August 2022

Accepted: 19 December 2022

Online first: 15 January 2023

Published: 1 February 2023

* **Corresponding author**

1. Введение

При физиологическом состоянии кровь в сосудах течет ламинарным потоком, скорость потока неоднородна и нарастает по направлению к центру. При этом большинство тромбоцитов находятся в неактивной форме на всех участках кровяного русла. Состояние системы гемостаза может существенно меняться под воздействием физических нагрузок, что зависит от множества факторов, в том числе от состояния гомеостаза организма, условий и характера тренировок и т.д. Улучшение реологических свойств крови увеличивает ее кислород-транспортные возможности и может играть важную роль в повышении физической работоспособности. В то же время гемореологические показатели могут быть маркерами уровня работоспособности у спортсменов. В условиях физических нагрузок необходимо корректировать программу занятий либо профилировать по виду спорта [1].

Известно, что острый стресс — состояние, возникающее при однократном воздействии агрессивного фактора. При хроническом стрессе, когда наблюдается повторяющееся и многократное воздействие определенного фактора, например физических нагрузок, срабатывает эффект накопления, приводящий к состоянию истощения адаптационного резерва организма. В связи с этим хронический стресс может вызвать дезадаптацию систем организма [2]. В зависимости от адекватности физической нагрузки, исходного состояния организма, сопутствующих внешних и внутренних воздействий ответной реакцией системы гемостаза может быть проявление как эустресса, так и дистресса [3].

Считается, что активация системы гемостаза при нормальном физиологическом состоянии под влиянием экстремальных факторов является защитной реакцией организма, однако при чрезмерных перегрузках это может приводить к процессам тромбообразования в кровотоке [4]. В условиях воздействия сил сдвига, превышающих нормальные, тромбоциты могут спонтанно активироваться без контакта с субэндотелием. Возникающие изменения в первую очередь обусловлены агрегационной функцией тромбоцитов, что влияет на реологические свойства крови, изменяя ее текучесть и повышая вязкость [5]. Реологические свойства крови также определяются состоянием других форменных элементов. Ключевая роль при этом принадлежит эритроцитам, нарушение структуры их мембран

влечет за собой изменение их функциональных свойств и приводит к агрегации, патологические последствия которой проявляются нарушением микроциркуляции и, как следствие, метаболизма и функции тканей и органов. Изменения в структуре мембраны клеток приводят к подавлению их функциональной активности, влияя на снабжение кислородом тканей. От состояния мембран эритроцитов зависит их устойчивость к различным повреждающим агентам. В присутствии эритроцитов усиливается синтез тромбосана В2 в активированных тромбоцитах. Эритроциты способны усиливать агрегацию тромбоцитов, изменяя их биохимию, значительно ускоряя экспрессию интегрин $\alpha 2b-\beta 3$ и Р-селектина на поверхности активированных тромбоцитов. Все эти исследования способствуют пониманию роли эритроцитов в тромбозе и гемостазе и поддерживают концепцию о формировании тромбов как результате межклеточного взаимодействия [6]. Повышенная способность эритроцитов к агрегации также может вносить определенный вклад в ухудшение текучести крови при низких скоростях ее течения и тем самым отрицательно влиять на величину сосудистого сопротивления и транспортные способности крови [7]. Кроме того, избыточная физическая нагрузка может вызвать увеличение количества тромбоцитов в крови, что создает условия для их внутрисосудистой агрегации, а это является одним из ведущих патогенетических механизмов подавления реологических способностей крови [8]. Для людей, занимающихся спортом, становится жизненно необходимой ранняя диагностика и профилактика возникновения патологии сердца, сосудов, легких [3]. Также показана взаимосвязь между темпераментом и стрессоустойчивостью у студентов-футболистов [9]. Как установлено, первичной реакцией системы гемостаза на стрессорное воздействие является состояние гиперкоагуляции, которая при нормальной дальнейшей реакции сменяется активацией противосвертывающих механизмов, ведущих к повышению антикоагулянтного и фибринолитического потенциала крови [10].

Важной проблемой физиологии является оценка факторов, определяющих особенности приспособительных реакций системы гемостаза на избыточную физическую нагрузку, которая может провоцировать как нарушения гемокоагуляции, так и, с другой стороны, быть фактором профилактики сердечно-сосудистой. Комплексное изучение реологических свойств крови, обусловленное

состоянием внутрисосудистой гемокоагуляции и сосудисто-тромбоцитарного звена гемостаза, представляет актуальную задачу в области изучения влияния физических нагрузок разной степени на текучесть крови. Следует иметь в виду, что при ограничении физической подвижности может возникнуть состояние саркопении или гиподинамии (физической неактивности), и это относят к одному из ведущих модифицируемых факторов риска глобальной смертности [4].

Целью настоящего исследования было рассмотреть и проанализировать важнейший фактор гемостаза — текучесть крови при физических нагрузках как в норме, так и при перегрузках в период проведения обычных занятий у людей, не подвергающихся постоянной физической активности, у спортсменов-профессионалов, а также у людей при ограничении двигательной активности; выявить возможные механизмы действия физических упражнений и перегрузок на текучесть крови и представить данные о корригирующей роли физических нагрузок при некоторых видах патологии, обусловленных изменением сердечно-сосудистого и метаболического статуса организма.

2. Текучесть крови при физических нагрузках в условиях физиологического состояния организма

Большое значение в плане прогноза длительных и интенсивных физических нагрузок имеют нарушения в системе микроциркуляции. В функционировании системной регуляции свертывания крови наблюдается связь микроциркуляции и агрегации тромбоцитов. Микроциркуляция представляет собой структурно-функциональную единицу системы кровотока, где происходит взаимодействие между током крови и работой тканей, обеспечивающее транскапиллярный обмен и осуществление различных клеточных функций. Микроциркуляция иллюстрирует мезомасштабные физиологические системы, соединяя явления большего и меньшего масштаба. Исследование микроциркуляции представляет собой пример «промежуточного», а не «нисходящего» или «восходящего» подхода к изучению биологических функций. Вычислительные и математические подходы могут быть использованы для анализа функционирования микроциркуляции и установления количественных взаимосвязей между микрососудистыми процессами и явлениями, происходящими в больших и меньших масштабах, что приводит к пониманию, которое невозможно получить исключительно с помощью редуционистских биологических экспериментов. Учитывая его интегративный подход к процессам, происходящим в разных масштабах, и акцент на теоретических, а также экспериментальных подходах, исследование микроциркуляции относится к современным определениям системной биологии [10].

В экспериментах на животных установлено, что принудительное плавание вызывает значительно больший

стресс, чем бег по беговой дорожке [11, 12]. В других экспериментах у крыс также применяли тест «принудительное плавание», для чего использовали цилиндрический сосуд объемом 25 л, на 2/3 заполненной водой ($t = 26-27\text{ }^{\circ}\text{C}$), в которую на 10 мин поочередно помещали животных. Глубина использованной емкости не позволяла крысам касаться дна хвостом и задними лапами [13]. Было показано, что через 10 мин. после окончания теста в крови крыс достоверно увеличивался фибринолиз по показателям суммарного, неферментативного и ферментативного фибринолиза на 70, 52 и 100% соответственно и значительно (более чем в 3 раза) повышалась антикоагулянтная активность (по тесту АЧТВ) по сравнению с соответствующими показателями у нормальных животных. Через 60 мин. после окончания плавания наблюдалось достоверное снижение всех видов фибринолитической активности крови на 31–46% и АЧТВ на 32%, при этом агрегация тромбоцитов была достоверно повышена в 1,5 раза относительно показателей в норме. Таким образом, через 10 мин. после окончания теста принудительное плавание у крыс отмечалась активация функции противосвертывающей системы, тогда как через 60 мин. после его окончания активировалось тромбоцитарное звено гемостаза и угнеталась фибринолитическая и антикоагулянтная активность крови. Следовательно, у животных первоначальная активация функции противосвертывающих механизмов переходит в состояние гиперкоагуляции и, соответственно, к снижению вязкости или текучести крови [14].

Исследования, проведенные на людях показали, что вязкость или текучесть крови у спортсменов с высоким уровнем общей физической работоспособности в состоянии относительного покоя снижена. Это обусловлено уменьшением гематокритного показателя и увеличением деформируемости эритроцитов. Общей особенностью изменений реологических свойств крови у спортсменов является повышение деформируемости эритроцитов. Один из важных механизмов высокой деформируемости эритроцитов — относительный сдвиг возрастного состава эритроцитов в сторону молодых форм. Показано, что повышение текучести крови у спортсменов взаимосвязано с высоким уровнем аэробной и анаэробной физической работоспособности, сила взаимосвязи выше с аэробной работоспособностью. Механизм взаимосвязи обусловлен повышением кислородтранспортных свойств крови вследствие увеличения ее текучести. Установлено, что понижения вязкости плазмы и агрегации эритроцитов у спортсменов является следствием уменьшения концентраций фибриногена и холестерина плазмы. Увеличение деформируемости эритроцитов взаимосвязано с понижением индекса атерогенности липидов. Увеличение деформируемости эритроцитов у спортсменов сопряжено с повышением уровней ионов калия и неорганического фосфора сыворотки. В механизмах повышения текучести крови у спортсменов важную роль играют

гормональные изменения, вызванные физической тренировкой. Взаимосвязи реологических свойств крови с кортизолом, половыми, тиреоидным и тиреотропным гормонами опосредованы их участием в метаболических процессах. Повышение текучести крови и плазмы взаимосвязано с пониженными концентрациями общего тестостерона, механизм корреляций обусловлен участием гормона в регуляции уровней гематокрита, триглицеридов и холестерина. Ускорение метаболизма эстрадиола у спортсменов сопряжено с уменьшением концентраций фибриногена, холестерина и ХСЛПНП, а также понижением вязкости крови и плазмы. Рост концентрации кортизола, вызванный физической тренировкой, сопровождался повышением текучести плазмы через гормональные эффекты в регуляции метаболизма триглицеридов и уровня IgG. Текучесть плазмы у спортсменов взаимосвязана с функциональным состоянием эндотелия сосудов. Увеличение вязкости плазмы у спортсменов с низкой физической работоспособностью, в основном за счет концентрации глобулинов, сопряжено с компенсаторно-повышенным уровнем антикоагулянтов (протеина C, S, антитромбина III) и активацией сосудистого эндотелия: повышенным уровнем антигена фактора фон Виллебранда. Снижение уровня фибриногена, ключевого фактора вязкости плазмы и агрегации эритроцитов, у спортсменов с высоким уровнем физической работоспособности тесно связано с повышенной фибринолитической активностью (пониженной активностью плазминогена) [15].

Было показано, что хронические и немедленные реакции после физической нагрузки в системах гемостаза и фибринолиза изменчивы и отражают различные адаптации с возрастом и реакции на протоколы упражнений. В этом исследовании изучалось влияние острой и изнурительной физической нагрузки на амплитуду и продолжительность гемостатических и фибринолитических реакций у подростков мужского пола. Испытуемые выполняли изнурительное пошаговое упражнение, состоящее из циклов подъема и спуска по 1 сек. до утомления. Когда испытуемые не могли поддерживать необходимый ритм шага, им давали 30-секундный период восстановления. Сразу после тренировки количество тромбоцитов, АЧТВ, уровень факторов свертывания — VIII, Виллебранда и активность тканевого активатора плазминогена были значительно повышены в отличие от ингибитора активатора плазминогена (PAI-1), который значительно снижался до 1 ч после тренировки. Концентрации фактора VIII и тромбоцитов были повышены через 1 и 24 ч после тренировки [16].

При ежедневных физических тренировках (многократное воздействие одинакового по силе раздражителя) устраняется рассогласование в отдельных звеньях системы гемостаза вплоть до снижения риска развития внутрисосудистого свертывания крови, выявленное

при однократной восьмичасовой нагрузке. Двухчасовой режим многократных физических нагрузок уже на седьмой день воздействий сопровождается снижением активности тромбоцитарного и плазменного гемостаза, нормализацией антикоагулянтной и фибринолитической систем крови. Восьмичасовой режим физических воздействий сопровождается более выраженной гипоагрегацией и гипокоагуляцией, а также активацией антикоагулянтной и фибринолитической систем, зарегистрированных лишь к тридцатому дню тренировок. Запаздывание стабилизации реакций системы гемостаза на новом адаптационном уровне можно рассматривать как необходимость более длительного адаптационного периода при действии на организм более интенсивного (в данном случае — по длительности воздействия) раздражителя [17].

Как известно, регулярные физические упражнения благотворно влияют на реологический статус крови в зависимости от его типа, интенсивности и продолжительности. Исследовали макро- и микрореологические изменения, вызванные короткими высокоинтенсивными упражнениями у профессиональных спортсменов (футболистов и хоккеистов) и нетренированных людей. Упражнение выполнялось на эргометре на беговой дорожке, при этом проводилось спиреоэргометрические обследования. При физической нагрузке увеличивались количество лейкоцитов, эритроцитов и тромбоцитов, и вязкость крови в нетренированной группе. В группе хоккеистов было выявлено увеличение агрегации эритроцитов при физической нагрузке. В основном короткие высокоинтенсивные упражнения изменяли макро- и микрореологические параметры в нетренированной группе [18].

В следующей работе изучали изменения гемореологических параметров в результате физических упражнений, за которыми следует стандартный прием пищи у 12 умеренно активных мужчин. Период упражнений на велоэргометре проходил в течение 30 минут при 60% максимального объема потребления кислорода и сопровождался тестовым приемом пищи или 30-минутным отдыхом. Было обнаружено, что после тренировки наблюдалось заметное повышение вязкости плазмы индекса агрегации, которые после тренировки возвращались к исходным значениям. Итак, физические упражнения вызывают несколько изменений параметров реологии крови, в том числе увеличение вязкости крови и индекса агрегации плазмы, при этом прием пищи в посттренировочный период не влиял на эти показатели. Делается вывод, что такие изменения в гемореологических параметрах не ухудшают функцию сердечно-сосудистой системы у здоровых людей, но могут представлять серьезный риск при различных патофизиологических состояниях [19].

Из данных литературы известна концепция «трехфазных эффектов упражнений», «парадокса гематокрита» и «гемореологического парадокса лактата». Однако

некоторые исследования не вписываются в эту классическую концепцию и не могут быть объяснены законом Хагена — Пуазейля. В случае учета нелинейности влияния факторов вязкости на кровоток и доставку кислорода возникает другая картина: вызванные упражнениями высокой интенсивности умеренно высокие значения гематокрита и жесткости эритроцитов вызывают физиологическую вазодилатацию. Предлагается модель «здорового примитивного образа жизни», которая объясняет выбор генетических полиморфизмов, позволяющих справляться с постоянной физической активностью низкой интенсивности и питанием, основанным на потреблении умеренного содержания белка, углеводов с низким гликемическим индексом и низким содержанием насыщенных жирных кислот [20].

Таким образом, классические исследования гемореологии физических упражнений показали, что текучесть крови нарушается во время физических упражнений (кратковременная гипервязкость, вызванная физическими нагрузками) и улучшается в результате регулярных занятий физическими упражнениями (гемореологический фитнес).

3. Текучесть крови при физических нагрузках в условиях патологии, обусловленной сердечно-сосудистыми и метаболическими изменениями

Связь параметров системы гемостаза с изменениями обмена веществ и сердечно-сосудистой системы организма является общепризнанной.

Немаловажное внимание уделяется взаимосвязи гемореологическим свойствам крови, функции эндотелия, активности тромбоцитов, свертыванию и противосвертыванию при повышенном риске атеротромботических сердечно-сосудистых событий, венозной тромбоэмболии и метаболическим изменениям в организме. При этом нарушается эндотелий-зависимая вазодилатация, опосредованная снижением экспрессии вазодилататоров (оксида азота и простациклина) с сопутствующим увеличением вазоконстрикторов (эндотелин-1, ангиотензин II и тромбоксан A2) и активности тромбоцитов. Перекрестное взаимодействие между активированным эндотелием и тромбоцитами, гиперкоагуляция и нарушение фибринолиза приводит к протромботическому порочному кругу. Это подтверждается высоким уровнем фибриногена и ингибитора активатора плазминогена-1, высоким уровнем фактора Виллебранда и тканевого фактора плазминогена. Особое внимание уделяется повышению вязкости цельной крови и плазмы. Улучшить протромботическое состояние могут такие факторы, как снижение индекса массы тела, улучшение состава рациона за счет потребления мононенасыщенных жиров и активного образа жизни [21].

В следующих работах представлены данные по влиянию физических упражнений на систему гемостаза и текучесть крови у людей с сердечно-сосудистыми и метаболическими нарушениями.

Текучесть крови взаимосвязана с состоянием кардиодинамики и системной гемодинамики в покое. Отмечено компенсаторное повышение производительности сердца и снижение периферического сосудистого сопротивления при повышении факторов, определяющих вязкость крови. Важную роль в оптимизации функционирования кровообращения в тренированном организме играет снижение текучести крови через уменьшение нагрузки на сердце по преодолению вязкостного сопротивления кровотоку [15, 22].

Показано, что физические упражнения вызывают мультисистемную адаптацию у лиц с ожирением, которая способствует снижению массы тела и улучшению глюкометаболического контроля, противодействует саркопении и снижает риск кардиометаболических заболеваний. Избыточное потребление животных жиров, богатых насыщенными жирными кислотами, и простых углеводов ведет к нарушениям липидного и углеводного обмена веществ и развитию атеросклероза. При этом в крови и в сосудистой стенке формируются атероматозные изменения, которые усугубляются активацией окислительных процессов в сосудистой стенке. Для профилактики атеросклеротического повреждения эндотелия употребляют продукты, содержащие антиоксиданты. Биологическая ценность растительных жиров определяется содержанием в них полиненасыщенных жирных кислот, которые уменьшают содержание в крови триглицеридов и Хс-ЛПНП, ингибируют циклооксигеназный путь обмена арахидоновой кислоты, что приводит к снижению агрегации тромбоцитов и улучшению текучести крови и сосудодвигательной функции эндотелия [23].

Проведены исследования с анализом циркулирующих везикул, которые анализировали с помощью отслеживания наночастиц и проточной цитометрии. У всех субъектов острая физическая нагрузка (выполнение упражнений средней интенсивности на беговой дорожке) изменяла высвобождение общего количества микровезикул. Выделение микровезикул после тренировки было выше у лиц с нормальным весом, чем у лиц с ожирением; после тренировки уровни микровезикул были выше у женщин, чем у мужчин. Результаты настоящего исследования показали, что однократная острая физическая нагрузка модулирует высвобождение микровезикул в кровоток, которые зависят от ткани, пола и индекса массы тела, т. е. от сложного взаимодействия тканевых, эндокринных и метаболических факторов [24].

Существует обратная корреляционная связь между уровнем физической активности и частотой сердечно-сосудистых заболеваний. Активная дозированная физическая деятельность способствовала снижению уровня холестерина у больных атеросклерозом и болезнью периферических артерий, которая связана с ослабленной функцией сосудов, кардиореспираторной способностью, физической функцией и мышечной силой. Результаты свидетельствуют, что водная ходьба

является эффективной терапией для снижения артериальной жесткости и частоты сердечных сокращений в покое, а также улучшения кардиореспираторной способности, толерантности к физической нагрузке, физической функции и мышечной силы у пациентов с болезнью периферических артерий [25].

Острая физическая нагрузка приводит к преходящей активации свертывающей системы, которая сопровождается повышением фибринолитической способности у здоровых испытуемых. Однако пациенты с ИБС, которые не могут увеличить свой фибринолитический потенциал, могут подвергаться значительному риску развития острых ишемических событий, если они подвергаются непривычно интенсивным физическим нагрузкам. Сделан вывод, что физическая активность оказывает глубокое влияние на тромбогенные факторы и что эти механизмы могут способствовать ее благоприятному сердечно-сосудистому воздействию [26, 27].

Острые энергичные физические нагрузки, как известно, способствуют развитию повышенной свертываемости крови (гиперкоагуляции), тогда как регулярная физическая нагрузка посредством тренировки полезна для здоровья. При этом состояние показателей системы гемостаза соответствует нормальным значениям и снижает риск развития ССЗ [28].

Физическая подготовка способствует снижению концентрации фибриногена у больных хронической сердечной недостаточностью, в то время как у здоровых добровольцев уровень фибриногена после физической нагрузки повышался [29].

Таким образом, текучесть крови при физических нагрузках в условиях патологии, обусловленной сердечно-сосудистыми и метаболическими изменениями, тесно связана с изменениями в системе гемостаза и имеет важное прогностическое значение, которое следует учитывать при режимах выполнения физических упражнений.

4. Текучесть крови при ограничении двигательной активности

Многочисленные данные литературы свидетельствуют, что малоподвижный образ жизни и физическая неактивность относятся к основной и непосредственной причине ряда заболеваний, том числе сердечно-сосудистых и нарушений метаболизма органов и тканей. Организм быстро дезадаптируется к недостаточной физической активности, что приводит к существенному снижению качества жизни. Напротив, физическая активность предотвращает или задерживает развитие хронических заболеваний [30]. Отмечается, что гиподинамия или физическая неактивность относятся к одному из ведущих модифицируемых факторов риска глобальной смертности, причем, по оценкам специалистов, риск смерти при гиподинамии увеличивается на 20–30% по сравнению с теми, кто физически активен [4].

Известно, что распространение саркопении, связанной с атрофией и потерей мышечных волокон, составляет от 5 до 40% в общей популяции. Основными причинами развития саркопении являются гормональные изменения (снижение выброса тестостерона, эстрогена и гормона роста), дефицит питательных веществ, хроническое воспаление и снижение физической активности вследствие малоподвижного образа жизни. Варианты лечения саркопении включают активный образ жизни с физическими упражнениями, соответствующее адекватное питание и, возможно, фармакологическую терапию [31]. Как установлено, силовые тренировки улучшают показатели гемостаза и снижают тромботический профиль крови [32].

Исследование показало, что скелетная мышечная ткань экспрессирует по меньшей мере 17 генов, участвующих в гемостазе. К ним относятся фибринолитические факторы — тетрапектин, аннексин А2 и ТАП; антикоагулянтные факторы — ингибитор пути тканевого фактора, рецептор белка С, фактор активации тромбоцитов, факторы свертывания и гены, необходимые для посттрансляционной модификации этих факторов свертывания. Особый интерес представляет липидфосфат фосфатаза-1, ключевой ген для деградации протромботических и провоспалительных лизофосфолипидов. Она подавлялась локально в мышечной ткани в течение нескольких часов после сидения у людей; это также наблюдалось после острых и хронических состояний физической инертности у крыс, и физические упражнения были относительно неэффективны для противодействия этому эффекту у обоих видов. Полученные данные позволили предположить, что скелетные мышцы могут играть важную роль в гемостазе и что мышечная недостаточность может способствовать нарушениям гемостаза и текучести крови не только из-за замедления кровотока как такового, но и потенциально из-за вклада генов, экспрессируемых локально в мышцах [33].

Было показано, как стандартизированный постельный режим влияет на агрегацию тромбоцитов у человека и выяснено изменение агрегации тромбоцитов в трансляционной модельной системе, например у спящего бурого медведя (*Ursus arctos*). У здоровых мужчин-добровольцев через три недели постельного режима не отмечено влияния на функцию тромбоцитов. У зимующих бурых медведей агрегация тромбоцитов была снижена вдвое по сравнению с летним периодом, и исследователи предполагают, что это защитная мера, позволяющая избежать образования тромбов в периоды низкого кровотока [34].

Таким образом, гиподинамия и физическая неактивность является установленным фактором риска нарушений свертываемости крови и развития связанных с этим заболеваний, в том числе ССЗ. Регулярная физическая активность, физические упражнения и силовые тренировки улучшают показатели гемостаза и снижают тромботический потенциал крови.

5. Корректирующая роль физических упражнений в проявлении нормальной текучести крови в организме

Физическая активность, т.е. занятия физическими упражнениями, рассматриваются как первичная профилактика 35 хронических состояний: ускоренное биологическое старение/преждевременная смерть, низкая кардиореспираторная работоспособность, саркопения, метаболический синдром, ожирение, инсулинорезистентность, преддиабет, диабет 2-го типа, неалкогольная жировая болезнь печени, ишемическая болезнь сердца, болезнь периферических артерий, гипертония, инсульт, застойная сердечная недостаточность, эндотелиальная дисфункция, артериальная дислипидемия, гемостаз, тромбоз глубоких вен, когнитивная дисфункция, депрессия и тревога, остеопороз, остеоартрит, изменение костной ткани при переломах/падении, ревматоидный артрит, рак толстой кишки, рак молочной железы, рак эндометрия, гестационный диабет, преэклампсия, синдром поликистозных яичников, эректильная дисфункция, боль, дивертикулит, запор и заболевания желчного пузыря [35].

Для восстановления сосудисто-гемостатических факторов и текучести крови кроме *медикаментозных* существуют и *немедикаментозные методы* [36].

Проблема поиска способов, одновременно нормализующих сосудисто-эндотелиальную, гемостатическую функции и текучесть крови и не оказывающих токсичного воздействия на организм, относится к актуальной задаче биологических и медицинских исследований. В связи с этим изучение состояния сосудистого эндотелия в сочетании с системой гемостаза является перспективным для разработки обоснованной профилактической и лечебной стратегии.

Все больший интерес проявляется к немедикаментозным методам лечения, которые могут заменить лекарственные препараты либо существенно ограничить потребность в них и при этом влиять на разнообразные стороны патологического процесса, способствовать регуляции нарушенного гомеостаза и улучшению функционального состояния органов и систем.

Физические упражнения улучшают функцию эндотелия и текучесть крови у подростков-мальчиков высокого риска развития атеросклеротических изменений в сосудах. Однако у девочек не наблюдали изменения исследуемых параметров, что отражает их общий более низкий уровень физической активности [23].

Центральный вопрос другого исследования заключался в сравнении реакций эндотелия сосудов, кровяного давления и текучести крови на острое воспаление у пожилых и молодых людей. Влияет ли физическая активность на эти реакции? Пожилые люди предрасположены к сердечно-сосудистым событиям из-за нарушения регуляции артериального давления. Старение характеризуется хроническим воспалением, которое связано с дисфункцией эндотелия, увеличением вязкости крови

и жесткостью артерий. Физическая активность может защитить пожилых людей от сердечно-сосудистой дисфункции, повышенного воспаления и нормализовать текучесть крови [37].

Оксид азота (NO), как известно, является одним из наиболее важных регуляторных соединений в сердечно-сосудистой системе, где он играет центральную роль в таких функциях, как регулирование кровяного давления, кровотока и роста сосудов. Биодоступность NO определяется балансом между, с одной стороны, степенью образования NO и, с другой стороны, удалением NO, которое частично зависит от реакции NO с активными формами кислорода (АФК). Было показано, что физическая активность значительно улучшает сердечно-сосудистую функцию за счет повышения биодоступности NO, усиления эндогенной антиоксидантной защиты и снижения экспрессии АФК-образующих ферментов. Поэтому регулярная физическая активность, вероятно, будет очень полезным инструментом в лечении сердечно-сосудистых заболеваний [38].

Обращают на себя внимание так называемые пассивное упражнение/движение. Клиническое применение пассивных упражнений/движений использовало пневматическое и прямое сжатие конечностей для стимуляции сосудистой системы, что вызывало изменения в кровотоке, позволяло нормализовать текучесть крови и избежать осложнений, вызванных застоем и сосудистыми заболеваниями. Пассивное движение ног обеспечивает зависимое от оксида азота функционирование сосудистого эндотелия на протяжении всей жизни, которое чувствительно к изменениям активности/физической формы и болезненному состоянию (сердечная недостаточность, заболевания периферических артерий, сепсис). Постоянное уточнение и характеристика пассивных движений ног направлены на улучшение регуляции кровотока за счет повышения реологических свойств крови, особенно при прогрессировании сердечно-сосудистых нарушений [39].

У испытуемых с ишемической болезнью сердца всего один сеанс физической (силовой) тренировки приводил к активации фибринолитической системы за счет повышения активности ТАП при отсутствии потенциальных тромботических маркеров [32].

С другой стороны, биологические изменения, вызванные физической активностью, согласуются с механистической моделью, в которой острые и интенсивные физические нагрузки связаны с переходным состоянием гиперкоагуляции, особенно у нетренированных людей. В основном это происходит из-за повышенной выработки тромбина, гиперреактивности тромбоцитов и повышенной активности нескольких факторов свертывания крови, особенно фактора VIII и фактора Виллебранда. Также сообщается о повышении фибринолитической активности после физической нагрузки. Однако такие изменения кажутся полностью обратимыми, поскольку тренированные субъекты в состоянии покоя

демонстрируют частичное истощение функции тромбоцитов в дополнение к значениям нескольких параметров как свертывающей, так и фибринолитической систем, которые в глобальном масштабе сопоставимы или даже ниже, чем наблюдаемые у сидячего населения. Эти адаптивные изменения могут быть полезными в долгосрочной перспективе, обеспечивая некоторую защиту от риска тромбоза и неблагоприятных сердечно-сосудистых событий у физически активных людей [40].

Таким образом, физические нагрузки умеренной степени могут служить основой восстановления сосудисто-гемостатической функции организма человека и животных при состояниях напряжения, вызванных физическими перегрузками. При некоторых видах патологий, связанных с сердечно-сосудистыми событиями, также показаны физические упражнения, которые способны улучшить функциональное состояние гемостатической и сосудисто-эндотелиальной систем организма в сторону активации противосвертывающей системы крови, нормализации текучести крови, предотвращая возможные тромбоопасные осложнения.

6. Механизм действия физических упражнений на состояние текучести крови организма

На сегодня влияние физических упражнений на свертываемость крови и лежащие в их основе механизмы еще полностью не изучены. Имеются многочисленные сообщения о влиянии физических упражнений на гемостаз крови, но полученные результаты противоречивы и трудно поддаются интерпретации.

Реологические свойства крови в первую очередь определяются состоянием форменных элементов, в том числе эритроцитам и тромбоцитам. Нарушение структуры мембран эритроцитов приводит к их агрегации, патологические последствия которой проявляются нарушением микроциркуляции, и, как следствие, снижению текучести крови. Эритроциты способны усиливать агрегацию тромбоцитов, изменяя их биохимию, значительно ускоряя экспрессию интегрин $\alpha 2b-\beta 3$ и Р-селектина на поверхности активированных тромбоцитов. Все это указывает на роль эритроцитов и тромбоцитов в патогенезе и восстановлении микроциркуляции и реологии крови [6, 41].

Важным фактором, влияющим на степень сосудистого тонуса в различных отделах кровообращения и текучесть крови, также считается оксид азота. До недавнего времени исследования в этой области были сосредоточены на эндотелиальных клетках как источнике NO. Существует общее мнение, что: 1) уровень напряжения сдвига стенки является основным фактором, определяющим экспрессию эндотелиальной синтазы оксида азота (eNOS); 2) тренировка вызывает изменения активности эндотелиальных клеток, синтезирующих NO; 3) паттерны фосфорилирования eNOS изменяются после эпизодов физических нагрузок. Однако в настоящее время появляется все больше доказательств

существования аналогичных механизмов синтеза оксида азота в эритроцитах человека. Они являются ферментативным источником NO, который зависит от динамики кровотока. Следовательно, NO может играть роль в регуляции динамики локального кровотока во время физической тренировки [42].

Известно, что гемофилия характеризуется аномальной генерацией тромбина, нарушением стабильности тромба и кровоточивостью, поэтому как вспомогательное средство при лечении гемофилии наряду с фактором VIII используют фактор свертывания XIII (FXIII), который способствует стабильности сгустка. Физические нагрузки способствуют купированию гемофилии за счет увеличения FXIII, который повышает резистентность к ТАП-индуцированному фибринолизу и положительно влияет на стабильность и структуру сгустка [43]. О положительном воздействии FXIII при физических нагрузках у больных гемофилией свидетельствуют и данные других исследователей. Совместное применение FXIII с гемостатической терапией может усилить гемостаз за счет усиления сшивки фибрина и α_2 -антиплазмина [41, 44].

С другой стороны, использование физических нагрузок в условиях повышенной свертываемости крови, т. е. при предтромботических состояниях, может восстановить нормальную свертываемость и реологию крови. Это может быть обусловлено выбросом в кровоток эндотелиального оксида азота и ангиотензина при физических упражнениях [45]. С достоверностью было установлено, что умеренные занятия спортом эффективны для улучшения толерантности к физической нагрузке, концентрации липидов, артериального давления, нормализации уровня глюкозы в сыворотке крови и предотвращения риска тромбоза. Отсутствие физической активности однозначно способствует развитию сердечно-сосудистых заболеваний, таких как ишемическая болезнь сердца и инсульт, которые считаются основными причинами инвалидности и смертности во всем мире [46].

Известно также, что физические упражнения хронически модулируют иммунную функцию. Установлено, что при острой физической нагрузке повышается концентрация циркулирующих в крови цитокинов, что свидетельствует об их участии в ответной реакции организма на острую аэробную физическую нагрузку [47]. После марафонской гонки обнаружена активация нейтрофилов и значительное повышение концентрации интерлейкинов в плазме и моче спортсменов. Хотя многие цитокины, рекрутирующие и праймирующие нейтрофилы и моноциты, секретировались и функционировали после изнурительной физической нагрузки, подавляющая антиоксидантная и противовоспалительная защита была индуцирована, предотвращая вызванный физической нагрузкой окислительный стресс [48].

Было продемонстрировано, что физические упражнения оказывают значительное влияние на гемостаз, причем активация зависит от продолжительности и интенсивности тренировки. Кроме того, было показано,

что маркеры свертывания и фибринолиза обладают циркадными ритмами, достигающими максимума в утренние часы (06.00–12.00 ч). Поэтому время суток, в которое выполняется физическая нагрузка, может влиять на активацию свертывающей и фибринолитической систем организма. Данное исследование было направлено на изучение коагуляционных и фибринолитических реакций на кратковременные высокоинтенсивные физические нагрузки, выполняемые в разное время суток. Физические упражнения значительно повышали концентрацию в плазме крови тканевого фактора, ингибитора пути тканевого фактора, тромбин-антитромбиновых комплексов и D-димера [27]. Рассматривая влияние стрессового состояния на гемостаз, необходимо отметить, что при этом стимулируется тромбопоэз и увеличивается экспрессия GPIIb, комплекса GPIIb-IIIa и P-селектина. Тканевый фактор, действуя как кофактор, способствует протеолизу и активации фактора FVIIa и образованию внешнего комплекса теназы (комплекс TF/FVIIa), который индуцирует активацию факторов FIX и FX (FIXa и FXa). Затем фактор FXa, связанный с кофактором FVa (комплекс протромбиназы), превращает протромбин (II) в тромбин (IIa). Медленно накапливающееся количество тромбина активирует адгезию тромбоцитов в месте повреждения, инициируя фазу амплификации, с последующей активацией FV (FVa) и превращением FVIII в FVIIIa, который действует как кофактор FIXa на поверхности активированных тромбоцитов. Теназный комплекс FIXa/FVIIIa катализирует превращение FX в FXa, который, в свою очередь, образует FXa/FVa-комплекс, продуцирующий достаточное количество тромбина для преобразования фибриногена в мономер фибрина. В конечном счете происходит активация тромбином трансглутаминазы плазмы FXIIIa, которая катализирует образование ковалентной сшивки между соседними цепями фибрина с образованием эластичного полимеризованного фибринового сгустка. Этот процесс строго регулируется, чтобы предотвратить неконтролируемое образование сгустков. Некоторые антикоагулянтные факторы (AT III, протеины C и S, тромбомодулин, ингибитор пути TF) подавляют или способствуют деградации активированных факторов свертывания крови. В условиях хронического стресса повышенная прокоагулянтная активность (например, высокий фибриноген, D-димер, FVIIa, FVIIIa и антиген vWF) связана с нарушением фибринолитического пути, о чем свидетельствует увеличение экспрессии и активности PAI-1 и снижение ТАП [26, 27].

Таким образом, механизм действия физических нагрузок на систему гемостаза обусловлен действием ряда факторов внешнего и внутреннего путей свертывания, системы комплемента и сосудисто-тромбоцитарного гемостаза.

7. Заключение

Проблема регуляции жидкого состояния крови и ее свертывания в организме при занятиях спортом,

физическими упражнениями как в норме, так и при патологии связана с практическими задачами профилактики и терапии тромбоза, атеросклероза, сердечно-сосудистых и цереброваскулярных заболеваний, что относится к актуальной проблеме современности. В настоящей работе рассмотрены и проанализированы исследования по важнейшему фактору гемостаза — текучести или реологическим свойствам крови при физических нагрузках как в норме, так и при перегрузках у спортсменов-профессионалов, а также у людей при ограничении двигательной активности, выявлены возможные механизмы действия физических упражнений и перегрузок на текучесть крови и представлены данные о корректирующей роли физических нагрузок при некоторых видах патологии, обусловленных изменением сердечно-сосудистого и метаболического статуса организма.

В статье описывается влияние физических нагрузок разной степени на систему гемостаза с обращением особого внимания на параметры вязкости крови. В работе освещаются результаты наблюдений и исследований по текучести крови при ежедневных физических упражнениях в условиях физиологического состояния организма, а также при такой патологии, как предпосылки к геморрагиям (гемофилия) или к тромботическим осложнениям (венозная тромбоэмболия заболевания периферических артерий, атеросклероз сосудов). Особое внимание уделено состоянию факторов, обуславливающих текучесть крови, при ограничении двигательной активности.

Описываются возможные механизмы регуляции гемостаза, в том числе текучести крови, при занятиях спортом и доказывается сопряженность процессов свертывания, противосвертывания и функции сосудистого эндотелия при физических нагрузках.

Рассмотрение нормальных реологических свойств крови является актуальной проблемой физиологии и медицины. В физиологических условиях преобладают вазодилатирующие и атромбогенные свойства эндотелия и противосвертывающие механизмы гемостаза, однако при состояниях напряжения и в патологических условиях баланс вырабатываемых веществ смещается в сторону вазоконстрикторов и прокоагулянтов. Эти процессы приводят к дисфункции эндотелия и повышенной свертываемости крови, что играет ключевую роль при состояниях организма, осложняющихся тромбозами [49].

Трансформация поверхности эндотелия из антикоагулянтной в прокоагулянтную индуцируется тканевым фактором, который активирует VII фактор свертывания крови, ускоряет активацию X фактора свертывания крови и таким образом запускается так называемый «внешний» путь свертывания крови. В неповрежденном эндотелии тканевый фактор не образуется. При повреждении сосудов, а также при гипоксии, действии цитокинов, напряжении сдвига, под влиянием окисленных липопротеидов и других факторов происходит экспрессия синтеза тканевого фактора. Активация «внешнего пути»

завершается образованием тромбина, на активность которого влияют атромбогенные факторы, секретируемые эндотелием: ингибитор тканевого фактора, тромбомодулин, протеогликаны и др. Ингибитор тканевого пути свертывания синтезируется различными клетками, но основным его источником является эндотелий. На поверхности эндотелиоцитов он связан с протеогликанами и мобилизуется под влиянием гепарина.

С учетом всех вырабатываемых эндотелием факторов можно сделать вывод о том, что эндотелию сосудов отводится роль регулятора функционального состояния системы гемостаза и реологии крови как в норме, так и при состояниях напряжения, так как эндотелий представляет собой баланс противоположно действующих сил: вазоконстрикция/вазодилатация, коагулянтные/прокоагулянтные, воспалительные/провоспалительные свойства.

Физические нагрузки и занятия спортом улучшают эндотелий-опосредованную вазодилатацию в коронарном и периферическом русле при ишемической болезни сердца, артериальной гипертензии, сердечной недостаточности, сахарном диабете, а также у малоподвижных и курильщиков, оказывая таким образом васкулопротекторное действие против атеросклероза. Таким

Вклад авторов:

Григорьева Марина Евгеньевна — концепция и дизайн работы, сбор и анализ материала, написание текста статьи.

Сороколетов Сергей Михайлович — критический пересмотр содержания, утверждение финальной версии статьи.

Коробовский Александр Валентинович — сбор и анализ информации, редактирование и оформление рукописи.

Ляпина Людмила Анисимовна — написание текста статьи, критический пересмотр содержания, утверждение финальной версии статьи.

Список литературы

1. Amini A., Sobhani V., Mohammadi M.T., Shirvani H.J. Acute effects of aerobic, resistance and concurrent exercises, and maximal shuttle run test on coagulation and fibrinolytic activity in healthy young non-athlete. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2017;5(5):633–642. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06092-8>
2. Мельникова М.Л. Психология стресса: теория и практика. Екатеринбург: УГПУ; 2018.
3. Pedersen B.K., Hoffman-Goetz L. Exercise and the immune system: regulation, integration, and adaptation. *J. Physiol. Rev.* 2000;80(3):1055–1081. <https://doi.org/10.1152/physrev.2000.80.3.1055>
4. Fletcher G.F., Landolfo C., Niebauer J., Ozemek C., Arena R., Lavie C.J. Promoting and Exercise: JACC Health Promotion Series. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018;72(14):1622–1639. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.08.2141>
5. Семенова С.В., Лученков В.В., Киричук В.Ф., Парфенюк В.К., Савинов В.А., Киселев А.Р. Реологические свойства крови и агрегация тромбоцитов у пациентов с нейроциркуляторной астенией. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 11. Медицина.* 2008;(4):14–24.

образом, физические упражнения оказывают сосудорасширяющее, антиагрегантное, антиоксидантное, антиадгезивное, антипролиферативное и антиапоптотическое действие на эндотелий сосудов.

При нарушениях функции сосудистого эндотелия наблюдается сбой в регуляторных взаимоотношениях свертывающей, противосвертывающей систем крови и функции сосудистого эндотелия. В этих случаях осуществляют коррекцию функции сосудистого эндотелия как путем физической активности, так и применением вазоактивных препаратов, что в конечном счете приводит к восстановлению функционирования взаимосвязанных систем свертывания, противосвертывания и сосудистого эндотелия.

Значение эндотелия сосудов при физических нагрузках приобретает особую важность, так как регулярная физическая нагрузка средней или высокой интенсивности позволяют снизить риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, улучшить контроль за уровнем глюкозы крови, препятствовать патологическому увеличению массы тела, замедлить снижение плотности костной ткани и оказать положительное воздействие не только на физическое, но и на психологическое состояние человека.

Authors' contributions:

Marina E. Grigorjeva — the concept and design of the work, the collection and analysis of the material, the writing of the text of the article.

Sergey M. Sorokoletov — critical revision of the article content, approval of the final version of the article.

Alexander V. Korobovsky — collection and processing of the material, editing, formatting of the manuscript.

Ludmila A. Lyapina — writing the text of the article, critical revision of the content, approval of the final version of the article.

References

1. Amini A., Sobhani V., Mohammadi M.T., Shirvani H.J. Acute effects of aerobic, resistance and concurrent exercises, and maximal shuttle run test on coagulation and fibrinolytic activity in healthy young non-athlete. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2017;5(5):633–642. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06092-8>
2. Melnikova M.L. Stress psychology: theory and practice. Ekaterinburg: UGPU; 2018 (In Russ.).
3. Pedersen B.K., Hoffman-Goetz L. Exercise and the immune system: regulation, integration, and adaptation. *J. Physiol. Rev.* 2000;80(3):1055–1081. <https://doi.org/10.1152/physrev.2000.80.3.1055>
4. Fletcher G.F., Landolfo C., Niebauer J., Ozemek C., Arena R., Lavie C.J. Promoting and Exercise: JACC Health Promotion Series. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018;72(14):1622–1639. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.08.2141>
5. Semenova S.V., Luchenkov V.V., Kirichuk V.F., Parfenyuk V.K., Savinov V.A., Kiselev A.P. Rheological properties of blood and platelet aggregation in patients with neurocirculatory asthenia. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 11. Meditsina = Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine.* 2008;(4):14–24 (In Russ.).

6. Litvinov R.I., Weisel J.W. Role of red blood cells in haemostasis and thrombosis. *ISBT Sci. Ser.* 2017;12(1):176–183. <https://doi.org/10.1111/voxs.12331>
7. Голубева М.Г. Влияние физической нагрузки на функциональное состояние мембран эритроцитов. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2020;10(2):55–64.
8. Wallén N.H., Goodall A.H., Li N., Hjemdahl P. Activation of haemostasis by exercise, mental stress and adrenaline: effects on platelet sensitivity to thrombin and thrombin generation. *Clin. Sci.* 1999;97(1):27–35.
9. Романова А.В., Гандер Д.В., Лысаков Н.Д., Коробовский А.В. Исследование взаимосвязи темперамента и стрессоустойчивости у футболистов студенческой команды. *Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта.* 2021;8(198):438–442.
10. Kupchak B.R. Exercise and air-travel-induced alterations in blood hemostasis. *Semin. Thromb. Hemost.* 2018;44(8):756–764. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1670640>
11. Secomb T.W., Pries A.R. The microcirculation: physiology at the mesoscale. *J. Physiol.* 2011;589(5):1047–1052. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.201541>
12. Contarteze R.V., Machado F.B., Gobatto C.A., de Mello M.A.R. Forced swim reliability for exercise testing in rats by a tethered swimming apparatus. *J. Mol. Integr. Physiol.* 2008;151(3):415–422. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2007.03.005>
13. Левицкая Н.Г., Виленский Д.А., Себенцова Е.А., Андреева Л.А., Каменский А.А., Мясоедов Н.Ф. Влияние семакса на эмоциональное состояние белых крыс в норме и на фоне действия холецистокинина-тетрапептида. *Изв. РАН. Сер. биол.* 2010;(2):231–237.
14. Григорьева М.Е., Ляпина Л.А. Регуляция системы гемостаза пролинсодержащими пептидами. Москва: Ким Л.А.; 2018.
15. Мельников А.А., Викулов А.Д. Реологические свойства крови у спортсменов. Ярославль: ЯГПУ; 2008.
16. Ribeiro J., Almeida-Dias A., Ascensão A., Magalhães J., Oliveira A.R., Carlson J., Mota J., Appell H-J. Duarte Hemostatic response to acute physical exercise in healthy adolescents. *J. Sci. Med. Sport.* 2007;10(3):164–169. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.06.001>
17. Шахматов И.И., Алексева О.В. Влияние многократного воздействия физической нагрузки на систему гемостаза. *Фундаментальные исследования.* 2011;10(1):181–185.
18. Szanto S., Mody T., Zsuzsanna Gyurcsik Z., Babjak L.B., Somogyi V., Barath B., et al. Alterations of selected hemorheological and metabolic parameters induced by physical activity in untrained men and sportsmen. *Metabolites.* 2021;11(12):870. <https://doi.org/10.3390/metabo11120870>
19. Bilski J., Teległów A., Pokorski J., Nitecki J., Pokorska J., Nitecka E., et al. Effects of a meal on the hemorheologic responses to exercise in young males. *Biomed. Res. Int.* 2014;2014:862968. <https://doi.org/10.1155/2014/862968>
20. Brun J.F., Varlet-Marie E., Romain A.J., Guiraudou M., Raynaud de Mauverger E. Exercise hemorheology: Moving from old simplistic paradigms to a more complex picture. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2013;55(1):5–27. <https://doi.org/10.3233/CH-131686>
21. Kostapanos M.S., Florentin M., Elisaf M.S., Mikhailidis D.P. Hemostatic factors and the metabolic syndrome. *Curr. Vasc. Pharmacol.* 2013;11(6):880–905. <https://doi.org/10.2174/1570161113116660171>
6. Litvinov R.I., Weisel J.W. Role of red blood cells in haemostasis and thrombosis. *ISBT Sci. Ser.* 2017;12(1):176–183. <https://doi.org/10.1111/voxs.12331>
7. Golubeva M.G. The effect of physical activity on the functional state of erythrocyte membranes. *Sportivnaya medicina: nauka i praktika = Sports medicine: research and practice.* 2020;10(2):55–64 (In Russ.).
8. Wallén N.H., Goodall A.H., Li N., Hjemdahl P. Activation of haemostasis by exercise, mental stress and adrenaline: effects on platelet sensitivity to thrombin and thrombin generation. *Clin. Sci.* 1999;97(1):27–35.
9. Romanova A.V., Gander D.V., Lysakov N.D., Korobovskiy A.V. Study of temperament and stress resistance relationship at students team football players. *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F.Lesgafta.* 2021;8(198):438–442 (In Russ.).
10. Kupchak B.R. Exercise and air-travel-induced alterations in blood hemostasis. *Semin. Thromb. Hemost.* 2018;44(8):756–764. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1670640>
11. Secomb T.W., Pries A.R. The microcirculation: physiology at the mesoscale. *J. Physiol.* 2011;589(5):1047–1052. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.201541>
12. Contarteze R.V., Machado F.B., Gobatto C.A., de Mello M.A.R. Forced swim reliability for exercise testing in rats by a tethered swimming apparatus. *J. Mol. Integr. Physiol.* 2008;151(3):415–422. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2007.03.005>
13. Levitskaya N.G., Vilenskii D.A., Sebensova E.A., Andreeva L.A., Kamenskii A.A., Myasoedov N.F. The effect of semax on the emotional state of white rats in normal and against the background of the action of cholecystokinin-tetrapeptide. *Izvestiya RAN. Ser. Biol. = Biology Bulletin.* 2010;(2):231–237 (In Russ.).
14. Grigor'eva M.E., Lyapina L.A. Regulation of haemostasis system by prolin-containing peptides. Moscow: Kim L.A.; 2018 (In Russ.).
15. Melnikov A.A., Vikulov A.D. Rheological properties of blood in athletes. Yaroslavl: YaGPU; 2008 (In Russ.).
16. Ribeiro J., Almeida-Dias A., Ascensão A., Magalhães J., Oliveira A.R., Carlson J., Mota J., Appell H-J. Duarte Hemostatic response to acute physical exercise in healthy adolescents. *J. Sci. Med. Sport.* 2007;10(3):164–169. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.06.001>
17. Shakhmatov I.I., Alekseeva O.V. The effect of repeated exposure to physical activity on the hemostasis system. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental research.* 2011;10(1):181–185 (In Russ.).
18. Szanto S., Mody T., Zsuzsanna Gyurcsik Z., Babjak L.B., Somogyi V., Barath B., et al. Alterations of selected hemorheological and metabolic parameters induced by physical activity in untrained men and sportsmen. *Metabolites.* 2021;11(12):870. <https://doi.org/10.3390/metabo11120870>
19. Bilski J., Teległów A., Pokorski J., Nitecki J., Pokorska J., Nitecka E., et al. Effects of a meal on the hemorheologic responses to exercise in young males. *Biomed. Res. Int.* 2014;2014:862968. <https://doi.org/10.1155/2014/862968>
20. Brun J.F., Varlet-Marie E., Romain A.J., Guiraudou M., Raynaud de Mauverger E. Exercise hemorheology: Moving from old simplistic paradigms to a more complex picture. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2013;55(1):5–27. <https://doi.org/10.3233/CH-131686>
21. Kostapanos M.S., Florentin M., Elisaf M.S., Mikhailidis D.P. Hemostatic factors and the metabolic syndrome. *Curr. Vasc. Pharmacol.* 2013;11(6):880–905. <https://doi.org/10.2174/1570161113116660171>

22. **Бушуева Н.А., Воробьева Н.А.** Характеристика системы гемостаза при физических нагрузках к физиологическим и патогенетическим изменениям, происходящим в организме. Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Сер. «Медико-биологические науки». 2015;(2):62–70.
23. **Pahkala K., Heinonen O.J., Lagström H., Hakala P., Simell O., Viikari J.S., et al.** Vascular endothelial function and leisure-time physical activity in adolescents. *Circulation*. 2008;118(23):2353–2359. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.791988>
24. **Rigamonti A.E., Bollati V., Pergoli L., Iodice S., De Col A., Tamini S., et al.** Effects of an acute bout of exercise on circulating extracellular vesicles: tissue-, sex-, and BMI-related differences. *Int. J. Obes.* 2020;44(5):1108–1118. <https://doi.org/10.1038/s41366-019-0460-7>
25. **Park S.Y., Kwak Y.S., Pekas E.J.J.** Impacts of aquatic walking on arterial stiffness, exercise tolerance, and physical function in patients with peripheral artery disease: a randomized clinical trial. *Appl. Physiol.* 2019;127(4):940–949. <https://doi.org/10.1152/jap-physiol.00209.2019>
26. **Koenig W., Ernst E.** Exercise and thrombosis. *Coron. Artery Dis.* 2000;11(2):123–127. <https://doi.org/10.1097/00019501-200003000-00006>
27. **Zadow E.K., Wundersitz D.W.T., Hughes D.L., Adams M.J., Kingsley M.I.C., Blacklock H.A., et al.** Coronavirus (COVID-19), coagulation, and exercise: interactions that may influence health outcomes. *Semin. Thromb. Hemost.* 2020;46(7):807–814. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1715094>
28. **van der Vorm L.N., Huskens D., Kicken C.H., Remijn J.A., Roest M., de Laat B., Miszta A.** The effect of repeated bouts of exercise on the hemostasis system. *Semin. Thromb. Hemost.* 2018;44(8):710–722. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1673619>
29. **Mongirdienė A., Kubilius R.** Effect of physical training on indices of platelet aggregation and fibrinogen concentration in patients with chronic heart failure. *Medicina (Kaunas)*. 2015;51(6):343–350. <https://doi.org/10.1016/j.medic.2015.11.001>
30. **Booth F.W., Roberts C.K., Laye M.J.** Lack of exercise is a major cause of chronic diseases. *Compr. Physiol.* 2012;2(2):1143–1211. <https://doi.org/10.1002/cphy.c110025>
31. **Keller K.** Sarcopenia. *Wien. Med. Wochenschr.* 2019;169(7-8):157–172. <https://doi.org/10.1007/s10354-018-0618-2>
32. **Nascimento D.C., Neto F.R., de Santana F.S., da Silva R.A., Dos Santos-Neto L., Balsamo S.** The interactions between hemostasis and resistance training: a review. *Int. J. Gen. Med.* 2012;5:249–254. <https://doi.org/10.2147/IJGM.S29197>
33. **Zderic T.W., Hamilton M.T.** Identification of hemostatic genes expressed in human and rat leg muscles and a novel gene (LPP1/PAP2A) suppressed during prolonged physical inactivity (sitting). *Lipids. Health. Dis.* 2012;12(11):137. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-137>
34. **Arinell K., Blanc S., Welinder K.G., Støen O.G., Evans A.L., Frøbert O.** Physical inactivity and platelet function in humans and brown bears: A comparative study. *Platelets*. 2018;29(1):87–90. <https://doi.org/10.1080/09537104.2017.1336530>
35. **Teerlink J.R.** Endothelins: Pathophysiology and treatment implications in chronic heart failure. *Curr. Heart Fail. Rep.* 2005;2(4):191–197. <https://doi.org/10.1007/BF02696649>
36. **Калинина А.М., Парфёнов А.С., Кондратьева Н.В., Рыжов В.М., Худяков М.Б.** Взаимосвязь факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний и субклинических маркеров функционально-структурных сосудистых нарушений. Профилактическая медицина. 2014;17(3):11–17.
22. **Bushueva N.A., Vorob'eva N.A.** Characteristics of the hemostasis system during physical exertion to physiological and pathogenetic changes occurring in the organism. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser. "Mediko-biologicheskie nauki" = Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series "Medical and Biological Sciences"*. 2015;(2):62–70 (In Russ.).
23. **Pahkala K., Heinonen O.J., Lagström H., Hakala P., Simell O., Viikari J.S., et al.** Vascular endothelial function and leisure-time physical activity in adolescents. *Circulation*. 2008;118(23):2353–2359. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.791988>
24. **Rigamonti A.E., Bollati V., Pergoli L., Iodice S., De Col A., Tamini S., et al.** Effects of an acute bout of exercise on circulating extracellular vesicles: tissue-, sex-, and BMI-related differences. *Int. J. Obes.* 2020;44(5):1108–1118. <https://doi.org/10.1038/s41366-019-0460-7>
25. **Park S.Y., Kwak Y.S., Pekas E.J.J.** Impacts of aquatic walking on arterial stiffness, exercise tolerance, and physical function in patients with peripheral artery disease: a randomized clinical trial. *Appl. Physiol.* 2019;127(4):940–949. <https://doi.org/10.1152/jap-physiol.00209.2019>
26. **Koenig W., Ernst E.** Exercise and thrombosis. *Coron. Artery Dis.* 2000;11(2):123–127. <https://doi.org/10.1097/00019501-200003000-00006>
27. **Zadow E.K., Wundersitz D.W.T., Hughes D.L., Adams M.J., Kingsley M.I.C., Blacklock H.A., et al.** Coronavirus (COVID-19), coagulation, and exercise: interactions that may influence health outcomes. *Semin. Thromb. Hemost.* 2020;46(7):807–814. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1715094>
28. **van der Vorm L.N., Huskens D., Kicken C.H., Remijn J.A., Roest M., de Laat B., Miszta A.** The effect of repeated bouts of exercise on the hemostasis system. *Semin. Thromb. Hemost.* 2018;44(8):710–722. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1673619>
29. **Mongirdienė A., Kubilius R.** Effect of physical training on indices of platelet aggregation and fibrinogen concentration in patients with chronic heart failure. *Medicina (Kaunas)*. 2015;51(6):343–350. <https://doi.org/10.1016/j.medic.2015.11.001>
30. **Booth F.W., Roberts C.K., Laye M.J.** Lack of exercise is a major cause of chronic diseases. *Compr. Physiol.* 2012;2(2):1143–1211. <https://doi.org/10.1002/cphy.c110025>
31. **Keller K.** Sarcopenia. *Wien. Med. Wochenschr.* 2019;169(7-8):157–172. <https://doi.org/10.1007/s10354-018-0618-2>
32. **Nascimento D.C., Neto F.R., de Santana F.S., da Silva R.A., Dos Santos-Neto L., Balsamo S.** The interactions between hemostasis and resistance training: a review. *Int. J. Gen. Med.* 2012;5:249–254. <https://doi.org/10.2147/IJGM.S29197>
33. **Zderic T.W., Hamilton M.T.** Identification of hemostatic genes expressed in human and rat leg muscles and a novel gene (LPP1/PAP2A) suppressed during prolonged physical inactivity (sitting). *Lipids. Health. Dis.* 2012;12(11):137. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-137>
34. **Arinell K., Blanc S., Welinder K.G., Støen O.G., Evans A.L., Frøbert O.** Physical inactivity and platelet function in humans and brown bears: A comparative study. *Platelets*. 2018;29(1):87–90. <https://doi.org/10.1080/09537104.2017.1336530>
35. **Teerlink J.R.** Endothelins: Pathophysiology and treatment implications in chronic heart failure. *Curr. Heart Fail. Rep.* 2005;2(4):191–197. <https://doi.org/10.1007/BF02696649>
36. **Kalinina A.M., Parfenov A.S., Kondrat'eva N.V., Ryzhov V.M., Khudyakov M.B.** Interrelation of risk factors of cardiovascular diseases and subclinical markers of functional and structural vascular disorders. *Profilakticheskaya meditsina*. 2014;17(3):11–17 (In Russ.).

37. Lane-Cordova A.D., Phillips S.A., Baynard T., Woods J.A., Motl R.W., Fernhall B. Effects of ageing and physical activity on blood pressure and endothelial function during acute inflammation. *Exp. Physiol.* 2016;101(7):962–971. <https://doi.org/10.1113/EP085551>
38. Gliemann L., Nyberg M., Hellsten Y. Nitric oxide and reactive oxygen species in limb vascular function: what is the effect of physical activity? *Free Radic. Res.* 2014;48(1):71–83. <https://doi.org/10.3109/10715762.2013.835045>
39. Trinity J.D., Richardson R.S. Physiological Impact and Clinical Relevance of Passive Exercise/Movement. *Sports Med.* 2019;49(9):1365–1381. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01146-1>
40. Lippi G., Maffulli N. Biological influence of physical exercise on hemostasis. *Semin. Thromb. Hemost.* 2009;35(3):269–276. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1222605>
41. El-Sayed M.S., Ali N., El-Sayed A.Z. Haemorheology in exercise and training. *Sports Med.* 2005;35(8):649–670. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535080-00001>
42. Baskurt O.K., Ulker P., Meiselman H.J. Nitric oxide, erythrocytes and exercise. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2011;49(1–4):175–181. <https://doi.org/10.3233/CH-2011-1467>
43. Rea C.J., Foley J.H., Okaisabor O., Sørensen B. FXIII: mechanisms of action in the treatment of hemophilia A. *J. Thromb. Haemost.* 2014;12(2):159–168. <https://doi.org/10.1111/jth.12478>
44. Beckman J.D., Wolberg A.S. Mechanistic rationale for factor XIII cotreatment in haemophilia. *Haemophilia.* 2019;25(6):e377–e378. <https://doi.org/10.1111/jth.13887>
45. Noda N., Ayajiki K., Okamura T. Interaction of endothelial nitric oxide and angiotensin in the circulation. *Pharmacol. Rev.* 2007;59(1):54–87. <https://doi.org/10.1124/pr.59.1.2>
46. Gronek P., Wielinski D., Cyganski P., Rynkiewicz A., Zajac A., Maszczyk A., et al. Review of exercise as medicine in cardiovascular disease: pathology and mechanism. *Aging. Dis.* 2020;11(2):327–340. <https://doi.org/10.14336/AD.2019.0516>
47. Fonseca T.R., Mendes T.T., Ramos G.P., Cabido C.E.T., Morandi R.F., Ferraz F.O., et al. Aerobic training modulates the increase in plasma concentrations of cytokines in response to a session of exercise. *J. Environ. Public. Health.* 2021;16:1304139. <https://doi.org/10.1155/2021/1304139>
48. Suzuki K., Nakaji S., Yamada M., Liu Q., Kurakake S., Okamura M., et al. Impact of a competitive marathon race on systemic cytokine and neutrophil responses. *Sci. Sport. Exerc.* 2003;35(2):348–355. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000048861.57899.04>
49. Бокарев И.Н. Гематология для практического врача. Москва: Медицинское информационное агентство; 2018.
37. Lane-Cordova A.D., Phillips S.A., Baynard T., Woods J.A., Motl R.W., Fernhall B. Effects of ageing and physical activity on blood pressure and endothelial function during acute inflammation. *Exp. Physiol.* 2016;101(7):962–971. <https://doi.org/10.1113/EP085551>
38. Gliemann L., Nyberg M., Hellsten Y. Nitric oxide and reactive oxygen species in limb vascular function: what is the effect of physical activity? *Free Radic. Res.* 2014;48(1):71–83. <https://doi.org/10.3109/10715762.2013.835045>
39. Trinity J.D., Richardson R.S. Physiological Impact and Clinical Relevance of Passive Exercise/Movement. *Sports Med.* 2019;49(9):1365–1381. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01146-1>
40. Lippi G., Maffulli N. Biological influence of physical exercise on hemostasis. *Semin. Thromb. Hemost.* 2009;35(3):269–276. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1222605>
41. El-Sayed M.S., Ali N., El-Sayed A.Z. Haemorheology in exercise and training. *Sports Med.* 2005;35(8):649–670. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535080-00001>
42. Baskurt O.K., Ulker P., Meiselman H.J. Nitric oxide, erythrocytes and exercise. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2011;49(1–4):175–181. <https://doi.org/10.3233/CH-2011-1467>
43. Rea C.J., Foley J.H., Okaisabor O., Sørensen B. FXIII: mechanisms of action in the treatment of hemophilia A. *J. Thromb. Haemost.* 2014;12(2):159–168. <https://doi.org/10.1111/jth.12478>
44. Beckman J.D., Wolberg A.S. Mechanistic rationale for factor XIII cotreatment in haemophilia. *Haemophilia.* 2019;25(6):e377–e378. <https://doi.org/10.1111/jth.13887>
45. Noda N., Ayajiki K., Okamura T. Interaction of endothelial nitric oxide and angiotensin in the circulation. *Pharmacol. Rev.* 2007;59(1):54–87. <https://doi.org/10.1124/pr.59.1.2>
46. Gronek P., Wielinski D., Cyganski P., Rynkiewicz A., Zajac A., Maszczyk A., et al. Review of exercise as medicine in cardiovascular disease: pathology and mechanism. *Aging. Dis.* 2020;11(2):327–340. <https://doi.org/10.14336/AD.2019.0516>
47. Fonseca T.R., Mendes T.T., Ramos G.P., Cabido C.E.T., Morandi R.F., Ferraz F.O., et al. Aerobic training modulates the increase in plasma concentrations of cytokines in response to a session of exercise. *J. Environ. Public. Health.* 2021;16:1304139. <https://doi.org/10.1155/2021/1304139>
48. Suzuki K., Nakaji S., Yamada M., Liu Q., Kurakake S., Okamura M., et al. Impact of a competitive marathon race on systemic cytokine and neutrophil responses. *Sci. Sport. Exerc.* 2003;35(2):348–355. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000048861.57899.04>
49. Bokarev I.N. Hematology for a practical doctor. Moscow: Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo Publ.; 2018 (In Russ.)

Информация об авторах:

Григорьева Марина Евгеньевна*, к.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории защитных систем крови имени проф. Б.А. Кудряшова кафедры физиологии человека и животных биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, 119234, Россия, Москва, Ленинские горы, 1/12. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0469-3943> (+7(495)939-26-08, mgrigorjeva@mail.ru)

Сороколетов Сергей Михайлович, действительный член Академии национальной безопасности, профессор, д.м.н., зам. главного врача по медчасти (терапевтической помощи) ГБУЗ «ГКБ им. С.П. Боткина» ДЗМ, 125284, Россия, Москва, 2-й Боткинский проезд, 5 (sorokoletov-sm@mail.ru)

Коробовский Александр Валентинович, старший преподаватель кафедры управления эксплуатацией ракетно-космических систем Московского авиационного института (национального исследовательского университета), 125993, Россия, Москва, Волоколамское ш., 4 (alkor57@yandex.ru)

Ляпина Людмила Анисимовна, профессор, д.б.н., зав. лабораторией защитных систем крови им. проф. Б.А. Кудряшова кафедры физиологии человека и животных биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, 119234, Россия, Москва, Ленинские горы, 1/12. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8983-652X> (lyapinal@mail.ru)

Information about the authors:

Marina E. Grigorjeva*, Ph.D. (Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Protective Blood Systems named after prof. B.A. Kudryashov, Department of Human and Animal Physiology, Biology Faculty of M.V. Lomonosov Moscow State University, 1/12 Leninsky Gory, Moscow, 119234, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0469-3943> (+7 (495) 939-26-08, mgrigorjeva@mail.ru)

Sergey M. Sorokoletov, Full member of the National Security Academy, Professor, MD, Deputy chief physician for the medical unit (therapeutic care) of S.P. Botkin City Clinical Hospital, 5 2nd Botkinsky proezd, Moscow, 125284, Russia (sorokoletov-sm@mail.ru)

Alexander V. Korobovsky, Senior Lecturer of the Operation Management of Rocket and Space Systems Department of the Moscow Aviation Institute (National Research University), 4 Volokolamskoye sh., 125993, Moscow, Russia (alkor57@yandex.ru)

Ludmila A. Lyapina, Professor, Doctor of Biological Sciences, Head of laboratory of protective blood systems named after prof. B.A. Kudryashov, Department of Human and Animal Physiology, Biology Faculty of M.V. Lomonosov Moscow State University, 1/12 Leninsky Gory, Moscow, 119234, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8983-652X> (lyapinal@mail.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.2>

УДК: 612.17

Тип статьи: Оригинальное исследование / Original Article



Рациональность применения ДНК-диагностики в спортивной кардиологии

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

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

² ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Высокопроизводительное секвенирование ДНК становится неотъемлемой частью медицинской практики, в том числе кардиологии. Последние 20 лет активно изучается роль генов в формировании заболеваний сердечно-сосудистой системы. В настоящее время заболевания сердца с наследственным компонентом принято делить на две большие группы: моногенные синдромы, которые приводят к неблагоприятному исходу, в том числе к внезапной сердечной смерти в молодом возрасте, и полигенные состояния, которые проявляются после 35 лет и сопровождаются ухудшением качества жизни. В профессиональном спорте изменения миокарда практически неизбежны, однако за адаптационными изменениями, которые принято называть «спортивное сердце», могут скрываться первые фенотипические признаки наследственного заболевания. Носительство каузативных генов кардинально меняет подход к ведению атлета: пересматривается его допуск к тренировочно-соревновательной деятельности, обсуждается объем допустимой нагрузки и кратность посещения кардиолога. В настоящей работе мы выделили клинические маркеры — «красные флаги», которые указывали бы на необходимость проведения генетического тестирования на примере спортсменов, проходивших углубленное медицинское обследование в 2021–2022 годах.

Ключевые слова: спортивное сердце, кардиомиопатия, ДНК-диагностика, аритмогенные синдромы, профессиональные спортсмены

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кадыкова А.И., Жолинский А.В., Деев Р.В. Рациональность применения ДНК-диагностики в спортивной кардиологии. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2022;12(4):59–66. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.2>

Поступила в редакцию: 28.08.2022

Принята к публикации: 29.12.2022

Online first: 9.01.2023

Опубликована: 01.02.2023

*Автор, ответственный за переписку

The rationality of using DNA diagnostics in sports cardiology

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

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

² I.I. Mechnikov North-Western State Medical University, Saint-Petersburg, Russia

ABSTRACT

NGS is becoming an integral part of medical practice, including in cardiology. The role of genes in the formation of diseases of the cardiovascular system has been actively studied for the last 20 years. Currently, heart diseases with a hereditary component are usually divided into two large groups: monogenic syndromes that lead to an unfavorable outcome, including sudden cardiac death at a young age, and polygenic conditions that manifest after 35 years and are accompanied by deterioration in the quality of life. In professional sports, changes in the myocardium are almost inevitable, however, the first phenotypic signs of hereditary myocardial disease may be hidden behind adaptive changes, which are commonly called “athlete’s heart”. The carriage of causative genes radically changes the approach to the management of an athlete: his admission to training and competitive activities is reviewed, the volume of permissible load and the frequency of visits to a cardiologist are discussed. In this paper, we tried to identify clinical markers — “red flags” that would indicate the need for genetic testing on the example of athletes who underwent an in-depth medical examination in 2021–2022.

Keywords: athlete's heart, cardiomyopathy, DNA diagnostics, professional athletes

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

For citation: Kadykova A.I., Zholinsky A.V., Deev R.V. The rationality of using DNA diagnostics in sports cardiology. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2022;12(4):59–66. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.2>

Received: 28 August 2022

Accepted: 29 December 2022

Online first: 9 January 2023

Published: 1 February 2023

***Corresponding author**

1. Введение

Сердечно-сосудистая система (ССС) одной из первых адаптируется к интенсивным физическим нагрузкам. Происходящие при этом структурные и функциональные изменения миокарда получили название «спортивное сердце». Однако за маской адаптивно-компенсаторной реакции ССС могут скрываться патологические сдвиги морфофункциональных характеристик миокарда, потенциально приводящие к отсроченным заболеваниям сердца и снижающие результативность спортсмена, или к внезапной сердечной смерти (ВСС) во время тренировочно-соревновательной деятельности. ВСС — это ненасильственный внезапно наступивший летальный исход, который произошел мгновенно или в течение одного часа с момента наступления острых клинических проявлений. ВСС — необратимое событие и не тождественно определению «клиническая смерть». Если событие оказалось обратимым, то правильнее использовать термины «внезапная остановка сердца» или «внезапная остановка кровообращения» [1].

В развитых странах средняя частота ВСС составляет от 1,4 на 100 000 населения в год среди женщин до 6,68 случая среди мужчин [1, 2]. Официальных статистических данных об общей распространенности ВСС среди населения России нет, однако расчетный уровень ВСС в нашей стране составляет примерно 200–250 тысяч человек в год [3]. Установить точную распространенность ВСС среди высококвалифицированных спортсменов непросто, методика подсчета и критерии включения спортсмена в регистры по внезапной смерти отличаются в различных странах [4]. По данным исследований, в среднем частота ВСС среди атлетов составляет 0,6–3,6 случая на 100 000 человек в год, при этом сердечно-сосудистые заболевания, не приводящие к внезапной остановке сердца, являются главной причиной смерти после завершения карьеры [5, 6].

Заболевания ССС, потенциально приводящие к ВСС, разделяют на два типа: кардиомиопатии, протекающие со структурными изменениями миокарда (гипертрофическая, дилатационная), и первичные аритмии (синдром удлиненного интервала QT, синдром Бругада и катехоламинергическая полиморфная желудочковая тахикардия, КПЖТ) [7].

В настоящее время для выявления скрытых заболеваний ССС предложен скрининг на основе оценке факторов риска (опросники), ЭКГ и ЭхоЭКГ [8]. Следует

отметить, что генетическое тестирование на наследственные заболевания ССС не предлагается в этом алгоритме и спортсменам, как правило, принято выполнять молекулярные исследования посмертно, а не использовать в рутинной практике современные генетические методы на доклиническом этапе. Большинство моногенных заболеваний ССС наследуются по аутосомно-доминантному типу и проводимое тестирование полезно не только самому спортсмену, но также его родственникам, у которых еще не манифестировало заболевание.

Вероятно, генетическое тестирование в спорте высоких достижений не получило широкого распространения по ряду причин: 1) не определены критерии изменений со стороны ССС у спортсменов, так называемые «красные флаги», согласно которым необходимо провести молекулярное тестирование для верификации диагноза и стратификации рисков; 2) не определено предполагаемое количество тестирований в год и источник финансирования; 3) не решены различные этические дилеммы и количество медицинского вмешательства при обнаружении патогенных и вероятно патогенных вариантов.

Цель настоящей работы — расчет распространенности различных заболеваний со стороны ССС среди спортсменов и определение «красных флагов» для направления на проведение кардиогенетических исследований.

2. Материал и методы

Были проанализированы результаты углубленного медицинского обследования (УМО) за 2021–2022 годы 12 089 спортсменов, являющихся участниками спортивных сборных команд России (6867 мужчин и 5222 женщины). Была изучена распространенность отклонений со стороны ССС по кодам международной классификации болезней 10-го пересмотра (МКБ-10), вынесенных в сводное заключение последнего УМО (табл. 1). Статистический анализ проводили с использованием программы IBM SPSS Statistic (26-я версия, SPSS: An IBM Company, США). Количественные показатели были оценены на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Колмогорова — Смирнова. В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывали с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1–Q3). Категориальные данные приведены с указанием абсолютных значений и процентных долей.

Таблица 1

Диагнозы, вынесенные в сводное заключение УМО и включенные в анализ

Table 1

Diagnoses made in the summary conclusion of the UMO and included in the analysis

| Диагноз | Код по МКБ-10 |
|---|------------------------------------|
| Открытый артериальный проток | Q25.0 |
| Другие формы хронической ишемической болезни сердца | I25.8 |
| Атеросклероз | I70.0, I70.1, I70.2, I70.8, I70.9, |
| Другие врожденные аномалии сердечных камер и соединений | Q20.8 |
| Другие врожденные аномалии сердечной перегородки | Q21.8 |
| Дефект предсердной перегородки | Q21.1 |
| Пролапс [пролабирование] митрального клапана | I34.1 |
| Аортальная (клапанная) недостаточность | I35.1 |
| Расстройство вегетативной [автономной] нервной системы неуточненное | G90.9 |
| Отклонения от нормы, выявленные при проведении функциональных исследований сердечно-сосудистой системы | R94.3 |
| Дилатационная кардиомиопатия | I42.0 |
| Другие, неуточненные кардиомиопатии | I42.8, I42.9 |
| Кардиомиопатия | I42 |
| Другая гипертрофическая кардиомиопатия | I42.2 |
| Расслоение аорты (любой части) | I71.0 |
| Аневризма аорты неуточненной локализации без упоминания о разрыве | I71.9 |
| Обструктивная гипертрофическая кардиомиопатия | I42.1 |
| Кардиомиопатия при болезнях, классифицированных в других рубриках | I43, I43.8 |
| Кардиомиопатия при метаболических нарушениях | I43.1 |
| Кардиомиопатия, обусловленная воздействием лекарственных средств и других внешних факторов | I42.7 |
| Блокада передней ветви левой ножки пучка | I44.4 |
| Другие уточненные нарушения проводимости | I45.8 |
| Двухпучковая блокада | I45.2 |
| Блокада правой ножки пучка | I45.0 |
| Предсердно-желудочковая блокада первой степени | I44.0 |
| Предсердно-желудочковая блокада второй степени | I44.1 |
| Другие врожденные аномалии легочной артерии | Q25.7 |
| Фибрилляция и трепетание предсердий | I48 |
| Синусовая тахикардия | R00.0 |
| Пароксизмальная тахикардия неуточненная | I47.9 |
| Другие уточненные нарушения сердечного ритма | I49.8 |
| Нарушение сердечного ритма неуточненное | I49.9 |
| Синдром слабости синусового узла | I49.5 |
| Преждевременная деполяризация желудочков | I49.3 |
| Преждевременная деполяризация предсердий | I49.1 |
| Другая и неуточненная преждевременная деполяризация | I49.4 |
| Синдром преждевременного возбуждения | I45.6 |
| Нарушение проводимости неуточненное | I45.9 |
| Гипертензивная [гипертоническая] болезнь с преимущественным поражением сердца без (застойной) сердечной недостаточности | I11.9, I10 |

3. Результаты исследования и их обсуждение

Средний возраст обследуемых спортсменов составил 21 год. Абсолютное число атлетов с отклонениями в состоянии ССС — 5491 человек (45,4 %). Долевое отношение выявленной патологии к количеству прошедших обследование атлетов приведено на рисунке 1.

Заболевания, изменяющие геометрию миокарда, были отмечены у 2763 спортсменов (22,9%). Наиболее распространенной патологией ССС в этой группе является «Отклонения от нормы, выявленные при проведении функциональных исследований сердечно-сосудистой системы» (R94.3). По данным последнего УМО

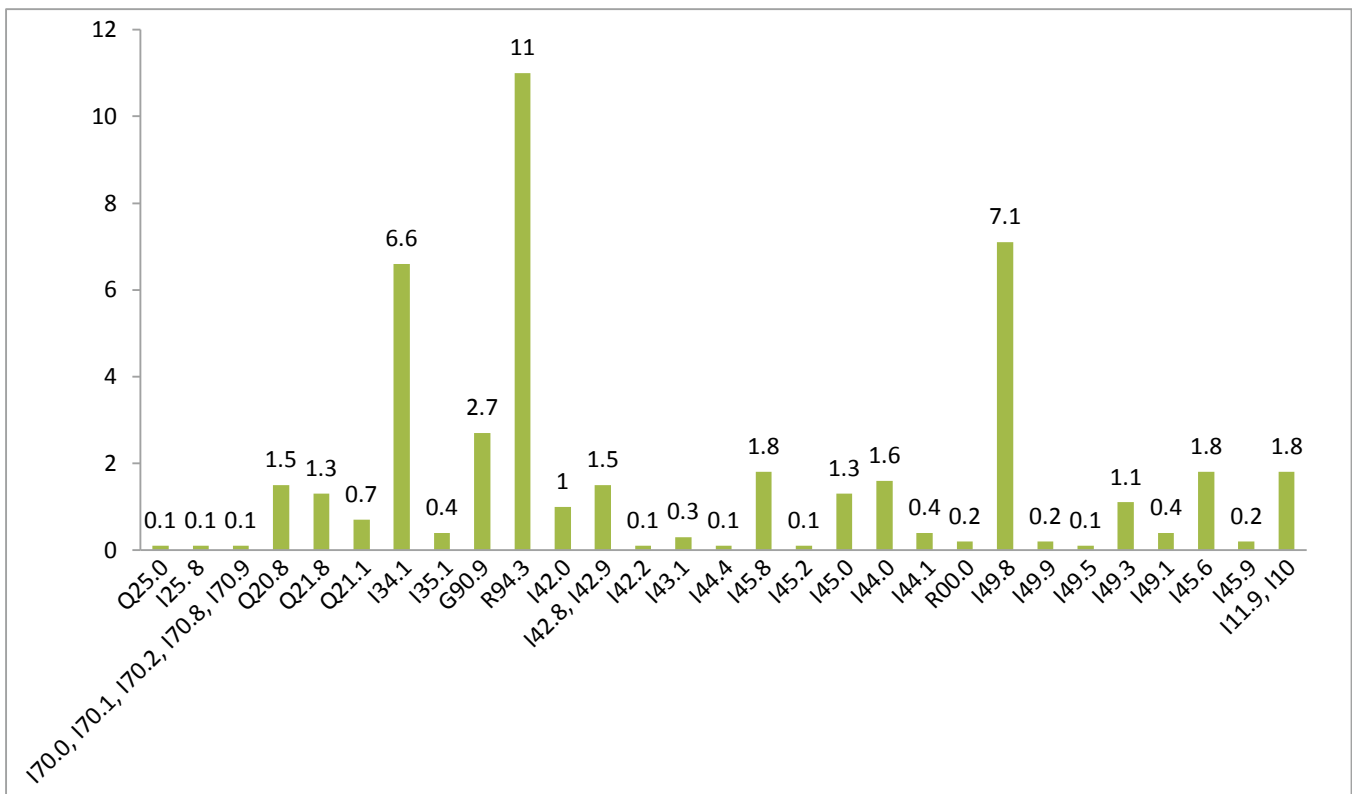


Рис. 1. Структура заболеваний ССС среди спортсменов, проходивших УМО в 2021–2022 годах, в процентах
Fig. 1. The structure of cardiovascular diseases among athletes who underwent UMO in 2021–2022, in percents

такой диагноз был выставлен 1331 атлету (11 %). Как правило, под этот шифр попадают различные клинические состояния, выявляемые у спортсменов: эксцентрическая или концентрическая гипертрофия миокарда левого желудочка, увеличение индекса объема правого предсердия и др. В большинстве случаев эти морфометрические изменения миокарда являются следствием адаптации ССС к интенсивным физическим нагрузкам. Однако среди этой группы могут оказаться спортсмены с формирующейся гипертрофической кардиомиопатией (ГКМП), которая в 36 % случаев является причиной ВСС атлетов [9, 10]. Атлеты из «серой зоны» с толщиной передней стенки левого желудочка 13–15 мм и конечным диастолическим размером сердца 56–70 мм являются кандидатами для проведения генетического тестирования на носительство патогенных или вероятно патогенных генов, ассоциированных с развитием наследственных заболеваний сердца, особенно если не наступает регрессия изменений миокарда после прекращения физической нагрузки.

Помимо ГКМП заболеваниями, в первую очередь изменяющими морфометрические показатели миокарда с известным генетическим компонентом, являются дилатационная кардиомиопатия (ДКМП, I42.0), аневризма (I71.9) и расслоение аорты (I71.0). Из 12 089 человек такие диагнозы наблюдали у трех спортсменов: ДКМП выставлено атлету, специализирующемуся в парусном спорте, аневризма аорты зафиксирована у двух спортсменов

из параолимпийских сборных, причем один из параолимпийцев не был допущен к тренировочно-соревновательной деятельности и был направлен к кардиохирургу для определения дальнейшей тактики ведения ввиду риска расслоения аневризма аорты. На предыдущем УМО, которое было проведено в 2019 году, у этого атлета по данным ЭхоКГ было выявлено расширение луковицы аорты, однако в сводное заключение это не было вынесено и спортсмен не попал под особое наблюдение. Следует отметить, что помимо аневризмы аорты у атлета наблюдаются признаки системного вовлечения соединительной ткани в формирование марфаноподобного фенотипа: высокий рост, миопия высокой степени, подвывих хрусталика, искривление носовой перегородки, сколиоз. Наличие совокупности этих клинических признаков являются «красным флагом» для проведения генетического тестирования. При проведении своевременного молекулярного тестирования до формирования аневризмы аорты и риска ее расслоения, мог быть обнаружен каузативный ген, и тактика введения спортсмена была бы совершенно иной: для профилактики осложнений со стороны ССС была бы предложена комбинация из бета-блокаторов и блокаторов рецепторов ангиотензина [11].

Нарушения ритма и проводимости наблюдали у 1986 спортсменов (16,4 %) и преимущественно, был выставлен диагноз «Другие уточненные нарушения сердечного ритма» (I49.8). Под этот шифр попали

различные изменения на ЭКГ, такие как инверсия зубца Т, удлинение и дисперсия интервала QT и укорочение интервала PQ. Удлинение интервала QT — важный диагностический предиктор развития ВСС. Это изменение на ЭКГ может привести к феномену *torsade de pointes* — полиморфной желудочковой тахикардии, которая может перейти в фибрилляцию желудочков и остановку сердца. При удлинении интервала QT > 480 мс генетическое тестирование является ключевым диагностическим тестом, способным дифференцировать синдром удлиненного интервала QT (LQTS) и хроническое перенапряжение ССС [12]. Однако, несмотря на высокую диагностическую значимость ДНК-диагностики для LQTS, эффективность и прогностическая значимость не столь

высока и для различных наследственных заболеваний ССС сильно варьируется (табл. 2).

Структура заболеваемости ССС в этом исследовании коррелирует с другими работами [14–16]. Схожесть структуры отклонений со стороны ССС у спортсменов позволяет выделить нам атлетов из различных клиник Федерального медико-биологического агентства (ФМБА России), которым необходимо провести генетическое тестирование для предотвращения неблагоприятных исходов. Основываясь на литературных данных и Европейском руководстве по спортивной кардиологии, были выделены категории спортсменов, для которых ДНК-диагностика будет максимально эффективна и целесообразна, а также атлетов, для которых

Таблица 2

Эффективность ДНК-диагностики при различных наследственных заболеваниях сердца

Table 2

The effectiveness of DNA diagnostics in various hereditary heart diseases

| Заболевание | Диагностическая значимость | Прогностическая значимость | Терапевтическая значимость | Влияние на рекомендации по допуску к интенсивным физическим нагрузкам |
|------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---|
| LQTS | +++ | +++ | +++ | +++ |
| КПЖТ | +++ | + | + | + |
| ГКМП | ++ | + | - | - |
| Аритмогенная кардиомиопатия (АКМП) | ++ | ++ | + | +++ |

Примечание: — польза не известна или отсутствует, + польза ограничена, ++ полезно в некоторых видах спорта, +++ явная польза в большинстве видов спорта. Рекомендации по допуску к интенсивным физическим нагрузкам взято из [13].

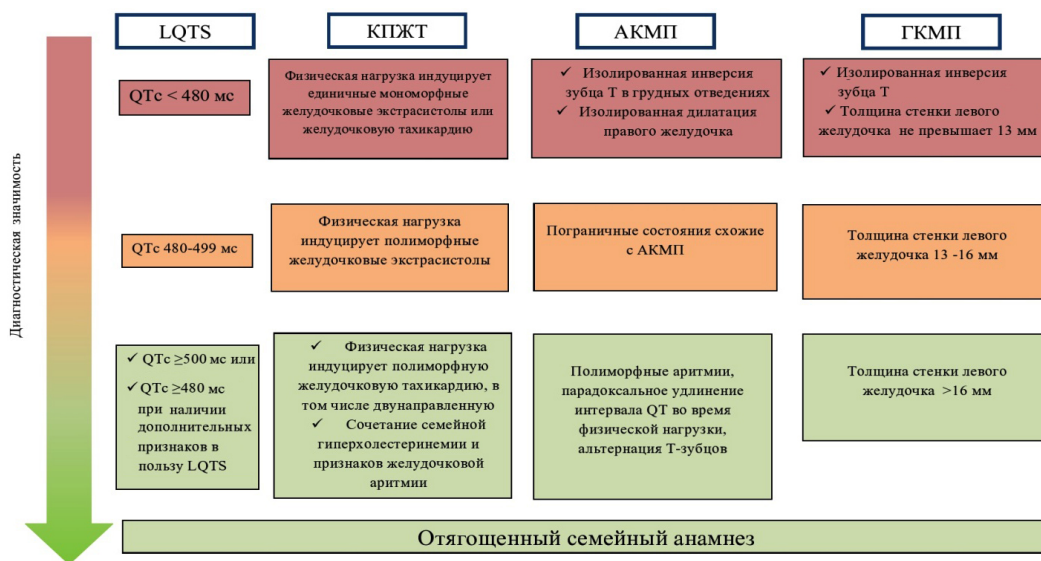


Рис. 2. Клинические маркеры, определяющие срочность и необходимость генетического тестирования на предмет наследственных заболеваний ССС. Зеленым выделены состояния, диагностика которых необходима в первую очередь, оранжевым — во вторую, красным — в третью

Fig. 2. Clinical markers that determine the urgency and necessity of genetic testing for hereditary cardiovascular diseases. Green highlights the conditions whose diagnosis is necessary in the first place, orange — in the second, red — in the third

молекулярная диагностика не является первостепенной (рис. 2) [17, 18].

В условиях ограниченного финансирования рационально проводить генетическое тестирование для поиска наследственных заболеваний сердца спортсменам с уже выявленными клиническими отклонениями в состоянии ССС, которые не устраняются в период восстановления после физических нагрузок. Особый интерес представляют спортсмены из «серой зоны», чьи изменения в ССС еще не достигают критериев кардиомиопатии, но они уже больше, чем при спортивном сердце. Необходимо проведение дальнейших корреляционных исследований между генотипом и клиническими изменениями ССС спортсменов из «серой зоны» с целью дифференциальной диагностики скрытого наследственного заболевания миокарда от адаптационно-компенсаторных реакций организма.

4. Выводы

Почти у половины спортсменов, проходивших УМО в 2021–2022 годах, зафиксировано отклонение в состоянии ССС. Часть этих состояний свидетельствуют об адаптации ССС к интенсивным физическим нагрузкам и не приведут в дальнейшем к нежелательным событиям, в том числе к ВСС. Однако некоторые структурные изменения сердца и нарушения проводимости могут являться первыми клиническими признаками

Благодарности

Статья опубликована в рамках выполнения гранта: изучение генетических маркеров, лимитирующих и определяющих успешность соревновательной

Вклад авторов:

Кадыкова Анастасия Игоревна — существенный вклад в замысел и дизайн исследования, сбор данных или анализ и интерпретацию данных.

Жолинский Андрей Владимирович — окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Деев Роман Вадимович — окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

наследственного заболевания миокарда. Особенность наследственных заболеваний ССС заключается в пенетрантности (наличие доминантного патогенного варианта без развития заболевания или наличие клинически стертых фенотипических проявлений) — даже в пределах одной семьи у носителей одного и того же каузативного гена разная выраженность клинических симптомов и тяжесть течения. Эта вариабельность фенотипических проявлений приводит к трудностям своевременной диагностики наследственных заболеваний ССС, выбору тактики ведения и прогнозирования исходов.

Однако отбор спортсменов, наиболее подходящих под критерии носительства наследственного заболевания ССС, позволит вовремя провести им подтверждающую ДНК-диагностику, на основе которой может быть пересмотрена периодичность посещения кардиолога и назначены дополнительные методы исследования и профилактическая терапия. Также при обнаружении каузативного гена к молекулярной диагностике могут быть привлечены родственники спортсмена; так, они тоже могут оказаться малосимпатичными носителями с высоким риском развития ВСС. Длительное наблюдение за такими атлетами позволит изучить взаимосвязь между найденным вариантом и фенотипом, а также модифицирующей роли интенсивной физической нагрузки в развитии тяжести заболевания.

деятельности, профилактика нежелательных последствий такой деятельности для жизни и здоровья спортсменов; шифр — «МГИ-22» 67.001.22.800.

Authors' contributions:

Anastasia I. Kadykova — substantial contributions to study design, data collection, or data analysis and interpretation.

Andrey V. Zholinsky — final approval of the article version for publication.

Roman V. Deev — final approval of the article version for publication.

Список литературы

1. Шляхто Е.В., Арутюнов Г.П., Беленков Ю.Н., Бойцов С.А., Ардашев А.В., и др. Национальные Рекомендации по определению риска и профилактике внезапной сердечной смерти. 2-е издание. Москва: Медпрактика-М; 2018.
2. Kumar A., Avishay D.M., Jones C.R. Shaikh J.D., Kaur R., Aljadah M., et al. Sudden cardiac death: epidemiology, pathogenesis and management. *Rev. Cardiovasc. Med.* 2021; 22(1):147–158. <https://doi.org/10.31083/j.rcm.2021.01.207>
3. Ревিশвили А.Ш., Неминушый Н.М., Баталов Р.Е., Голицын С.П., Давтян К.В., Думпис Я.Ю., и др. Всероссийские клинические рекомендации по контролю над риском внезапной остановки сердца и внезапной сердечной смерти, профилактике и оказанию первой помощи. *Вестник аритмологии.* 2017;(89):2–104.

References

1. Shlyakhto E.V., Arutyunov G.P., Belenkov Yu.N., Boitsov S.A., Ardasev A.V., et al. Russian guidelines for sudden cardiac death risk assessment and prevention. 2- ed. Moscow: Medpraktika-M Publ.; 2018 (In Russ.).
2. Kumar A., Avishay D.M., Jones C.R. Shaikh J.D., Kaur R., Aljadah M., et al. Sudden cardiac death: epidemiology, pathogenesis and management. *Rev. Cardiovasc. Med.* 2021; 22(1):147–158. <https://doi.org/10.31083/j.rcm.2021.01.207>
3. Revishvili A.Sh., Neminushchy N.M., Batalov R.E., Golitsyn S.P., Davtyan K.V., Dumpis Ya.Yu., et al. All-Russian clinical guidelines for the control of the risk of sudden cardiac arrest and sudden cardiac death, prevention and first aid. *Vestnik aritmologii = Journal of Arrhythmology.* 2017;(89):2–104 (In Russ.).

4. **Макаров Л.М.** Спорт и внезапная смерть у детей. Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2017;62(1):40–46. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2017-62-1-40-46>
5. **Corrado D., Basso C., Pavei A., Michieli P., Schiavon M., Thiene G.** Trends in sudden cardiovascular death in young competitive athletes after implementation of a preparticipation screening program. *JAMA*. 2006;296(13):1593–1601. <https://doi.org/10.1001/jama.296.13.1593>
6. **Maron B.J., Doerer J.J., Haas T.S., Tierney D.M., Mueller F.O.** Sudden deaths in young competitive athletes: analysis of 1866 deaths in the United States, 1980–2006. *Circulation*. 2009; 119(8):1085–1092. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.804617>
7. **Bezzina C.R., Lahrouchi N., Priori S.G.** Genetics of sudden cardiac death. *Circ. Res.* 2015;116(12):1919–1936. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.116.304030>
8. **Смоленский А.В., Михайлова А.В.** Кардиология: Национальное руководство. Спорт и сердечно-сосудистые заболевания. Кардиология: Новости. Мнения. Обучение. 2019;4(23):62–65.
9. **Lampert R., Zipes D.P.** Updated Recommendations for Athletes with Heart Disease. *Annu. Rev. Med.* 2018;69:177–189. <https://doi.org/10.1146/annurev-med-041316-090402>
10. **Hajduczuk A.G., Ruge M., Emery M.S.** Risk Factors for Sudden Death in Athletes, Is There a Role for Screening? *Curr. Cardiovasc. Risk Rep.* 2022;16(10):97–109. <https://doi.org/10.1007/s12170-022-00697-9>
11. **Kang Y.N., Chi S.C., Wu M.H., Chiu H.H.** The effects of losartan versus beta-blockers on cardiovascular protection in marfan syndrome: A systematic review and meta-analysis. *J. Formos. Med. Assoc.* 2020;119(1 Pt 1):182–190. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2019.03.018>
12. **Юнисова А.С.** Спортивное сердце и дисперсия QT. Академия медицины и спорта. 2021;2(4):20–23. <https://doi.org/10.15829/2712-7567-2021-38>
13. **Ackerman M.J., Priori S.G., Willems S., Berul C., Brugada R., Calkins H., et al.** HRS/EHRA expert consensus statement on the state of genetic testing for the channelopathies and cardiomyopathies this document was developed as a partnership between the Heart Rhythm Society (HRS) and the European heart rhythm association (EHRA). *Heart Rhythm*. 2011;8(8):1308–1339. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2011.05.020>
14. **Pelliccia A., Solberg E.E., Papadakis M., et al.** Recommendations for participation in competitive and leisure time sport in athletes with cardiomyopathies, myocarditis, and pericarditis: position statement of the sport cardiology section of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). *Eur. Heart. J.* 2019;40(1):19–33. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy730>
15. **Бадтиева В.А., Теняева Е.А., Сичинава Н.В., Турова Е.А., Трухачева Н.В., Афонина В.И. и др.** Анализ динамики и структуры заболеваемости спортсменов сборных команд Москвы по результатам углубленного медицинского обследования. Спортивная медицина: наука и практика. 2022;12(2):22–31. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.2.1>
16. **Harmon K.G., Asif I.M., Maleszewski J.J., Owens D.S., Prutkin J.M., Salerno J.C., et al.** Incidence, Cause, and Comparative Frequency of Sudden Cardiac Death in National Collegiate Athletic Association Athletes: A Decade in Review. *Circulation*. 2015;132(1):10–19. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.015431>
17. **Pelliccia A., Sharma S., Gati S., Bäck M., Börjesson M., Caselli S., et al.** 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and
4. **Makarov L.M.** Sport and sudden death in children. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii = Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2017;62(1):40–46 (In Russ.). <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2017-62-1-40-46>
5. **Corrado D., Basso C., Pavei A., Michieli P., Schiavon M., Thiene G.** Trends in sudden cardiovascular death in young competitive athletes after implementation of a preparticipation screening program. *JAMA*. 2006;296(13):1593–1601. <https://doi.org/10.1001/jama.296.13.1593>
6. **Maron B.J., Doerer J.J., Haas T.S., Tierney D.M., Mueller F.O.** Sudden deaths in young competitive athletes: analysis of 1866 deaths in the United States, 1980–2006. *Circulation*. 2009; 119(8):1085–1092. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.804617>
7. **Bezzina C.R., Lahrouchi N., Priori S.G.** Genetics of sudden cardiac death. *Circ. Res.* 2015;116(12):1919–1936. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.116.304030>
8. **Smolensky A.V., Mikhailova A.V.** Cardiology: National Guidelines. Sports and cardiovascular diseases. *Kardiologiya: Novosti. Mneniya. Obuchenie = Cardiology: News. Opinions. Training*. 2019;4(23):62–65 (In Russ.).
9. **Lampert R., Zipes D.P.** Updated Recommendations for Athletes with Heart Disease. *Annu. Rev. Med.* 2018;69:177–189. <https://doi.org/10.1146/annurev-med-041316-090402>
10. **Hajduczuk A.G., Ruge M., Emery M.S.** Risk Factors for Sudden Death in Athletes, Is There a Role for Screening? *Curr. Cardiovasc. Risk Rep.* 2022;16(10):97–109. <https://doi.org/10.1007/s12170-022-00697-9>
11. **Kang Y.N., Chi S.C., Wu M.H., Chiu H.H.** The effects of losartan versus beta-blockers on cardiovascular protection in marfan syndrome: A systematic review and meta-analysis. *J. Formos. Med. Assoc.* 2020;119(1 Pt 1):182–190. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2019.03.018>
12. **Yunisova A.S.** Sports heart and QT variance. *Akademiya meditsiny i sporta = Academy of Medicine and Sports*. 2021;2(4):20–23 (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/2712-7567-2021-38>
13. **Ackerman M.J., Priori S.G., Willems S., Berul C., Brugada R., Calkins H., et al.** HRS/EHRA expert consensus statement on the state of genetic testing for the channelopathies and cardiomyopathies this document was developed as a partnership between the Heart Rhythm Society (HRS) and the European heart rhythm association (EHRA). *Heart Rhythm*. 2011;8(8):1308–1339. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2011.05.020>
14. **Pelliccia A., Solberg E.E., Papadakis M., et al.** Recommendations for participation in competitive and leisure time sport in athletes with cardiomyopathies, myocarditis, and pericarditis: position statement of the sport cardiology section of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). *Eur. Heart. J.* 2019;40(1):19–33. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy730>
15. **Badtieva V.A., Tenyaeva E.A., Sichinava N.V. et al.** Analysis of the dynamics and structure of morbidity of athletes of the national teams of Moscow based on the results of an in-depth medical examination. *Sports medicine: science and practice*. 2022;12(2):22–31 (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.2.1>
16. **Harmon K.G., Asif I.M., Maleszewski J.J., Owens D.S., Prutkin J.M., Salerno J.C., et al.** Incidence, Cause, and Comparative Frequency of Sudden Cardiac Death in National Collegiate Athletic Association Athletes: A Decade in Review. *Circulation*. 2015;132(1):10–19. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.015431>
17. **Pelliccia A., Sharma S., Gati S., Bäck M., Börjesson M., Caselli S., et al.** 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and

exercise in patients with cardiovascular disease. *Eur. Heart J.* 2021;42(1):17–96. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa605>

18. **Gray B., Semsarian C.** Utility of genetic testing in athletes. *Clin. Cardiol.* 2020;43(8):915–920. <https://doi.org/10.1002/clc.23289>

exercise in patients with cardiovascular disease. *Eur. Heart J.* 2021;42(1):17–96. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa605>

18. **Gray B., Semsarian C.** Utility of genetic testing in athletes. *Clin. Cardiol.* 2020;43(8):915–920. <https://doi.org/10.1002/clc.23289>

Информация об авторах:

Кадькова Анастасия Игоревна*, врач клинической лабораторной диагностики ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Россия, 121059, Москва, ул. Б. Дорогомиловская, 5. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0267-9761> (+7 960-878-26-17; KadykovaAI@sportfmba.ru)

Жолинский Андрей Владимирович, к.м.н., директор ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Россия, Москва, ул. Б. Дорогомиловская, 5. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0267-9761> (+7 (499) 95-68-53; ZholinskiiAV@sportfmba.ru)

Деев Роман Вадимович, к.м.н., доцент, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», 121059, Россия, Москва, ул. Б. Дорогомиловская, 5 (+7 (499) 795-68-53); заведующий кафедрой патологической анатомии ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Россия, 191015, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8389-3841> (Roman.Deev@szgmu.ru)

Information about the authors:

Anastasia I. Kadykova*, doctor of clinical laboratory diagnostics of the Federal Research and Clinical Center of Sports Medicine and Rehabilitation of Federal Medical Biological Agency, 5 Bolshaya Dorogomilovskaya str., Moscow, 121059, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0267-9761> (+7 960-878-26-17; KadykovaAI@sportfmba.ru)

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

Roman V. Deev, Ph.D. (Medicine), lead researcher of Federal Research and Clinical Center of Sports Medicine and Rehabilitation of Federal Medical Biological Agency, 5 Bolshaya Dorogomilovskaya str., Moscow, 121059, Russia; Head of the Department of Pathological Anatomy of I.I. Mechnikov North-Western State Medical University, 41 Kirochnaya str., St. Petersburg 191015, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8389-3841> (Roman.Deev@szgmu.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Особенности динамики эритроцитарных показателей в зависимости от уровня физической активности в юношеском возрасте

Саранчина Ю.В.*[†], Тюкпиеков М.Б., Матвеева Е.В.

ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», Абакан, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучение динамики эритроцитарных показателей у студентов 2-го и 3-го курса с разным уровнем физической активности.

Материалы и методы: материалом послужила венозная кровь 56 студентов: 29 девушек и 27 юношей в возрасте от 18 до 22 лет. С помощью анкетирования все обследуемые были разделены на 3 группы в зависимости от уровня физической тренированности (УФТ). Определяли следующие параметры: количество и средний объем эритроцитов, концентрацию гемоглобина, гематокрит, среднее содержание и концентрацию гемоглобина в эритроците, ширину распределения эритроцитов по объему.

Результаты: у студентов с высоким УФТ наибольшие значения показателей наблюдались по уровню гемоглобина, количеству эритроцитов и гематокриту. Со средним УФТ наибольшие значения регистрировались по показателям среднего объема эритроцитов, среднего содержания и концентрации гемоглобина в эритроците и размеров эритроцитов. На 2-м курсе преобладали высокие значения гемоглобина, количества эритроцитов и гематокрита при высоком УФТ и показателей среднего объема эритроцитов, среднего содержания гемоглобина в эритроците и ширины распределения эритроцитов по объему при среднем УФТ. На 3-м курсе у юношей наблюдалось повышение значений показателей гемоглобина, эритроцитов и гематокрита, среднего содержания гемоглобина в эритроцитах при низком УФТ и повышение среднего объема эритроцитов и ширины распределения эритроцитов по объему при среднем уровне. Статистически значимые различия были обнаружены между девушками 2-го и 3-го курса по показателю ширины распределения эритроцитов по объему при среднем УФТ.

Заключение: с повышением УФТ происходит повышение эритроцитарных показателей, что обусловлено адаптацией организма к физической нагрузке. У студентов 2-го и 3-го курса изменение эритроцитарных показателей с разным уровнем физической активности носили разнонаправленный характер. Динамика эритроцитарных показателей зависит от уровня физической нагрузки, пола и курса обучения.

Ключевые слова: эритроциты, гемоглобин, эритропоэз, физическая активность, юноши, девушки

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Саранчина Ю.В., Тюкпиеков М.Б., Матвеева Е.В. Особенности динамики эритроцитарных показателей в зависимости от уровня физической активности в юношеском возрасте. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2022;12(4):67–76. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.5>

Поступила в редакцию: 17.01.2022

Принята к публикации: 13.10.2022

Online first: 25.12.2022

Опубликована: 01.02.2023

*Автор, ответственный за переписку

Features of the dynamics of erythrocyte parameters depending on the level of physical activity in adolescence

Yuliya V. Saranchina*, Mihail B. Tyukpiekov, Elizaveta V. Matveeva

Katanov Khakass State University, Abakan, Russia

ABSTRACT

The object of the study: to study the dynamics of erythrocyte parameters in 2nd and 3rd year students with different levels of physical activity.

Materials and methods: the venous blood of 56 students served as the material: 29 girls and 27 boys aged 18 to 22 years. With the help of a questionnaire, all the subjects were divided into 3 groups depending on the level of physical fitness (LPF). The red blood cells (RBC) and mean corpuscular volume (MCV), the concentration of hemoglobin (HGB), hematocrit (HCT), the mean cell hemoglobin (MCH), mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC), the red cell distribution of width (RDW) were determined.

Results: the highest values of indicators HGB, RBC and HCT were observed in students with high LPF. The highest values were recorded of the MCV, MCH, MCHC and RDW With an average LPF. High values of HGB, RBC and HCT with high LPF and indicators of the MCV, MCHC and RDW with average LPF prevailed in the 2nd year. Young men had an increase in the values of HGB, RBC, HCT, MCH with low LPF and an increase in MCV and RDW at an average level in the 3rd year. Statistically significant differences were found between the 2nd and 3rd year girls in terms of RDW with an average LPF.

Conclusion: with an increase in LPF, there is an increase in erythrocyte parameters. The dynamics of erythrocyte parameters depends on the level of physical activity, gender and the course of study.

Keywords: red blood cells, hemoglobin, erythropoiesis, physical activity, boys, girls

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

For citation: Saranchina Yu.V., Tyukpiekov M.B., Matveeva E.V. Features of the dynamics of erythrocyte parameters depending on the level of physical activity in adolescence. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2022;12(4):67–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.5>

Received: 17 January 2022

Accepted: 13 October 2022

Online first: 25 December 2022

Published: 1 February 2023

*Corresponding author

1. Введение

Студенты представляют собой категорию населения, находящуюся в группе риска по развитию различных заболеваний [1–3]. Так как при обучении в вузе перед ними стоит непростая задача — адаптация к изменившимся условиям жизни в связи с появлением повышенных умственных и психоэмоциональных нагрузок. Кроме того, в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки, которая привела к появлению возможности дистанционного обучения, уровень малоподвижного образа жизни увеличился. Однако заболеваемость развивается не у всех студентов, а в основном у тех, которые пренебрегает принципами здорового образа жизни [4]. В ходе напряженной учебной деятельности происходит ослабление защитных сил организма студентов [5].

Известно, что одним из принципов успешной работоспособности человека является чередование умственной и физической активности. А систематическая умеренная физическая нагрузка способствует улучшению работы всего организма и повышению его резистентности. Для адаптации к воздействию любого стрессового фактора в организме происходит активация защитно-компенсаторных процессов, которые проявляются как на клеточном, органном, так и на системном уровнях. Прежде всего в основе формирования адаптивных механизмов организма задействованы нервная, эндокринная и сердечно-сосудистая системы. Особое место в реализации адаптивных механизмов к физической нагрузке отводится системе эритроцитов [6–8], так как именно эритроциты обеспечивают транспорт кислорода и питательных веществ работающим мышцам, а также отток продуктов обмена из них [9–11]. С одной стороны, интенсивные физические нагрузки могут привести к изменению реологических свойств крови и дальнейшему развитию нарушений со стороны сердечно-сосудистой системы. С другой стороны, умеренные систематические физические нагрузки, наоборот, способствуют повышению резистентности системы эритроцитов к окислительному стрессу и соответственно организма в целом [11, 12].

Особый интерес для изучения представляют эритроцитарные индексы у студентов, у которых вследствие систематических умственных и психоэмоциональных нагрузок организм испытывает напряжение компенсаторно-приспособительных процессов, протекающее на фоне снижения физической нагрузки. В связи с чем целью данного исследования является изучение динамики эритроцитарных показателей у студентов 2-го и 3-го курса специальности «лечебное дело» с разным уровнем физической активности.

2. Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужила венозная кровь, взятая однократно у студентов 2-го и 3-го курса специальности «лечебное дело». Всего было обследовано 56 человек: 29 девушек и 27 юношей. Из них 27 человек 2-го курса (медиана возраста составила 19,0 года) и 29 человек 3-го курса (медиана возраста составила 20,0 года). Все обследуемые дали согласие на проведение исследования и подписали информированное согласие. Для формирования групп были разработаны следующие критерии: согласие принять участие в исследовании; отсутствие заболеваний системы крови (анемия); отсутствие спортивного разряда; отсутствие сердечно-сосудистых заболеваний; возраст от 18 до 22 лет; отсутствие вредных привычек (курение, употребление алкоголя более 5 мг/мл в сутки). Критериями исключения были следующие: отсутствие желания участвовать в исследовании; наличие заболеваний системы крови; наличие спортивного разряда; наличие сердечно-сосудистых заболеваний; наличие вредных привычек; возраст, не соответствующий диапазону от 18 до 22 лет.

Оценку уровня физической активности проводили методом анкетирования с помощью самостоятельно разработанной анкеты. Анкета включала вопросы, направленные на выявление двигательной активности респондента. Интерпретацию результатов анкетирования проводили по следующей шкале: 18–15 баллов — высокий уровень физической активности (систематические

занятия спортом в секциях или тренажерных залах), 14–8 баллов — средний уровень (активный образ жизни, но без систематических занятий спортом), 7–0 баллов — низкий уровень (малоподвижный образ жизни, гиподинамия). По количеству баллов, набранных в результате анкетирования, респонденты были разделены на 3 соответствующие группы по уровню физической активности.

Забор крови проводили по общепринятой методике в объеме 5 мл в вакутейнер с этилендиаминтетрауксусной кислотой [13]. Подсчет эритроцитарных показателей осуществляли с помощью автоматического гематологического анализатора MindrayBC-3200 (Китай). Непосредственно перед проведением анализа пробирки с кровью переворачивали для равномерного распределения форменных элементов. При помощи гематологического анализатора были определены следующие эритроцитарные показатели: количество эритроцитов (RBC-Red Blood Cells, $\times 10^{12}/л$); концентрация гемоглобина, (HGB — Hemoglobin, г/л); гематокрит (HCT — Hematocrit, %); средний объем эритроцитов (MCV — Mean Cell Volume, фЛ); среднее содержание гемоглобина в эритроците (MCH — Mean Cell Hemoglobin, пг); средняя концентрация гемоглобина в эритроците (MCHC — Mean Cell Hemoglobin Concentration, г/л); ширина распределения эритроцитов по объему (RDW-CV — Red Cell Distribution Width, %).

Обработку результатов проводили с помощью пакетов программ Statistica 8.0 и Microsoft Excel. Нормальность распределения проверяли с помощью критерия Колмогорова — Смирнова. Результаты представлены в виде медианы и квартилей [Me (Q1; Q3)]. Для определения уровня статистической значимости различий между группами использовали непараметрические критерии: Манна — Уитни для сравнения двух независимых выборок и критерий Краскела — Уоллиса для сравнения трех и более независимых выборок. Критерий χ^2 Пирсона использовали для сравнения частот. Для расчета коэффициента корреляции использовали непараметрический критерий Кендалла для сравнения качественных и количественных показателей. Статистически значимыми считали различия с уровнем статистической значимости $p \leq 0,05$.

3. Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки эритроцитарных показателей было необходимо распределить студентов по уровню физической тренированности. Благодаря анкетированию обследуемых студентов удалось разделить на 3 группы с высокой, средней и низкой физической активностью. Оказалось, что на втором курсе у студентов не выявлены половые различия в уровнях физической активности. В обеих группах доминировал средний уровень (53,85 и 57,14%) (табл. 1).

Таблица 1

Результаты распределения обследуемых студентов на группы в зависимости от уровня физической активности

Table 1

The results of the distribution of the surveyed students into groups depending on the level of physical activity

| Группы обследуемых студентов | | Уровень физической активности | Количество обследуемых студентов, абс. (%) |
|---------------------------------------|---------------------|-------------------------------|--|
| Курс | Пол | | |
| 2-й | юноши (n = 13) | высокий | 4 (30,77) |
| | | средний | 7 (53,85) |
| | | низкий | 2 (15,38) |
| | девушки (n = 14) | высокий | 4 (28,57) |
| | | средний | 8 (57,14) |
| | | низкий | 2 (14,29) |
| 3-й | юноши (n = 14) | высокий | 1 (25,00) |
| | | средний | 1 (25,00) |
| | | низкий | 2 (50,00) |
| | девушки (n = 15) | высокий | 8 (53,33) |
| | | средний | 2 (13,33) |
| | | низкий | 5 (33,33) |
| Уровень статистической значимости (p) | | p1 | 0,985 |
| | | p2 | 0,593 |
| | | p3 | 0,045 |
| | | p4 | 0,344 |

Примечание: p — уровень статистической значимости различий, рассчитанный по критерию χ^2 Пирсона, p1 — между юношами и девушками 2-го курса; p2 — между юношами и девушками 3-го курса; p3 — между девушками 2-го и 3-го курса; p4 — между юношами 2-го и 3-го курса. Жирным шрифтом выделены статистически значимые различия.

Note: p — is the level of statistical significance of differences calculated by Pearson's chi-squared criterion, p1 — is between boys and girls of the 2nd year; p2 — is between boys and girls of the 3rd year; p3 — is between girls of the 2nd and 3rd year; p4 — is between boys of the 2nd and 3rd year. Statistically significant differences are highlighted in bold.

В группе юношей 3-го курса чаще встречался низкий, а у девушек — высокий уровень физической подготовки (табл. 1). Также установлено, что на 2-м курсе чаще встречались девушки со средним уровнем тренированности, а на 3-м курсе — с высоким ($p_3 = 0,045$).

Анализ результатов определения эритроцитарных показателей в зависимости от уровня физической нагрузки показал, что статистически значимых различий нет (табл. 2).

Однако выявлена тенденция к изменению показателей, которая заключается в следующем. Установлено,

что при высоком уровне физической тренированности наибольшие значения показателей наблюдались по уровню гемоглобина, количеству эритроцитов и гематокриту. У обследуемых со средним уровнем физической подготовки наибольшие значения регистрировались по показателям среднего объема эритроцитов, среднего содержания гемоглобина в эритроците, средней концентрации гемоглобина в эритроците и размеров эритроцитов (табл. 2). Подобные результаты были получены в других исследованиях [14]. При этом данные закономерности были выражены у студентов на 2-м

Таблица 2

Результаты определения эритроцитарных показателей в зависимости от уровня физической активности

Table 2

Results of determination of erythrocyte parameters depending on the level of physical activity

| Группы обследованных студентов | | Уровень физической активности | Эритроцитарные показатели | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|
| Курс | Пол | | HGB, г/л | RBC, $\times 10^{12}/л$ | HCT, % | MCV, фл | MCH, pg | MCHC, g/L | RDW-CV, % |
| 2-й | юноши (n = 13) | высокий | 172,0 (172,0; 172,0) | 5,4 (5,4; 5,4) | 49,3 (49,3; 49,3) | 91,5 (91,5; 91,5) | 31,9 (31,9; 31,9) | 348,0 (348,0; 348,0) | 11,5 (11,5; 11,5) |
| | | средний | 149,0 (149,0; 149,0) | 4,4 (4,4; 4,4) | 43,3 (43,3; 43,3) | 98,9 (98,9; 98,9) | 34,0 (34,0; 34,0) | 344,0 (344,0; 344,0) | 12,8 (12,8; 12,8) |
| | | низкий | 149,5 (149,0; 150,0) | 4,7 (4,7; 4,7) | 41,9 (41,0; 42,8) | 88,3 (87,0; 89,5) | 31,1 (31,0; 31,1) | 349,0 (348,0; 350,0) | 12,1 (12,0; 12,1) |
| | p_1 | | 0,924 | 0,949 | 0,865 | 0,702 | 0,627 | 0,459 | 0,884 |
| | девушки (n = 14) | высокий | 141,0 (125,5; 147,0) | 4,6 (4,3; 4,7) | 41,5 (39,1; 43,1) | 88,9 (78,2; 91,1) | 30,9 (29,5; 32,3) | 341,5 (332,5; 349,5) | 12,2 (11,6; 12,8) |
| | | средний | 137,5 (130,0; 145,0) | 4,2 (3,9; 4,4) | 38,9 (38,1; 39,7) | 93,5 (90,7; 96,3) | 33,0 (32,8; 33,1) | 353,0 (341,0; 365,0) | 13,4 (13,2; 13,5) |
| | | низкий | 131,0 (126,0; 133,0) | 4,4 (4,4; 4,5) | 37,7 (37,2; 38,5) | 87,7 (84,9; 92,0) | 30,2 (29,4; 31,6) | 345,0 (344,0; 347,0) | 12,0 (11,9; 12,2) |
| p_2 | | 0,311 | 0,960 | 0,741 | 0,978 | 0,508 | 0,323 | 0,720 | |
| 3-й | юноши (n = 14) | высокий | 154,5 (147,0; 164,0) | 4,6 (4,4; 4,9) | 42,6 (39,4; 45,6) | 89,9 (88,9; 93,6) | 33,1 (31,5; 35,3) | 367,5 (351,5; 380,0) | 12,4 (12,0; 13,0) |
| | | средний | 155,0 (153,0; 159,0) | 4,8 (4,7; 5,0) | 44,4 (41,2; 45,0) | 92,0 (90,2; 94,0) | 32,0 (31,2; 33,5) | 355,0 (346,0; 362,0) | 12,3 (11,9; 13,2) |
| | | низкий | 162,5 (144,0; 181,0) | 4,8 (4,4; 5,3) | 44,1 (39,9; 48,2) | 91,3 (90,8; 91,8) | 33,6 (33,1; 34,0) | 367,5 (360,0; 375,0) | 12,3 (11,7; 12,9) |
| | p_3 | | 0,325 | 0,259 | 0,259 | 0,259 | 0,259 | 0,325 | 0,259 |
| | девушки (n = 15) | высокий | 143,5 (140,0; 151,5) | 4,5 (4,4; 4,7) | 40,1 (38,4; 41,6) | 88,6 (85,3; 91,2) | 31,9 (31,4; 32,7) | 364,0 (357,5; 371,0) | 12,1 (11,5; 12,4) |
| | | средний | 137,5 (133,5; 144,5) | 4,5 (4,2; 4,7) | 39,1 (38,5; 40,0) | 88,6 (86,0; 90,7) | 31,4 (30,3; 32,2) | 354,0 (346,0; 361,0) | 12,2 (11,9; 12,5) |
| | | низкий | 145,0 (136,0; 154,0) | 4,5 (4,4; 4,5) | 39,7 (39,0; 40,4) | 89,0 (88,6; 89,4) | 32,4 (30,8; 33,9) | 364,5 (348,0; 381,0) | 11,9 (11,7; 12,1) |
| p_4 | | 0,498 | 0,365 | 0,202 | 0,357 | 0,305 | 0,516 | 0,126 | |

Примечание: p — уровень статистической значимости различий, рассчитанный по критерию Краскела — Уоллиса, RBC — количество эритроцитов, HGB — концентрация гемоглобина, HCT — гематокрит, MCV — средний объем эритроцитов, MCH — среднее содержание гемоглобина в эритроците, MCHC — средняя концентрация гемоглобина в эритроците, RDW-CV — ширина распределения эритроцитов по объему.

Note: p — is the level of statistical significance of differences calculated according to the Kraskel — Wallis criterion, RBC — is the number of red blood cells, HGB — is the concentration of hemoglobin, HCT — is hematocrit, MCV — is the average volume of red blood cells, MCH — is the average hemoglobin content in the erythrocyte, MCHC — is the average concentration of hemoglobin in the erythrocyte, RDW-CV — is the width of the distribution of red blood cells by volume.

курсе. Полученные результаты подтверждают факт, что при высоком уровне тренированности происходит увеличение объема циркулирующей крови (за счет высоких уровней альдостерона [15, 16] и вазопрессина [17], включающихся в работу при усиленном потоотделении и повышении осмотического давления плазмы при физической нагрузке) [8], а также усиление эритропоэза,

проявляющегося в увеличении количества эритроцитов и гемоглобина в результате повышенной потребности мышц в кислороде [14, 18]. То есть при интенсивной физической нагрузке динамика эритроцитарных показателей проявляется на системном уровне. Однако повышенное количество эритроцитов может привести к повышению вязкости крови и, следовательно, нагрузке

Таблица 3

Результаты определения эритроцитарных показателей в зависимости от уровня физической активности между 2-ми и 3-ми курсами

Table 3

Results of determination of erythrocyte parameters depending on the level of physical activity between the 2nd and 3rd courses

| группы обследованных студентов | | Уровень физ. активности | Эритроцитарные показатели | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Пол | Курс | | HGB, г/л | RBC, $\times 10^{12}/л$ | HCT, % | MCV, fL | MCH, pg | MCHC, g/L | RDW-CV, % |
| юноши | 2-й (n = 13) | высокий | 172,0 (172,0; 172,0) | 5,4 (5,4; 5,4) | 49,3 (49,3; 49,3) | 91,5 (91,5; 91,5) | 31,9 (31,9; 31,9) | 348,0 (348,0; 348,0) | 11,5 (11,5; 11,5) |
| | | средний | 149,0 (149,0; 149,0) | 4,4 (4,4; 4,4) | 43,3 (43,3; 43,3) | 98,9 (98,9; 98,9) | 34,0 (34,0; 34,0) | 344,0 (344,0; 344,0) | 12,8 (12,8; 12,8) |
| | | низкий | 149,5 (149,0; 150,0) | 4,7 (4,7; 4,7) | 41,9 (41,0; 42,8) | 88,3 (87,0; 89,5) | 31,1 (31,0; 31,1) | 349,0 (348,0; 350,0) | 12,1 (12,0; 12,1) |
| | 3-й (n = 14) | высокий | 154,5 (147,0; 164,0) | 4,6 (4,4; 4,9) | 42,6 (39,4; 45,6) | 89,9 (88,9; 93,6) | 33,1 (31,5; 35,3) | 367,5 (351,5; 380,0) | 12,4 (12,0; 13,0) |
| | | средний | 155,0 (153,0; 159,0) | 4,8 (4,7; 5,0) | 44,4 (41,2; 45,0) | 92,0 (90,2; 94,0) | 32,0 (31,2; 33,5) | 355,0 (346,0; 362,0) | 12,3 (11,9; 13,2) |
| | | низкий | 162,5 (144,0; 181,0) | 4,8 (4,4; 5,3) | 44,1 (39,9; 48,2) | 91,3 (90,8; 91,8) | 33,6 (33,1; 34,0) | 367,5 (360,0; 375,0) | 12,3 (11,7; 12,9) |
| <i>p3</i> | | | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,333 | 0,333 | 0,333 | 1,000 |
| девушки | 2-й (n = 14) | высокий | 141,0 (125,5; 147,0) | 4,6 (4,3; 4,7) | 41,5 (39,1; 43,1) | 88,9 (78,2; 91,1) | 30,9 (29,5; 32,3) | 341,5 (332,5; 349,5) | 12,2 (11,6; 12,8) |
| | | средний | 137,5 (130,0; 145,0) | 4,2 (3,9; 4,4) | 38,9 (38,1; 39,7) | 93,5 (90,7; 96,3) | 33,0 (32,8; 33,1) | 353,0 (341,0; 365,0) | 13,4 (13,2; 13,5) |
| | | низкий | 131,0 (126,0; 133,0) | 4,4 (4,4; 4,5) | 37,7 (37,2; 38,5) | 87,7 (84,9; 92,0) | 30,2 (29,4; 31,6) | 345,0 (344,0; 347,0) | 12,0 (11,9; 12,2) |
| | 3-й (n = 15) | высокий | 143,5 (140,0; 151,5) | 4,5 (4,4; 4,7) | 40,1 (38,4; 41,6) | 88,6 (85,3; 91,2) | 31,9 (31,4; 32,7) | 364,0 (357,5; 371,0) | 12,1 (11,5; 12,4) |
| | | средний | 137,5 (133,5; 144,5) | 4,5 (4,2; 4,7) | 39,1 (38,5; 40,0) | 88,6 (86,0; 90,7) | 31,4 (30,3; 32,2) | 354,0 (346,0; 361,0) | 12,2 (11,9; 12,5) |
| | | низкий | 145,0 (136,0; 154,0) | 4,5 (4,4; 4,5) | 39,7 (39,0; 40,4) | 89,0 (88,6; 89,4) | 32,4 (30,8; 33,9) | 364,5 (348,0; 381,0) | 11,9 (11,7; 12,1) |
| <i>p4</i> | | | 0,461 | 0,933 | 0,461 | 0,933 | 0,283 | 0,008 | 0,808 |
| <i>p5</i> | | | 0,889 | 0,267 | 0,889 | 0,178 | 0,044 | 0,889 | 0,044 |
| <i>p6</i> | | | 0,190 | 0,571 | 0,190 | 0,857 | 0,381 | 0,190 | 0,857 |

Примечание: *p* — уровень статистической значимости различий, рассчитанный по критерию Манна — Уитни: *p3* — между юношами 2-го и 3-го курса с низким уровнем физической активности; *p4* — между девушками 2-го и 3-го курса с высоким уровнем физической активности; *p5* — между девушками 2-го и 3-го курса со средним уровнем физической активности; *p6* — между девушками 2-го и 3-го курса с низким уровнем физической активности RBC — количество эритроцитов, HGB — концентрация гемоглобина, HCT — гематокрит, MCV — средний объем эритроцитов, MCH — среднее содержание гемоглобина в эритроците, MCHC — средняя концентрация гемоглобина в эритроците, RDW — ширина распределения эритроцитов по объему. Жирным шрифтом выделены статистически значимые различия.

Note: *p* — is the level of statistical significance of differences calculated according to the Mann — Whitney criterion: *p3* — between 2nd and 3rd year boys with a low level of physical activity; *p4* — between 2nd and 3rd year girls with a high level of physical activity; *p5* — between 2nd and 3rd year girls with an average level of physical activity; *p6* — between 2nd and 3rd year girls with a low level of physical activity, RBC — the number of red blood cells, HGB — the concentration of hemoglobin, HCT — hematocrit, MCV — the average volume of red blood cells, MCH — the average hemoglobin content in the erythrocyte, MCHC — the average concentration of hemoglobin in the erythrocyte, RDW — the width of the distribution of red blood cells by volume. Statistically significant differences are highlighted in bold.

на сердечно-сосудистую систему. Но этого не происходит в силу снижения гематокрита при разбавлении крови увеличившимся объемом [11, 12, 19].

При средней физической нагрузке также идет усиление процессов образования эритроцитов, что находит отражение в повышении показателей объема эритроцитов, степени насыщения ими гемоглобина и появлении большого количества эритроцитов с разным размером (микроцитов и макроцитов). Повышение объема эритроцитов отражает изменение функционального состояния мембраны, что, вероятно, связано с усилением их функциональных свойств [14]. То есть при среднем уровне физической активности происходят изменения на клеточном уровне, которые можно обнаружить только по эритроцитарным индексам. Таким образом, можно предположить, что средний уровень физических нагрузок более благоприятно сказывается на формировании защитно-адаптивных реакций организма.

Также отмечено, что при низком уровне физической активности наибольшие значения показателей наблюдались у уровня гемоглобина, среднего содержания гемоглобина в эритроците, средней концентрации гемоглобина в эритроците и размеров эритроцитов. Данная закономерность была характерна для студентов 3-го курса. Возможно, для адекватного обеспечения функционирования организма наблюдается повышение насыщения гемоглобином эритроцитов, а не увеличение их количества, что и проявляется на системном уровне.

Далее было проведено сравнение эритроцитарных показателей между двумя курсами в зависимости от уровня физической активности (табл. 3).

Было установлено, что между эритроцитарными показателями у юношей на 2-м и 3-м курсе статистически значимых различий нет, но есть тенденции. На 2-м курсе преобладают высокие значения таких показателей, как содержание гемоглобина, количество эритроцитов и гематокрита при высоком уровне физической активности и показателей среднего объема эритроцитов, среднего содержания гемоглобина в эритроците и ширины распределения эритроцитов по объему при среднем уровне физической активности. На 3-м курсе у юношей наблюдается повышение значений показателей гемоглобина, эритроцитов и гематокрита, среднего содержания гемоглобина в эритроцитах при низком уровне физической тренированности и повышение среднего объема эритроцитов и ширины распределения эритроцитов по объему при среднем уровне (табл. 3). Вероятно, это может быть обусловлено тем, что на втором курсе с высоким уровнем тренированности происходит продуктивный тип эритропоэза, а в случае с юношами 3-го курса повышение эритроцитарных индексов при низком уровне физической тренированности может быть связано с перераспределительной гемоконцентрацией, вызванной индивидуальными особенностями организма.

У девушек на 2-м курсе, так же как и у юношей 2-го курса, наибольшие значения достигали такие

показатели, как содержание гемоглобина, эритроцитов и гематокрита при высоком уровне физической активности. У девушек со средним уровнем физической активности доминировали значения показателей среднего объема эритроцитов, среднего содержания и концентрации гемоглобина в эритроците и ширины распределения эритроцитов по объему. У девушек 3-го курса при высокой тренированности доминировали уровень гематокрита и среднего объема эритроцитов, при средней — ширина распределения эритроцитов по объему, при низкой — гемоглобин, среднее содержание и концентрация гемоглобина в эритроците. Статистически значимые различия были обнаружены между девушками 2-го и 3-го курса по показателю ширины распределения эритроцитов по объему при среднем уровне физической активности ($p = 0,044$) (табл. 3). То есть по повышению данного показателя можно говорить о более выраженном анизоцитозе эритроцитов в данной группе (сдвигу эритроцитов по размеру в сторону появления микро- и макроформ). Этот факт свидетельствует об интенсивных процессах эритропоэза при физической нагрузке у девушек 2-го курса, которое также отражается в повышенных показателях среднего объема эритроцитов, среднего содержания и концентрации гемоглобина в эритроцитах.

В результате анализа данных по определению эритроцитарных индексов у обследуемых с разным уровнем физической активности было установлено, что наиболее выраженные половые различия наблюдались у студентов 2-го курса, а именно со средним уровнем физической активности (табл. 4).

У юношей по сравнению с девушками статистически значимо выше были такие показатели, как уровень гемоглобина, количество эритроцитов, гематокрит и средний объем эритроцитов. Половые различия объясняются стимулирующим влиянием тестостерона на эритропоэз [20]. Поэтому в целом и на 2-м и 3-м курсах эритроцитарные индексы выше у юношей, чем у девушек. Данная закономерность наиболее выражена при среднем уровне физической тренированности.

На следующем этапе работы был проведен корреляционный анализ для выявления связи между эритроцитарными показателями, физической активностью, полом и курсом. Результаты представлены в таблице 5.

По нашим данным статистически значимой зависимости между уровнем физической активности и эритроцитарными показателями установлено не было. Однако согласно литературным данным [8, 15, 16], при повышении физической активности происходит рост эритроцитарных показателей, что связано с возросшей потребностью мышц в активной работе и повышении активности метаболических процессов. Оказалось, что год обучения влияет на эритроцитарные показатели крови. Так, статистически значимые обратные связи были установлены для таких показателей, как уровень гемоглобина и средняя концентрация гемоглобина в эритроците.

Таблица 4

Результаты определения эритроцитарных показателей в зависимости от уровня физической активности между юношами и девушками

Table 4

Results of determination of erythrocyte indices depending on the level of physical activity between boys and girls

| Группы обследованных студентов | | Уровень физ. активности | Эритроцитарные показатели | | | | | | |
|--------------------------------|------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
| Курс | Пол | | HGB, г/л | RBC, $\times 10^{12}/л$ | HCT, % | MCV, fL | MCH, pg | MCHC, g/L | RDW-CV, % |
| 2-й | юноши (n = 13) | высокий | 172,0 (172,0; 172,0) | 5,4 (5,4; 5,4) | 49,3 (49,3; 49,3) | 91,5 (91,5; 91,5) | 31,9 (31,9; 31,9) | 348,0 (348,0; 348,0) | 11,5 (11,5; 11,5) |
| | | средний | 149,0 (149,0; 149,0) | 4,4 (4,4; 4,4) | 43,3 (43,3; 43,3) | 98,9 (98,9; 98,9) | 34,0 (34,0; 34,0) | 344,0 (344,0; 344,0) | 12,8 (12,8; 12,8) |
| | | низкий | 149,5 (149,0; 150,0) | 4,7 (4,7; 4,7) | 41,9 (41,0; 42,8) | 88,3 (87,0; 89,5) | 31,1 (31,0; 31,1) | 349,0 (348,0; 350,0) | 12,1 (12,0; 12,1) |
| | девушки (n = 14) | высокий | 141,0 (125,5; 147,0) | 4,6 (4,3; 4,7) | 41,5 (39,1; 43,1) | 88,9 (78,2; 91,1) | 30,9 (29,5; 32,3) | 341,5 (332,5; 349,5) | 12,2 (11,6; 12,8) |
| | | средний | 137,5 (130,0; 145,0) | 4,2 (3,9; 4,4) | 38,9 (38,1; 39,7) | 93,5 (90,7; 96,3) | 33,0 (32,8; 33,1) | 353,0 (341,0; 365,0) | 13,4 (13,2; 13,5) |
| | | низкий | 131,0 (126,0; 133,0) | 4,4 (4,4; 4,5) | 37,7 (37,2; 38,5) | 87,7 (84,9; 92,0) | 30,2 (29,4; 31,6) | 345,0 (344,0; 347,0) | 12,0 (11,9; 12,2) |
| <i>p</i> ₁ | | 0,343 | 0,343 | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 1,000 | 0,343 | |
| <i>p</i> ₂ | | 0,001 | 0,029 | 0,004 | 0,040 | 0,152 | 0,955 | 0,536 | |
| <i>p</i> ₃ | | 0,667 | 1,000 | 0,667 | 0,333 | 0,667 | 1,000 | 0,667 | |
| 3 | Юноши (n = 14) | высокий | 154,5 (147,0; 164,0) | 4,6 (4,4; 4,9) | 42,6 (39,4; 45,6) | 89,9 (88,9; 93,6) | 33,1 (31,5; 35,3) | 367,5 (351,5; 380,0) | 12,4 (12,0; 13,0) |
| | | средний | 155,0 (153,0; 159,0) | 4,8 (4,7; 5,0) | 44,4 (41,2; 45,0) | 92,0 (90,2; 94,0) | 32,0 (31,2; 33,5) | 355,0 (346,0; 362,0) | 12,3 (11,9; 13,2) |
| | | низкий | 162,5 (144,0; 181,0) | 4,8 (4,4; 5,3) | 44,1 (39,9; 48,2) | 91,3 (90,8; 91,8) | 33,6 (33,1; 34,0) | 367,5 (360,0; 375,0) | 12,3 (11,7; 12,9) |
| | Девушки (n = 15) | высокий | 143,5 (140,0; 151,5) | 4,5 (4,4; 4,7) | 40,1 (38,4; 41,6) | 88,6 (85,3; 91,2) | 31,9 (31,4; 32,7) | 364,0 (357,5; 371,0) | 12,1 (11,5; 12,4) |
| | | средний | 137,5 (133,5; 144,5) | 4,5 (4,2; 4,7) | 39,1 (38,5; 40,0) | 88,6 (86,0; 90,7) | 31,4 (30,3; 32,2) | 354,0 (346,0; 361,0) | 12,2 (11,9; 12,5) |
| | | низкий | 145,0 (136,0; 154,0) | 4,5 (4,4; 4,5) | 39,7 (39,0; 40,4) | 89,0 (88,6; 89,4) | 32,4 (30,8; 33,9) | 364,5 (348,0; 381,0) | 11,9 (11,7; 12,1) |
| <i>p</i> ₆ | | 0,095 | 0,381 | 0,095 | 1,000 | 0,857 | 0,381 | 0,857 | |

Примечание: *p* — уровень статистической значимости различий, рассчитанный по критерию Манна — Уитни: *p*₁ — между юношами и девушками 2-го курса с высоким уровнем физической активности; *p*₂ — между юношами и девушками 2 курса со средним уровнем физической активности; *p*₃ — между юношами и девушками 2 курса с низким уровнем физической активности; *p*₆ — между юношами и девушками 3-го курса с низким уровнем физической активности, RBC — количество эритроцитов, HGB — концентрация гемоглобина, HCT — гематокрит, MCV — средний объем эритроцитов, MCH — среднее содержание гемоглобина в эритроците, MCHC — средняя концентрация гемоглобина в эритроците, RDW — ширина распределения эритроцитов по объему. Жирным шрифтом выделены статистически значимые различия.

Note: *p* — is the level of statistical significance of differences calculated according to the Mann — Whitney criterion: *p*₁ — between 2nd year boys and girls with a high level of physical activity; *p*₂ — between 2nd year boys and girls with an average level of physical activity; *p*₃ — between 2nd year boys and girls with a low level of physical activity; *p*₆ — between boys and girls of the 3rd year with a low level of physical activity, RBC — the number of red blood cells, HGB — the concentration of hemoglobin, HCT — hematocrit, MCV — the average volume of red blood cells, MCH — the average hemoglobin content in the erythrocyte, MCHC — the average concentration of hemoglobin in the erythrocyte, RDW — the width of the distribution of red blood cells by volume. Statistically significant differences are highlighted in bold.

Следовательно, при увеличении года обучения происходит снижение эритроцитарных показателей. Данный факт, вероятно, обусловлен снижением физической активности студентов на старших курсах в связи с повышенной учебной нагрузкой и проведением большого количества времени в сидячем положении. Доказано, что адаптация организма к гиподинамии происходит

через торможение эритропоэза [14, 21] и, как следствие, сопровождается микрореологическими дисфункциями, способствующими формированию гипоксии в тканях, что ухудшает течение анаболических процессов во всем организме и ослабляет его общую жизнеспособность [21]. Также была выявлена взаимосвязь между эритроцитарными показателями и полом. Данные результаты

Таблица 5

Результаты определения коэффициента корреляции между эритроцитарными показателями и физической активности

Table 5

Results of determining the correlation coefficient between erythrocyte parameters and physical activity

| Показатели | | HGB, г/л | RBC × 10 ¹² | HCT, % | MCV, fL | MCH, pg | MCHC, g/L | RDW-CV, % |
|-----------------------|----------|---------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-----------|
| Физическая активность | <i>r</i> | 0,094 | 0,05 | 0,154 | -0,061 | 0,031 | -0,038 | 0,04 |
| | <i>p</i> | 0,356 | 0,623 | 0,131 | 0,552 | 0,761 | 0,707 | 0,696 |
| Курс | <i>r</i> | -0,304 | -0,150 | -0,087 | -0,070 | -0,185 | -0,446 | 0,004 |
| | <i>p</i> | 0,003 | 0,143 | 0,340 | 0,490 | 0,069 | 0,001 | 0,967 |
| Пол | <i>r</i> | 0,550 | 0,387 | 0,324 | 0,304 | 0,265 | 0,182 | 0,089 |
| | <i>p</i> | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,003 | 0,009 | 0,073 | 0,384 |

Примечание: *r* — коэффициент корреляции, *p* — статистическая значимость по критерию Кендалла, RBC — количество эритроцитов, HGB — концентрация гемоглобина, HCT — гематокрит, MCV — средний объем эритроцитов, MCH — среднее содержание гемоглобина в эритроците, MCHC — средняя концентрация гемоглобина в эритроците, RDW — ширина распределения эритроцитов по объему. Жирным шрифтом выделены статистически значимые различия.

Note: *r* — is the correlation coefficient, *p* — is the statistical significance according to the Kendall criterion, RBC is the number of red blood cells, HGB is the concentration of hemoglobin, HCT is the hematocrit, MCV is the average volume of red blood cells, MCH is the average hemoglobin content in the erythrocyte, MCHC is the average concentration of hemoglobin in the erythrocyte, RDW is the width of the distribution of red blood cells by volume. Statistically significant differences are highlighted in bold.

подтверждаются многочисленными исследованиями и обусловлены гормональными особенностями организмов разного пола [20].

4. Заключение

Таким образом, проведенное исследование показало, что эритроцитарные показатели — это динамическая система организма, которая реагирует на любые функциональные изменения и может служить не только показателем адаптации к адекватным факторам внешней и внутренней среды, но и патологических состояний. Кроме физической нагрузки на эритроцитарные показатели также оказывают влияние курс обучения и пол.

Вклад авторов:

Саранчина Юлия Владимировна — концепция и дизайн исследования, интерпретация данных, написание текста статьи, критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания.

Тюкпиеков Михаил Борисович — сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста.

Матвеева Елизавета Викторовна — сбор, анализ и интерпретация данных.

Выявлено, что при высоком уровне тренированности происходит формирование механизмов долговременной адаптации к физической нагрузке, которое проявляется в повышении эритроцитарных индексов. Согласно полученным результатам, у студентов 2-го курса механизмы адаптации к физической нагрузке идут эффективно. А у студентов 3-го курса в связи с малоподвижным образом жизни показатели эритроцитарного гомеостаза не меняются или меняются под действием других причин, не связанных с физической активностью. Поэтому для студентов старших курсов с целью профилактики патологических состояний рекомендуется умеренная физическая активность.

Authors' contribution:

Yuliya V. Saranchina — the concept and design of the study, interpretation of data, writing the text of the article, critical revision in terms of meaningful intellectual content.

Mihail B. Tyukpiekov — data collection, analysis and interpretation, text writing.

Elizaveta V. Matveeva — data collection, analysis and interpretation.

Литература

1. Красноруцкая О.Н., Зуйкова А.А., Петрова Т.Н. Актуальные проблемы здоровья студентов медицинского ВУЗа и пути их решения. Вестник новых медицинских технологий. 2013;XX(2):453–456.
2. Popel' S.L., Pyatnychuk G.A., Pyatnichuk D.V., Maystruv V.V., Verboviy V.P., Zemskaya N.A., et al. Functional systems of students' organism depending on physical fitness to physical load.

References

1. Krasnoruckaya O.N., Zujkova A.A., Petrova T.N. Actual health problems of medical university students and ways to solve them. Vestnik Novykh Meditsinskikh Tekhnologii = Journal of New Medical Technologies, eEdition. 2013;XX(2):453–456 (In Russ.).
2. Popel' S.L., Pyatnychuk G.A., Pyatnichuk D.V., Maystruv V.V., Verboviy V.P., Zemskaya N.A., et al. Functional systems of students' organization depending on physical fitness to physical

Physical Education of Students. 2017;21(6):302–309. <https://doi.org/10.15561/20755279.2017.0607>

3. Жукова Т.В., Горбачева Н.А., Харагургиева И.М., Белик С.Н., Кононенко Н.А., Сбыковская Л.В. Здоровье студентов как прогностическая модель здоровья нации. Здоровье населения и среда обитания — ЗНиСО. 2018;(4):36–41. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2018-301-4-36-41>

4. Меерманова И.Б., Койгельдинова Ш.С., Ибраев С.А. Состояние здоровья студентов, обучающихся в высших учебных заведениях. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017;(2):193–197.

5. Цатурян Л.Д., Андросова Д.А. Уровень здоровья студентов в современных условиях. Вестник Ставропольского государственного университета. 2011;(74):63–69.

6. Трошкина Н.А., Циркин В.И., Дворянский С.А. Эритроцит: Строение и функции его мембраны. Вятский медицинский вестник. 2007;(2-3):32–40.

7. Александров Н. П. Изменения в системе красной крови человека (эритроциты) при адаптации к новым условиям. Земский врач. 2010;(1):23–27.

8. Дроздов Д.Н., Кравцов А.В. Влияние физической нагрузки на показатели периферической крови человека. Вестник МДПУ им. И. П. Шамякина. 2015;(1):23–28.

9. Бушуева Н.А., Воробьева Н.А. Характеристика системы гемостаза при физических нагрузках. Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия Медико-биологические науки. 2015;(2):62–70.

10. Михайлов П.В., Муравьев А.В., Остроумов Р.С., Муравьев А.А. Возрастные особенности свойств крови у тренированных и нетренированных лиц. Безопасность здоровья человека. 2016;(1):16–29.

11. Голубева М.Г. Влияние физической нагрузки на функциональное состояние мембран эритроцитов. Спортивная медицина: наука и практика. 2020;10(2):55–64. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.55>

12. Даутова А.З., Исаева Е.Е., Шамратова В.Г. Связи адренореактивности эритроцитов с их количественными и качественными характеристиками как способ оценки реологических свойств крови у лиц с разным уровнем двигательной активности. Спортивная медицина: наука и практика. 2021;11(3):5–11. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.3.1>

13. Егорова Е.Н., Пустовалова Р.А., Горшкова М.А. Клинико-диагностическое значение эритроцитарных индексов, определяемых автоматическими гематологическими анализаторами. Верхневолжский медицинский журнал. 2014;12(3):34–41.

14. Балгимбеков Ш.А., Ташенова Г.К. Особенности гематологических показателей у студентов с разным уровнем двигательной активности в условиях современного образования. Вестник Пермского университета. Серия биология. 2014;(2):57–60. <https://readera.org/147204678>

15. Зверев Я.Ф., Брюханов В.М. Современные представления о механизмах почечного действия альдостерона. Нефрология. 2001;5(4):9–16. <https://doi.org/10.24884/1561-6274-2001-5-4-9-16>

16. Ватутин Н.Т., Шевелёк А.Н., Кравченко И.Н. Уровень альдостерона крови у пациентов с различными формами фи-

load. Physical Education of Students. 2017;21(6):302–309. <https://doi.org/10.15561/20755279.2017.0607>

3. Zhukova T.V., Gorbacheva N.A., Haragurgieva I.M., Belik S.N., Kononenko N.A., Sbykovskaya L.V. Student health as a prognostic model of national health. Public Health and Life Environment — PH&LE. 2018;(4):36–41 (In Russ.). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2018-301-4-36-41>

4. Meermanova I.B., Kojgel'dinova S.H.S., Ibraev S.A. The state of health of students studying in higher educational institutions. Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [International Journal of Applied and Fundamental Research]. 2017;(2):193–197 (In Russ.).

5. Caturyan L.D., Androsova D.A. The level of health of students in modern conditions. Vestnik Stavropol'skogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Stavropol State University]. 2011;(74):63–69 (In Russ.).

6. Troshkina N.A., Cirkin V.I., Dvoryanskii S.A. Erythrocyte: Structure and functions of its membrane. Vyatskii meditsinskii vestnik = Medical Newsletter of Vyatka. 2007;(2-3):32–40 (In Russ.).

7. Aleksandrov N.P. Changes in the human red blood system (erythron) during adaptation to new conditions. Zemskii vrach [Zemsky doctor]. 2010;(1):23–27 (In Russ.).

8. Drozdov D.N., Kravcov A.V. The effect of physical activity on human peripheral blood parameters. Vestnik Mazyr'skaga Dzyarzhaynaga Pedagogichnaga Ūniversiteta im. I.P. Shamyakina = Vestnik of Muzur State Pedagogical University named after I.P. Shamyakin. 2015;(1):23–28 (In Russ.).

9. Bushueva N.A., Vorob'eva N.A. Characteristics of the hemostasis system during physical exertion. Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya Mediko-biologicheskie nauki = Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Medical and Biological Sciences series. 2015;(2):62–70 (In Russ.).

10. Mihaylov P.V., Murav'ev A.V., Ostroumov R.S., Murav'ev A.A. Age-related features of blood properties in trained and untrained individuals. Bezopasnost' zdorov'ya cheloveka = Security of Human Health. 2016;(1):16–29 (In Russ.).

11. Golubeva M.G. The effect of physical activity on the functional state of erythrocyte membranes. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika = Sports medicine: research and practice. 2020;10(2):55–64 (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.55>

12. Dautova A.Z., Isaeva E.E., Shamratova V.G. Connections of adrenoactivity of erythrocytes with their quantitative and qualitative characteristics as a way to assess the rheological properties of blood in individuals with different levels of motor activity. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika = Sports medicine: research and practice. 2021;11(3):5–11 (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.3.1>

13. Egorova E.N., Pustovalova R.A., Gorshkova M.A. Clinical and diagnostic value of erythrocyte indices determined by automatic hematological analyzers. Verkhnevolzhskii meditsinskii zhurnal = Upper Volga Medical Journal. 2014;12(3):34–41 (In Russ.).

14. Balgimbekov Sh.A., Tashenova G.K. Features of hematological indicators in students with different levels of motor activity in the conditions of modern education. Vestnik Permskogo universiteta. Seriya biologiya = Bulletin of Perm University. Biology. 2014;(2):57–60 (In Russ.). <https://readera.org/147204678>

15. Zverev Ya.F., Bryuhanov V.M. Modern ideas about the mechanisms of renal action of aldosterone. Nephrologiya = Nephrology. 2001;5(4):9–16 (In Russ.). <https://doi.org/10.24884/1561-6274-2001-5-4-9-16>

16. Vatutin N.T., Shevelyok A.N., Kravchenko I.N. Blood aldosterone level in patients with various forms of atrial fibrilla-

брилляции предсердий. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2016;15(1):40–44. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2016-1-40-44>

17. **Наточин Ю.В.** Вазопрессин: механизм действия и клиническая физиология. Проблемы эндокринологии. 2003;49(2):43–50. <https://doi.org/10.14341/probl11534>

18. **Шамратова В.Г., Усманова С.Р.** Биохимические и физиологические механизмы влияния курения на кислородный статус организма юношей с различным уровнем физической активности. Вестник Башкирского университета. 2013;18(4):1050–1052.

19. **Parks R.B., Hetzel S.J., Brooks M.A.** Iron Deficiency and Anemia among Collegiate Athletes: A Retrospective Chart Review. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2017;49(8):1711–1715. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001259>

20. **Моррисон В.В., Чеснокова Н.П., Невважай Т.А., Понукалина Е.В., Бизенкова М.Н.** Лекция 1. Общая характеристика типовых реакций красной крови на действие патогенных факторов. Этиология и патогенез эритроцитозов. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015;(6-1):149–152.

21. **Маль Г.С., Ястребов В.С., Миронова Д.Ю.** Физиологическая реакция агрегации эритроцитов при прекращении длительной гиподинамии. Тенденции развития науки и образования. 2019;(47-5):57–60. <https://doi.org/10.18411/lj-02-2019-103>

tion. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika = Cardiovascular therapy and prevention.* 2016;15(1):40–44 (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2016-1-40-44>

17. **Natochin Yu.V.** Vasopressin: mechanism of action and clinical physiology. *Problemy endokrinologii = Problems of Endocrinology.* 2003;49(2):43–50 (In Russ.). <https://doi.org/10.14341/probl11534>

18. **Shamratova V. G., Usmanova S. R.** Biochemical and physiological mechanisms of the influence of smoking on the oxygen status of the body of young men with different levels of physical activity. *Vestnik Bashkirskogo universiteta = Bulletin of Bashkir University.* 2013;18(4):1050–1052 (In Russ.).

19. **Parks R.B., Hetzel S.J., Brooks M.A.** Iron Deficiency and Anemia among Collegiate Athletes: A Retrospective Chart Review. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2017;49(8):1711–1715. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001259>

20. **Morrison V.V., Chesnokova N.P., Nevvazhaj T.A., Ponukalina E.V., Bizenkova M.N.** Lecture 1. General characteristics of typical reactions of red blood to the action of pathogenic factors. Etiology and pathogenesis of erythrocytosis. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [International Journal of Applied and Fundamental Research].* 2015;(6-1):149–152 (In Russ.).

21. **Mal' G.S., Yastrebov V.S., Mironova D.Yu.** Physiological reaction of erythrocyte aggregation at the termination of prolonged inactivity. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the development of science and education].* 2019;(47-5):57–60 (In Russ.). <https://doi.org/10.18411/lj-02-2019-103>

Информация об авторах:

Саранчина Юлия Владимировна*, к.б.н., доцент кафедры фундаментальной медицины и гигиены ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», Россия, Республика Хакасия, 655017, г. Абакан, ул. Ленина, д. 92. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2697-7317> (july.saran4ina2010@yandex.ru)

Тюкпиеков Михаил Борисович, студент 6-го курса специальности «лечебное дело» ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», Россия, Республика Хакасия, 655017, г. Абакан, ул. Ленина, д. 92 (miha.26011999@gmail.com)

Матвеева Елизавета Викторовна, студентка 4-го курса специальности «лечебное дело» ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», Россия, Республика Хакасия, 655017, г. Абакан, ул. Ленина, д. 92 (Calista00@mail.ru)

Information about the authors:

Yulia V. Saranchina*, Ph.D. (Biology), Associate Professor of the Department of Fundamental Medicine and Hygiene, N.F. Katanov Khakass State University, 92 Lenin str., Abakan, 655017, Republic of Khakassia, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2697-7317> (july.saran4ina2010@yandex.ru)

Mikhail B. Tyukpiekov, a 6th-year student of the specialty “Medical Science” of the N.F. Katanov Khakass State University, 92 Lenin str., Abakan, 655017, Republic of Khakassia, Russia (miha.26011999@gmail.com)

Elizaveta V. Matveeva, 4th year student of the specialty “Medical Science” of the N.F. Katanov Khakass State University, 92 Lenin str., Abakan, 655017, Republic of Khakassia, Russia (Calista00@mail.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.6>

УДК: 616.7

Тип статьи: Систематический обзор / Systematic review



Белок растительного и животного происхождения в аспекте прироста мышечной массы и мышечной силы: систематический обзор

А.В. Мештель^{1,*}, П.Д. Рыбакова^{1,2}, А.Б. Мирошников¹, В.Д. Выборнов², А.Г. Антонов²,
Р.А. Ханферьян³, М.М. Коростелева^{3,4}

¹ФГБОУ ВО «Российский университет спорта (ГЦОЛИФК)», Москва, Россия

²ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки спортивных команд» Москомспорта, Москва, Россия

³ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия

⁴ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Актуальность: Спорные подходы к изучению влияния белка различного происхождения на функциональные показатели скелетных мышц человека привели к ошибочному мнению, что белок растительного происхождения является меньшим стимулятором роста мышечной массы и мышечной силы, чем животный. В связи с этим целью данного систематического обзора являлась фактическая оценка влияния приема белка растительного и животного происхождения на мышечную массу и силу при помощи исследований, в которых сравниваются высокобелковые специализированные пищевые продукты для питания спортсменов (СПП).

Методы: Поиск литературы проводился в базах данных PubMed, Research Gate и базе данных Российской государственной библиотеки. Рассматривались исследования как на английском, так и на русском языках за последние 20 лет, с фильтром по дате: с июля 2002 по июль 2022 года. Критерии включения: здоровые мужчины и женщины старше 18 лет; прием высокобелковых СПП на основе белков растительного происхождения (соевые, пшеничные, гороховые, рисовые и т. д.); сравнение с группой, принимающей СПП на основе белков животного происхождения (сыросточные, говяжьи, яичные и т. д.); в исследованиях оценивались тощая и/или мышечная масса, а также мышечная сила участников до и после приема добавок; рандомизированное контролируемое исследование.

Результаты: Было найдено 970 исследований. После первичного отбора по названию и аннотации было исключено 938 исследований. Из отобранных 32 публикаций было исключено 5 дубликатов, а после вторичного отбора исключено 18 исследований, не соответствующих критериям PICOS. В результате поиска и отбора в обзор вошло 9 публикаций.

Выводы: Спортсмены и активные люди, которые предпочитают употреблять белковые продукты растительного происхождения, могут не уступать в показателях мышечной силы и мышечной массы тем атлетам, которые выбирают белковые продукты животного происхождения. Для дальнейшего изучения данной темы необходимо проведение большего количества рандомизированных контролируемых исследований с учетом требований к стандартизации и с большим числом участников.

Регистрация: PROSPERO 2022 CRD42022345245

Ключевые слова: мышечная масса, мышечная сила, растительный белок, животный белок, белковые добавки

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов.

Для цитирования: Мештель А.В., Рыбакова П.Д., Мирошников А.Б., Выборнов В.Д., Антонов А.Г., Ханферьян Р.А., Коростелева М.М. Белок растительного и животного происхождения в аспекте прироста мышечной массы и мышечной силы: систематический обзор. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2022;12(4):77–86. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.6>

Поступила в редакцию: 2.11.2022

Принята к публикации: 13.01.2023

Online first: 16.01.2023

Опубликована: 01.02.2023

* Автор, ответственный за переписку

Plant and animal protein for muscle mass and strength gains: a systematic review

Alexander V. Meshtel^{1,*}, Polina D. Rybakova^{1,2}, Alexander B. Miroshnikov², Vasily D. Vybornov², Aleksey G. Antonov², Roman A. Khanferyan³, Margarita M. Korosteleva^{3,4}

¹Russian University of Sports (GTsOLIFK), Moscow, Russia

²Center for Sports Innovative Technologies and Training of Sports Teams of Moskomspor, Moscow, Russia

³Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

⁴Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

ABSTRACT

Background: Controversial approaches to studying the effect of proteins of various origins on the functional parameters of human skeletal muscles have led to the erroneous opinion that plant-based protein is a lesser stimulator of muscle mass growth and muscle strength than animal protein. Therefore, the purpose of this systematic review was to actually evaluate the effects of plant and animal protein intake on muscle mass and strength through studies comparing protein supplements.

Methods: Literature search was carried out in the databases PubMed, Research Gate and the database of the Russian State Library. Studies were considered both in English and in Russian, over the past 20 years, filtered by date: from July 2002 to July 2022. Inclusion Criteria: Participants are healthy men and women over 18 years of age; taking protein supplements from plant products (soy, wheat, pea, rice, etc.); comparison with a group taking protein supplements from animal products (whey, beef, egg, etc.); studies assessed lean and/or muscle mass and assessed participants' muscle strength before and after supplementation; randomized controlled trial.

Results: A total of 970 studies were found. After initial screening for title and abstract, 938 studies were excluded. Of the 32 publications selected, 5 duplicates were excluded, and after a secondary selection, 18 studies that did not meet the PICOS criteria were excluded. As a result of the search and selection, the review included 9 publications.

Conclusions: Athletes and active individuals who prefer to consume plant-based protein products may not be inferior in terms of muscle strength and muscle mass to those athletes who prefer animal-based protein products. To further explore this topic, more randomized controlled trials should be conducted, taking into account the requirements for standardization and with a large number of participants.

Registration: PROSPERO 2022 CRD42022345245

Keywords: muscle mass, muscle strength, vegetable protein, animal protein, protein supplements

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

For citation: Meshtel A.V., Rybakova P.D., Miroshnikov A.B., Vybornov V.D., Antonov A.G., Khanferyan R.A., Korosteleva M.M. Plant and animal protein for muscle mass and strength gains: a systematic review. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2022;12(4):77–86. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.6>

Received: 2 November 2022

Accepted: 13 January 2023

Online first: 16 January 2023

Published: 1 February 2023

*Corresponding author

1. Актуальность

Увеличение мышечной массы и мышечной силы является естественной и неотъемлемой реакцией организма на силовую тренировку. Однако данная реакция невозможна без достаточного количества белка в рационе, что особенно актуально для спортсменов и людей, ведущих активный образ жизни. Систематический обзор Morton и соавт. повествует о том, что прием 1,6 г/кг массы тела в сутки — оптимальное количество белка для прироста мышечной массы в условиях силовых тренировок [1]. Как утверждается во многих исследованиях, немалую роль в увеличении мышечной массы играет именно источник белка, подразумевая, что белок растительного происхождения имеет более

низкую биодоступность и меньшее содержание незаменимых аминокислот [2–9]. Данное заявление вызывает дискуссии в связи с тем, что исследования, сравнивающие содержание аминокислот, показывают, что во многих растительных продуктах количество аминокислот не уступает, а иногда и превосходит животные продукты [10–13].

Кроме этого, ситуацию усугубляет приравнивание понятий «белок» и «продукт, содержащий белок». Так, в вышедшем в 2021 году систематическом обзоре и метаанализе [14] авторы изучили влияние различных источников белка на мышечную массу и мышечную силу, сделав следующие выводы: «Животный белок, как правило, оказывает более благоприятное влияние

на мышечную массу по сравнению с растительным белком, и польза от него более выражена у молодых людей...» Однако в критерии отбора вошла работа, где авторы сравнивают молоко и соевый напиток [15], также было включено исследование, в котором сравнивали говядину с соей [16], курицу и говядину с соей [17], что является спорным подходом при изучении влияния белка, так как соя содержит вещества, которые способны снизить всасываемость и усвояемость аминокислот [18].

Вышеперечисленные нюансы делают тему сравнения источников белка и их влияния на адаптацию к силовым тренировкам достаточно противоречивой, вызывая постоянные споры и дискуссии. В связи с этим целью данного систематического обзора являлась фактическая оценка влияния приема белка растительного и животного происхождения на мышечную массу и силу при помощи исследований, в которых сравниваются высокобелковые СПП.

2. Методы исследования

Данный обзор был проведен в соответствии с методологией Кокрановского сотрудничества [19] и представлен в соответствии с обновленными руководящими принципами PRISMA [20], а также зарегистрирован в PROSPERO (Центр обзоров и распространения, Йоркский университет; <http://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO>). Регистрационный номер CRD42022345245.

Стратегии поиска. Поиск производился тремя экспертами независимо: П. Д. Рыбакова производила поиск в базе данных «PubMed», А. Б. Мирошников производил поиск в базе данных «Research Gate», А. В. Мештель — в базе данных Российской государственной библиотеки (РГБ).

Поиск производился по ключевым словам « (Plant protein OR Soy protein OR Rice protein OR Pea protein OR Wheat protein) AND (Animal protein OR Whey protein OR Egg protein OR Beef protein) AND (Muscle mass OR Muscle strength) ». Рассматривались исследования как на английском, так и на русском языках за последние 20 лет (фильтр по дате — с июля 2002 по июль 2022 года).

Критерии включения. Чтобы исследование вошло в обзор, оно должно было соответствовать следующим критериям включения, основанным на системе PICOS (population — участники, intervention — вмешательство, comparison — сравнение, outcomes — результаты, study — исследование) [21]:

- P — участниками являются здоровые мужчины и женщины старше 18 лет;
- I — прием высокобелковых СПП на основе белков растительного происхождения (соевые, пшеничные, гороховые, рисовые и т. д.);
- C — сравнение с группой, принимающей высокобелковые СПП на основе белков животного происхождения (сывороточные, говяжьи, яичные и т. д.);

- O — в исследованиях оценивалась тощая и/или мышечная масса, а также оценивалась мышечная сила участников до и после приема добавок;

- S — рандомизированное контролируемое исследование.

Если исследование соответствовало всем критериям PICOS, то оно было включено в систематический обзор. Если у авторов, осуществляющих поиск и отбор исследований, возникали разногласия из-за включения/исключения работы в обзор, независимое решение принимал В. Д. Выборнов.

Оценка риска предвзятости (систематической ошибки). Оценка риска предвзятости производилась независимо авторами А. В. Мештель и П. Д. Рыбаковой при помощи Кокрановского инструмента оценки риска систематической ошибки «Risk of Bias 2» (RoB2, 2019) [22–23]. В случае разногласий по поводу оценки какого-либо исследования третий автор, А. Б. Мирошников, повторно производил оценку, на основании которой принималось решение.

3. Результаты

Всего в трех базах данных было найдено 970 исследований. После первичного отбора по названию и аннотации нами было исключено 938 исследований. Из отобранных 32 публикаций было исключено 5 дубликатов, а после вторичного отбора мы исключили 18 исследований, не соответствующих критериям PICOS. В результате поиска и отбора в обзор вошло 9 публикаций. На рисунке 1 изображена блок-схема, описывающая процесс отбора публикаций для систематического обзора.

В результате проведенной нами оценки риска предвзятости 2 исследования [24–25] были оценены как имеющие «высокий» уровень риска систематической ошибки, 4 исследования [26–29] имели «умеренный» риск систематической ошибки, и 3 работы [30–32] имели «низкий» риск предвзятости. Результаты оценки риска систематической ошибки представлены на рисунке 2.

В таблице 1 представлены исследования, вошедшие в систематический обзор.

4. Обсуждение результатов

Причины отказа от высокобелковых СПП животного происхождения могут являться следствием как каких-либо личных убеждений, так и проблем, связанных с их составом (непереносимость лактозы, аллергия на компоненты добавки и т. д.). Однако, согласно популярному мнению среди фитнес-контингента, высокобелковые СПП на основе растительных белков, как и традиционный белок растительного происхождения в целом, считаются более слабым продуктом для стимула мышечного роста и силовых показателей. Многие предыдущие исследования, оценивая влияния источника белка на эти показатели, подтвердили это мнение. Цель данного систематического обзора состояла в том, чтобы сравнить влияние белковых СПП как животного, так

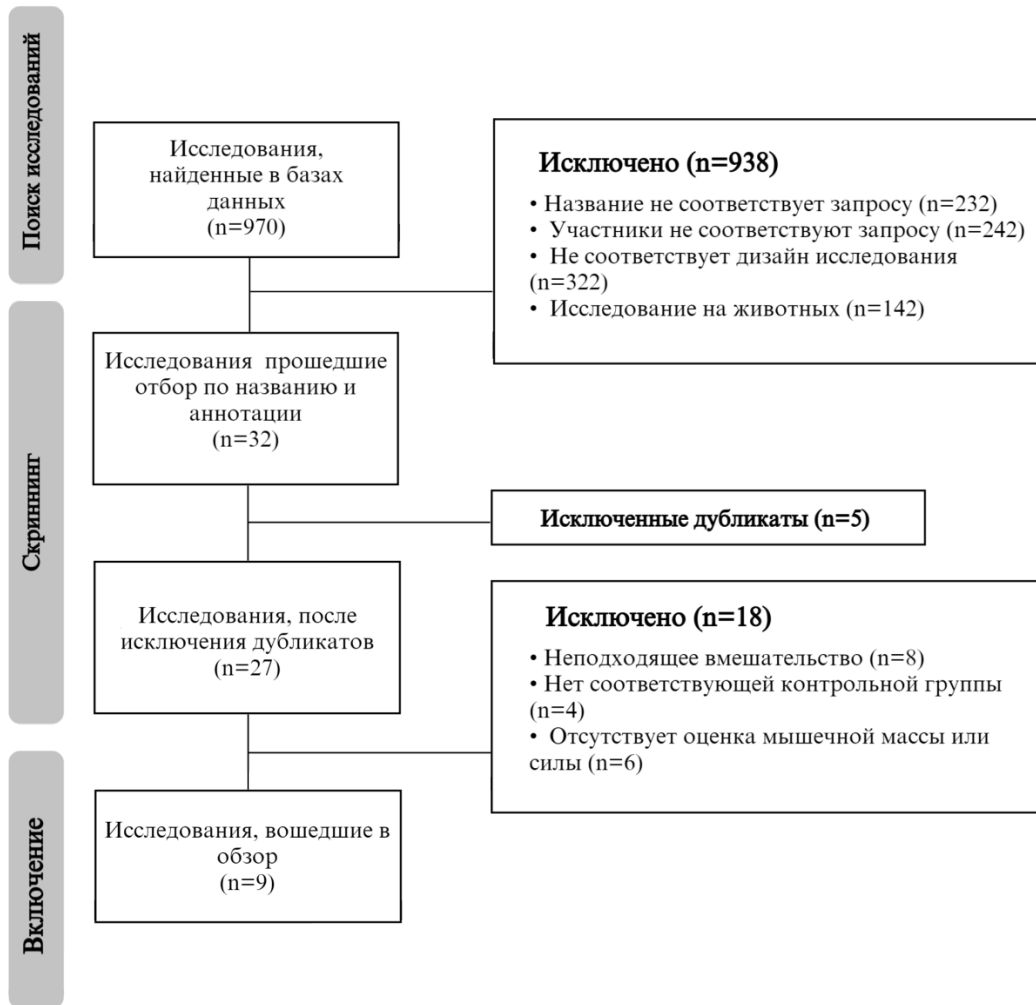


Рис. 1. Процесс поиска и отбора исследований
Fig. 1. Search and selection process

| Автор, год | Домены | | | | | Общий |
|------------------|--------|----|----|----|----|-------|
| | Д1 | Д2 | Д3 | Д4 | Д5 | |
| Babault, 2015 | ! | ! | + | + | ! | ! |
| Banaszek, 2019 | + | - | + | ! | + | - |
| Brown, 2004 | + | + | + | + | + | + |
| Candow, 2006 | + | + | ! | + | ! | ! |
| Denysschen, 2009 | ! | ! | ! | - | ! | - |
| Li, 2021 | + | + | + | + | + | + |
| Lynch, 2020 | + | + | + | + | + | + |
| Mobley, 2017 | + | + | ! | ! | + | ! |
| Moon, 2017 | + | ! | + | + | ! | ! |

+ Низкий риск
 ! Умеренный риск
 - Высокий риск

Рис. 2. Результаты оценки риска систематической ошибки
Fig. 2. Results of risk assessment of bias

Домены:

- Д1 - Риск систематической ошибки, связанный с процессом рандомизации
- Д2 - Риск систематической ошибки из-за отклонений от намеченных вмешательств
- Д3 - Риск систематической ошибки из-за отсутствия данных о результатах
- Д4 - Риск систематической ошибки, возникшей при получении результата
- Д5 - Риск систематической ошибки из-за выбора сообщаемого результата

Таблица 1

Описание исследований, вошедших в систематический обзор

Table 1

Description of studies included in the systematic review

| Ссылка | Участники | Группы | Результат |
|------------------|---|---|---|
| Babault, 2015 | Здоровые мужчины, 18–35 лет ($n = 161$) | ГОР ($n = 53$), СЫВ ($n = 54$) и ПЛА ($n = 54$) | Обе добавки способствовали увеличению СММ и мышечной силы в сравнении с ПЛА. Между группами, принимавшими ГОР и СЫВ, различий не наблюдалось |
| Banaszek, 2019 | Тренированные мужчины 38 ± 12 лет ($n = 8$) и женщины 38 ± 10 лет ($n = 7$) | СЫВ ($n = 8$) и ГОР ($n = 7$) | Были получены схожие результаты между группами в увеличении СММ и мышечной силы |
| Brown, 2004 | Тренированные мужчины 19–25 лет (27) | СЫВ ($n = 9$), СОЯ ($n = 9$), КОНТР ($n = 9$) | Как в группе СОЯ, так и в группе СЫВ наблюдался прирост СММ, но в группе КОНТР, где использовались только тренировки, роста СММ не наблюдалось |
| Candow, 2006 | Здоровые мужчины ($n = 9$) и женщины ($n = 18$) в возрасте от 18 до 35 лет | СОЯ ($n = 9$), СЫВ ($n = 9$), ПЛА ($n = 9$) | Белковые добавки во время силовых тренировок, независимо от источника белка, одинаково увеличивали СММ и мышечную силу по сравнению с изокалорийным ПЛА и силовыми тренировками |
| DeNysschen, 2009 | Здоровые мужчины 21–50 лет ($n = 28$) | СОЯ ($n = 9$), СЫВ ($n = 10$), КОНТР ($n = 9$) | Прирост СММ и мышечной силы отмечен во всех группах, без различий между ними |
| Li, 2021 | Здоровые пожилые (65–79 лет), 62 женщины и 61 мужчина ($n = 123$) | СОЯ ($n = 31$), СЫВ ($n = 31$), СОЯ+СЫВ ($n = 31$), КОНТР ($n = 30$) | Не наблюдалось различий между группами СОЯ, СЫВ, СОЯ + СЫВ |
| Lynch, 2020 | Здоровые мужчины ($n = 19$) и женщины ($n = 42$), 18–35 лет | СЫВ ($n = 31$), СОЯ ($n = 30$) | Как СЫВ, так и СОЯ показали значительный прирост СММ и мышечной силы без различий между группами |
| Mobley, 2017 | Здоровые мужчины ($n = 75$), возраст 21 ± 1 год | ПЛА ($n = 15$), СЫВ ($n = 17$), ГСЫВ ($n = 14$), ЛЕЙ ($n = 14$), СОЯ ($n = 15$) | Ни добавки ЛЕЙ, ни другие протеиновые добавки не дали преимуществ в сравнении с ПЛА |
| Moon, 2017 | Здоровые тренированные мужчины 32 ± 6 лет ($n = 24$) | РИС ($n = 12$), СЫВ ($n = 12$) | Нет различий в приросте мышечной силы и СММ между группами при приеме 24 г добавок |

Примечание: ГОР — гороховый протеин, ГСЫВ — гидролизат сывороточного протеина, КОНТР — контрольная группа, ЛЕЙ — лейцин, ПЛА — плацебо, РИС — рисовый протеин, СММ — скелетно-мышечная масса, СОЯ — соевый протеин, СЫВ — концентрат сывороточного протеина.

Note: ГОР — pea protein, ГСЫВ — whey protein hydrolyzate, КОНТР — control group, ЛЕЙ — leucin, ПЛА — placebo, РИС — rice protein, СММ — skeletal muscle mass, СОЯ — soy protein, СЫВ — concentrate whey protein.

и растительного происхождения на мышечную массу и силу.

В исследовании, которое проводили Babault и соавт., использовались СПП на основе белков гороха и молочной сыворотки, которые сравнивались с плацебо. Участникам давали 45 г порошка, который содержал 25 г белка (в случае с плацебо количество белка не превышало 2 г в порции) в сочетании с тренировками 3 раза в неделю. Было отмечено, что во всех группах, кроме плацебо, мышечная масса и сила увеличились без различий между группами [26]. В другом исследовании, авторами которого являлись Banaszek и соавт., были получены схожие выводы, а испытуемым давали ~ 25 г сывороточного или горохового белка в сочетании с 9 неделями высокоинтенсивных тренировок [24]. Похожее исследование было проведено в 2020 году Moon и соавт., где сравнивался прием

рисового и соевого протеина, в результате чего авторы не наблюдали различий между группами [29].

Brown и соавт. в своем исследовании 2004 года использовали высокобелковые батончики, содержащие 11 г соевого или сывороточного белка (3 раза в сутки), но приготовленные по одному рецепту, в эксперименте также участвовала контрольная группа, которая не принимала высокобелковые СПП. Авторы сделали вывод, что и соевый, и сывороточный белок приводил к увеличению мышечной силы и массы (в контрольной группе прирост не наблюдался), однако дополнительным преимуществом было увеличение антиоксидантного статуса плазмы крови [30].

В исследовании Candow и соавт. [27] был использован другой подход к протоколу приема СПП. Авторы использовали 1,2 г добавки соевого и сывороточного протеина

(или мальтодекстрина для плацебо-группы) на 1 кг массы тела в сочетании с тремя тренировками в неделю. Результаты соответствовали трем предыдущим исследованиям, прирост был больше, чем в группе плацебо, однако не различался между экспериментальными группами.

Работа DeNysschen и соавт. хоть и подтвердила предыдущие результаты, в которых говорится об отсутствии различий между группами сыворотки и сои; в этом исследовании авторы не обнаружили различий между экспериментальными группами и группой плацебо, что говорит об отсутствии необходимости в дополнительном приеме высокобелковых СПП на фоне сбалансированного рациона питания с достаточным содержанием белка. Авторы заключили: «Все 3 группы продемонстрировали значительное увеличение силы в среднем на 47 % во всех основных группах мышц и значительное увеличение безжировой массы (2,6 %), без каких-либо различий между группами» [25].

Результаты исследования Li и соавт. [31] совпадают с результатами большинства исследований, вошедших в данный обзор, за исключением добавления группы, принимающей СПП комбинированного состава, содержащие как соевый, так и сывороточный протеин, однако в данной работе также не было различий между тремя экспериментальными группами. Участники данного исследования принимали 10 г порошка, содержащего ~8,5 г белка (кроме контрольной группы).

Lynch и соавт. в исследовании 2020 года подошли к данному вопросу с точки зрения «порога лейцина» — подхода, который подразумевает, что для роста мышечной массы необходимо ~2 г лейцина [32]. Так, они использовали 19 г изолята сывороточного белка и 26 г изолята соевого белка, что в сумме давало 2 г лейцина в каждой группе. В совокупности с тренировками авторы в результате получили прирост в обеих группах без различий между ними.

Исследование Mobley и соавт. 2017 года имело более сложный дизайн, который включал в себя несколько исследуемых исходов [28]. Однако результаты оценки белковых добавок и лейцина не имели преимуществ перед плацебо. Во всех группах результат был достоверно значим, однако различий между ними в итоге не было. Но авторами было отмечено, что добавки сывороточного протеина увеличивают количество клеток-сателлитов в мышцах, что также требует дальнейшего изучения.

Вклад авторов:

Мештель Александр Виталиевич, Рыбакова Полина Денисовна — анализ литературных данных, написание статьи.

Антонов Алексей Геннадиевич, Мирошников Александр Борисович, Выборнов Василий Дмитриевич — написание текста статьи, утверждение финальной версии статьи.

Ханферьян Роман Авакович, Коростелева Маргарита Михайловна — написание текста статьи, редактирование.

5. Ограничения и сильные стороны

Главным ограничением систематического обзора является малое число исследований с низким риском предвзятости. Из 9 исследований всего 3 оценены как имеющие низкий риск предвзятости, что может сказываться на общих выводах данного исследования. Также ограничением является неясность того, какое место имели высокобелковые СПП в рационе участников: были эти добавки учтены при расчете общей потребности в белке либо принимались сверх нормы физиологической потребности. Проблема также в том, что рацион не был стандартизирован в большинстве исследований. В одном исследовании авторы заявили, что рацион никак не контролировался на протяжении всего исследования [26], в некоторых исследованиях авторы оставили привычные рационы, дополнив это контролем дневника питания [24, 27, 28, 32]. Только в трех исследованиях авторы заявили, что рацион был стандартизирован, и белковые СПП были включены в общее количество потребляемого белка [25, 29, 31].

Сильной стороной данного систематического обзора является изучение влияния источника белка не в форме продукта (соя, мяса, молока), а практически в чистом виде, когда другие пищевые вещества, которые могут ухудшить его всасываемость и усвояемость, были исключены.

6. Заключение

Результаты данного систематического обзора свидетельствуют о том, что не имеет значения источник белка, когда целью является наращивание мышечной массы и мышечной силы. Поэтому спортсмены и активные люди, которые по каким-либо причинам предпочитают употреблять белковые продукты растительного происхождения, могут не уступать в показателях мышечной силы и мышечной массы тем атлетам, которые предпочитают белковые продукты животного происхождения. Данный обзор позволяет оценить рациональность разделения высокобелковых СПП на растительные и животные по влиянию на результаты адаптации к силовым тренировкам.

Для дальнейшего изучения данной темы необходимо проведение большего количества рандомизированных контролируемых исследований с учетом требований к стандартизации и с большим числом участников.

Authors' contribution:

Alexander V. Meshtel, Polina D. Rybakova — analysis of literature data, writing an article.

Alexey G. Antonov, Alexander B. Miroshnikov, Vasily D. Vybornov — writing the text of the article, approval of the final version of the article.

Roman A. Khanferyan, Margarita M. Korosteleva — writing the text of the article, editing.

Литература

1. Morton R.W., Murphy K.T., McKellar S.R., Schoenfeld B.J., Henselmans M., Helms E., et al. A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *Br. J. Sports Med.* 2018;52(6):376–384. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097608>
2. Elango R., Levesque C., Ball R.O., Pencharz P.B. Available versus digestible amino acids — new stable isotope methods. *Br. J. Nutr.* 2012;108(2):S306–314. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002498>
3. Sarwar Gilani G., Wu Xiao C., Cockell K.A. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *Br. J. Nutr.* 2012;108(2):S315–332. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002371>
4. Hollmann M., Allen M.S., Beede D.K. Dietary protein quality and quantity affect lactational responses to corn distillers grains: a meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 2011;94(4):2022–2030. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3712>
5. Tome D. Criteria and markers for protein quality assessment — a review. *Br. J. Nutr.* 2012;108(2):S222–229. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002565>
6. Loenneke J.P., Wilson J.M., Manninen A.H., Wray M.E., Barnes J.T., Pujol T.J. Quality protein intake is inversely related with abdominal fat. *Nutr. Metab. (Lond.)* 2012;9(1):5. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-9-5>
7. Phillips S.M., Chevalier S., Leidy H.J. Protein "requirements" beyond the RDA: implications for optimizing health. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2016;41(5):565–572. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0550>
8. Iizuka K. Protein Amount, Quality, and Physical Activity. *Nutrients.* 2021;13(11):3720. <https://doi.org/10.3390/nu13113720>
9. Coelho-Junior H.J., Marzetti E., Picca A., Cesari M., Uchida M.C., Calvani R. Protein Intake and Frailty: A Matter of Quantity, Quality, and Timing. *Nutrients.* 2020;12(10):2915. <https://doi.org/10.3390/nu12102915>
10. van Vliet S., Burd N.A., van Loon L.J. The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein Consumption. *J. Nutr.* 2015;145(9):1981–1991. <https://doi.org/10.3945/jn.114.204305>
11. Gardner C.D., Hartle J.C., Garrett R.D., Offringa L.C., Wasserman A.S. Maximizing the intersection of human health and the health of the environment with regard to the amount and type of protein produced and consumed in the United States. *Nutr. Rev.* 2019;77(4):197–215. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy073>
12. Schmidt J.A., Rinaldi S., Scalbert A., et al. Plasma concentrations and intakes of amino acids in male meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans: a cross-sectional analysis in the EPIC-Oxford cohort. *Eur. J. Clin. Nutr.* 2016;70(3):306–312. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2015.144>
13. Rand W.M., Pellett P.L., Young V.R. Meta-analysis of nitrogen balance studies for estimating protein requirements in healthy adults. *Am. J. Clin. Nutr.* 2003;77(1):109–227. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.1.109>
14. Lim M.T., Pan B.J., Toh D.W.K., Sutanto C.N., Kim J.E. Animal Protein versus Plant Protein in Supporting Lean Mass and Muscle Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients.* 2021;13(2):661. <https://doi.org/10.3390/nu13020661>

References

1. Morton R.W., Murphy K.T., McKellar S.R., Schoenfeld B.J., Henselmans M., Helms E., et al. A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *Br. J. Sports Med.* 2018;52(6):376–384. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097608>
2. Elango R., Levesque C., Ball R.O., Pencharz P.B. Available versus digestible amino acids — new stable isotope methods. *Br. J. Nutr.* 2012;108(2):S306–314. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002498>
3. Sarwar Gilani G., Wu Xiao C., Cockell K.A. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *Br. J. Nutr.* 2012;108(2):S315–332. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002371>
4. Hollmann M., Allen M.S., Beede D.K. Dietary protein quality and quantity affect lactational responses to corn distillers grains: a meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 2011;94(4):2022–2030. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3712>
5. Tome D. Criteria and markers for protein quality assessment — a review. *Br. J. Nutr.* 2012;108(2):S222–229. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002565>
6. Loenneke J.P., Wilson J.M., Manninen A.H., Wray M.E., Barnes J.T., Pujol T.J. Quality protein intake is inversely related with abdominal fat. *Nutr. Metab. (Lond.)* 2012;9(1):5. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-9-5>
7. Phillips S.M., Chevalier S., Leidy H.J. Protein "requirements" beyond the RDA: implications for optimizing health. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2016;41(5):565–572. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0550>
8. Iizuka K. Protein Amount, Quality, and Physical Activity. *Nutrients.* 2021;13(11):3720. <https://doi.org/10.3390/nu13113720>
9. Coelho-Junior H.J., Marzetti E., Picca A., Cesari M., Uchida M.C., Calvani R. Protein Intake and Frailty: A Matter of Quantity, Quality, and Timing. *Nutrients.* 2020;12(10):2915. <https://doi.org/10.3390/nu12102915>
10. van Vliet S., Burd N.A., van Loon L.J. The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein Consumption. *J. Nutr.* 2015;145(9):1981–1991. <https://doi.org/10.3945/jn.114.204305>
11. Gardner C.D., Hartle J.C., Garrett R.D., Offringa L.C., Wasserman A.S. Maximizing the intersection of human health and the health of the environment with regard to the amount and type of protein produced and consumed in the United States. *Nutr. Rev.* 2019;77(4):197–215. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy073>
12. Schmidt J.A., Rinaldi S., Scalbert A., et al. Plasma concentrations and intakes of amino acids in male meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans: a cross-sectional analysis in the EPIC-Oxford cohort. *Eur. J. Clin. Nutr.* 2016;70(3):306–312. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2015.144>
13. Rand W.M., Pellett P.L., Young V.R. Meta-analysis of nitrogen balance studies for estimating protein requirements in healthy adults. *Am. J. Clin. Nutr.* 2003;77(1):109–227. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.1.109>
14. Lim M.T., Pan B.J., Toh D.W.K., Sutanto C.N., Kim J.E. Animal Protein versus Plant Protein in Supporting Lean Mass and Muscle Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients.* 2021;13(2):661. <https://doi.org/10.3390/nu13020661>

15. Hartman J.W., Tang J.E., Wilkinson S.B., Tarnopolsky M.A., Lawrence R.L., Fullerton A.V., Phillips S.M. Consumption of fat-free fluid milk after resistance exercise promotes greater lean mass accretion than does consumption of soy or carbohydrate in young, novice, male weightlifters. *Am. J. Clin. Nutr.* 2007;86(2):373–381. <https://doi.org/10.1093/ajcn/86.2.373>

16. Haub M.D., Wells A.M., Tarnopolsky M.A., Campbell W.W. Effect of protein source on resistive-training-induced changes in body composition and muscle size in older men. *Am. J. Clin. Nutr.* 2002;76(3):511–517. [10.1093/ajcn/76.3.511](https://doi.org/10.1093/ajcn/76.3.511)

17. Neacsu M., Fyfe C., Horgan G., Johnstone A.M. Appetite control and biomarkers of satiety with vegetarian (soy) and meat-based high-protein diets for weight loss in obese men: a randomized crossover trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 2014;100(2):548–558. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.077503>

18. Moughan P.J., Wolfe R.R. Determination of Dietary Amino Acid Digestibility in Humans. *J. Nutr.* 2019;149(12):2101–2109. <https://doi.org/10.1093/jn/nxz211>

19. Cumpston M., Li T., Page M.J., Chandler J., Welch V.A., Higgins J.Pt., Thomas J. Updated guidance for trusted systematic reviews: a new edition of the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2019;10:ED000142. <https://doi.org/10.1002/14651858.ED000142>

20. Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., Boutron I., Hoffmann T.C., Mulrow C.D., et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic review. *J. Clin. Epidemiol.* 2021;134:178–189. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.03.001>

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

22. Sterne J.A.C., Savović J., Page M.J., Elbers R.G., Blencowe N.S., Boutron I., et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *Br. Med. J.* 2019;366:14898. <https://doi.org/10.1136/bmj.l4898>

23. Barcot O., Ivanda M., Buljan I., Pieper D., Puljak L. Enhanced access to recommendations from the Cochrane Handbook for improving authors' judgments about risk of bias: A randomized controlled trial. *Res.Synth. Methods.* 2021;12(5):618–629. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1499>

24. Banaszek A., Townsend J.R., Bender D., Vantrease W.C., Marshall A.C., Johnson K.D. The Effects of Whey vs. Pea Protein on Physical Adaptations Following 8-Weeks of High-Intensity Functional Training (HIFT): A Pilot Study. *Sports (Basel).* 2019;7(1):12. <https://doi.org/10.3390/sports7010012>

25. Denysschen C.A., Burton H.W., Horvath P.J., Leddy J.J., Browne R.W. Resistance training with soy vs whey protein supplements in hyperlipidemic males. *J. Inter. Soc. Sports Nutr.* 2009;11:6–8. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-6-8>

26. Babault N., Paizis C., Deley G., Guérin-Deremaux L., Sanniez M.-H., Lefranc-Millot C., Allaert F.A. Pea proteins oral supplementation promotes muscle thickness gains during resistance training: a double-blind, randomized, Placebo-controlled clinical trial vs. Whey protein. *J. Inter. Soc. Sports Nutr.* 2015;12(1):3. <https://doi.org/10.1186/s12970-014-0064-5>

27. Candow D.G., Burke N.C., Smith-Palmer T., Burke D.G. Effect of whey and soy protein supplementation combined with resistance training in young adults. *Inter. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2006;16(3):233–244. <https://doi.org/10.1123/ijnsnem.16.3.233>

28. Mobley C.B., Haun C.T., Roberson P.A., Mumford P.W., Romero M.A., Kephart W.C. Effects of Whey, Soy or Leucine Supplementation with 12 Weeks of Resistance Training on Strength,

15. Hartman J.W., Tang J.E., Wilkinson S.B., Tarnopolsky M.A., Lawrence R.L., Fullerton A.V., Phillips S.M. Consumption of fat-free fluid milk after resistance exercise promotes greater lean mass accretion than does consumption of soy or carbohydrate in young, novice, male weightlifters. *Am. J. Clin. Nutr.* 2007;86(2):373–381. <https://doi.org/10.1093/ajcn/86.2.373>

16. Haub M.D., Wells A.M., Tarnopolsky M.A., Campbell W.W. Effect of protein source on resistive-training-induced changes in body composition and muscle size in older men. *Am. J. Clin. Nutr.* 2002;76(3):511–517. [10.1093/ajcn/76.3.511](https://doi.org/10.1093/ajcn/76.3.511)

17. Neacsu M., Fyfe C., Horgan G., Johnstone A.M. Appetite control and biomarkers of satiety with vegetarian (soy) and meat-based high-protein diets for weight loss in obese men: a randomized crossover trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 2014;100(2):548–558. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.077503>

18. Moughan P.J., Wolfe R.R. Determination of Dietary Amino Acid Digestibility in Humans. *J. Nutr.* 2019;149(12):2101–2109. <https://doi.org/10.1093/jn/nxz211>

19. Cumpston M., Li T., Page M.J., Chandler J., Welch V.A., Higgins J.Pt., Thomas J. Updated guidance for trusted systematic reviews: a new edition of the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2019;10:ED000142. <https://doi.org/10.1002/14651858.ED000142>

20. Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., Boutron I., Hoffmann T.C., Mulrow C.D., et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic review. *J. Clin. Epidemiol.* 2021;134:178–189. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.03.001>

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

22. Sterne J.A.C., Savović J., Page M.J., Elbers R.G., Blencowe N.S., Boutron I., et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *Br. Med. J.* 2019;366:14898. <https://doi.org/10.1136/bmj.l4898>

23. Barcot O., Ivanda M., Buljan I., Pieper D., Puljak L. Enhanced access to recommendations from the Cochrane Handbook for improving authors' judgments about risk of bias: A randomized controlled trial. *Res.Synth. Methods.* 2021;12(5):618–629. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1499>

24. Banaszek A., Townsend J.R., Bender D., Vantrease W.C., Marshall A.C., Johnson K.D. The Effects of Whey vs. Pea Protein on Physical Adaptations Following 8-Weeks of High-Intensity Functional Training (HIFT): A Pilot Study. *Sports (Basel).* 2019;7(1):12. <https://doi.org/10.3390/sports7010012>

25. Denysschen C.A., Burton H.W., Horvath P.J., Leddy J.J., Browne R.W. Resistance training with soy vs whey protein supplements in hyperlipidemic males. *J. Inter. Soc. Sports Nutr.* 2009;11:6–8. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-6-8>

26. Babault N., Paizis C., Deley G., Guérin-Deremaux L., Sanniez M.-H., Lefranc-Millot C., Allaert F.A. Pea proteins oral supplementation promotes muscle thickness gains during resistance training: a double-blind, randomized, Placebo-controlled clinical trial vs. Whey protein. *J. Inter. Soc. Sports Nutr.* 2015;12(1):3. <https://doi.org/10.1186/s12970-014-0064-5>

27. Candow D.G., Burke N.C., Smith-Palmer T., Burke D.G. Effect of whey and soy protein supplementation combined with resistance training in young adults. *Inter. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2006;16(3):233–244. <https://doi.org/10.1123/ijnsnem.16.3.233>

28. Mobley C.B., Haun C.T., Roberson P.A., Mumford P.W., Romero M.A., Kephart W.C. Effects of Whey, Soy or Leucine Supplementation with 12 Weeks of Resistance Training on Strength,

Body Composition, and Skeletal Muscle and Adipose Tissue Histological Attributes in College-Aged Males. *Nutrients*. 2017;9(9):972. <https://doi.org/10.3390/nu9090972>

29. Moon J.M., Ratliff K.M., Blumkaitis J.C., Harty P.S., Zabriskie H.A., Stecker R.A., et al. Effects of daily 24-gram doses of rice or whey protein on resistance training adaptations in trained males. *J. Inter. Soc. Sports Nutr.* 2020;17(1):60. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00394-1>

30. Brown E.C., DiSilvestro R.A., Babaknia A., Devor S.T. Soy versus whey protein bars: effects on exercise training impact on lean body mass and antioxidant status. *Nutr. J.* 2004;8:3–22. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-3-22>

31. Li C., Meng H., Wu S., Fang A., Liao G., Tan X., et al. Daily Supplementation With Whey, Soy, or Whey-Soy Blended Protein for 6 Months Maintained Lean Muscle Mass and Physical Performance in Older Adults With Low Lean Mass. *J. Acad. Nutr. Diet.* 2021;121(6):1035–1048. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2021.01.006>

32. Lynch H.M., Buman M.P., Dickinson J.M., Ransdell L.B., Johnston C.S., Wharton C.M. No Significant Differences in Muscle Growth and Strength Development When Consuming Soy and Whey Protein Supplements Matched for Leucine Following a 12 Week Resistance Training Program in Men and Women: A Randomized Trial. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2020;17(11):3871. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113871>

Body Composition, and Skeletal Muscle and Adipose Tissue Histological Attributes in College-Aged Males. *Nutrients*. 2017;9(9):972. <https://doi.org/10.3390/nu9090972>

29. Moon J.M., Ratliff K.M., Blumkaitis J.C., Harty P.S., Zabriskie H.A., Stecker R.A., et al. Effects of daily 24-gram doses of rice or whey protein on resistance training adaptations in trained males. *J. Inter. Soc. Sports Nutr.* 2020;17(1):60. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00394-1>

30. Brown E.C., DiSilvestro R.A., Babaknia A., Devor S.T. Soy versus whey protein bars: effects on exercise training impact on lean body mass and antioxidant status. *Nutr. J.* 2004;8:3–22. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-3-22>

31. Li C., Meng H., Wu S., Fang A., Liao G., Tan X., et al. Daily Supplementation With Whey, Soy, or Whey-Soy Blended Protein for 6 Months Maintained Lean Muscle Mass and Physical Performance in Older Adults With Low Lean Mass. *J. Acad. Nutr. Diet.* 2021;121(6):1035–1048. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2021.01.006>

32. Lynch H.M., Buman M.P., Dickinson J.M., Ransdell L.B., Johnston C.S., Wharton C.M. No Significant Differences in Muscle Growth and Strength Development When Consuming Soy and Whey Protein Supplements Matched for Leucine Following a 12 Week Resistance Training Program in Men and Women: A Randomized Trial. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2020;17(11):3871. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113871>

Информация об авторах:

Мештель Александр Виталиевич*, магистрант кафедры спортивной медицины, ФГБОУ ВО «Российский университет спорта (ГЦОЛИФК)», Россия, 105122, Москва, Сиреневый бульвар, 4. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4982-5615> (meshtel.author@yandex.ru; тел.: +7 (495) 961-31-11)

Рыбакова Полина Денисовна, магистрант кафедры спортивной медицины, специалист по комплексному научно-методическому сопровождению спортсменов, ФГБОУ ВО «Российский университет спорта (ГЦОЛИФК)», Россия, 105122, Москва, Сиреневый бульвар, 4. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1165-6518> (e-mail: rybakova.poly@yandex.ru; тел.: +7 (495) 961-31-11)

Мирошников Александр Борисович, к.б.н., доцент кафедры спортивной медицины, ФГБОУ ВО «Российский университет спорта (ГЦОЛИФК)», Россия, 105122, Москва, Сиреневый бульвар, 4. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4030-0302> (benedikt116@mail.ru; тел.: +7 (495) 961-31-11)

Выборнов Василий Дмитриевич, к.б.н., заместитель директора по медико-биологическому и научно-методическому сопровождению ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки спортивных команд» Москомспорта, Россия, Москва, ул. Советской Армии, 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9522-8328> (v.vybornov84@gmail.com; тел.: 7 (495) 788-11-11)

Антонов Алексей Геннадиевич, специалист по комплексному научно-методическому сопровождению спортсменов, ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки спортивных команд» Москомспорта, Россия, Москва, ул. Советской Армии, 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3409-4485> (v.vybornov84@gmail.com.; тел.: 7 (495) 788-11-11)

Ханферьян Роман Авакович, профессор кафедры иммунологии и аллергологии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», 117198, Россия, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. ORCID: <https://orcid.org/0000000311787534>

Коростелева Маргарита Михайловна, к.м.н., вр. и. о. с.н.с. лаборатории спортивной антропологии и нутрициологии, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии», Россия, 109240, Москва, Устьинский пр., 2/14, стр. 1; 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:

Alexander V. Meshtel*, undergraduate of the Department of Sports Medicine, Russian University of Sports (GTSOLIFK), 4 Sirenevy boulevard, Moscow, 105122, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4982-5615> (meshtel.author@yandex.ru; tel.: +7 (495) 961-31-11)

Polina D. Rybakova, undergraduate of the Department of Sports Medicine, specialist in complex scientific and methodological support for athletes, Russian University of Sports (GTSOLIFK), 4 Sirenevy boulevard, Moscow, 105122, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1165-6518> (rybakova.poly@yandex.ru; tel.: +7 (495) 961-31-11)

Alexander B. Miroshnikov, Ph.D. (Biology), Associate Professor of the Department of Sports Medicine, Russian University of Sports (GTSOLIFK), 4 Sirenevy Boulevard, Moscow, 105122, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4030-0302> (benedikt116@mail.ru; tel.: +7 (495) 961-31-11)

Vasily D. Vybornov, Ph.D. (Biology), Deputy Director for Biomedical and Scientific and Methodological Support, Center for Sports Innovative Technologies and Training of Sports Teams Moskomspor, 6 str. Soviet Army, Moscow, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9522-8328> (v.vybornov84@gmail.com; tel.: 7 (495) 788-11-11)

Aleksey G. Antonov, specialist in complex scientific and methodological support for athletes, Center for Sports Innovative Technologies and Training of Sports Teams Moskomspor, 6 str. Soviet Army, Moscow, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3409-4485> (v.vybornov84@gmail.com; tel.: 7 (495) 788-11-11)

Roman A. Khanferyan, Professor of the Department of Immunology and Allergology, Peoples' Friendship University of Russia, 6 str. Miklukho-Maclay, Moscow, 117198, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1178-7534>

Margarita M. Korosteleva, Ph.D. (Medicine), Acting senior researcher laboratories of sports anthropology and nutrition, FIC Nutrition and Biotechnology, 2/14c1 Ustyinsky pr., Moscow, 109240, Russia; Peoples' Friendship University of Russia, 6 str. Miklukho-Maclay, Moscow, 117198, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2279-648X> (korostel@bk.ru)



Оценка психофизиологического и функционального состояния студенток-баскетболисток в предсоревновательном периоде

С.М. Рябцев, Т.А. Жмурова*

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: оценка психофизиологического и функционального состояния организма студенток-баскетболисток в предсоревновательном периоде.

Материалы и методы: в исследовании принимали участие студентки-баскетболистки, имеющие спортивный разряд (девушки, $n = 18$), в предсоревновательном периоде. В статье представлен анализ результатов психофизиологического и функционального состояния организма обследуемых, полученных посредством применения комплексного контроля с использованием психодиагностических и функциональных методов исследования.

Результаты: показатели психодиагностических методик характеризуют недостаточное развитие исследуемых свойств внимания для занимающихся игровыми видами спорта и тренированность функциональных способностей ведущей руки баскетболисток. Выявленные данные теплинг-теста соответствуют критерию нижней границы оптимальной работоспособности, что обуславливает недостаточную физическую готовность к соревновательной деятельности. Полученные результаты временных и спектральных показателей вариабельности сердечного ритма не являлись характерными для студентов, занимающихся игровыми видами спорта, что обуславливает повышение степени напряжения регуляторных систем и характеризует развитие состояния утомления в предсоревновательном периоде обследуемых спортсменок. Применение спирометрического метода определило несоответствие полученных результатов к должным величинам, характерных для весоростовых параметров обследуемых, что свидетельствует о нарушениях вентиляторной функции легких и сниженных возможностях дыхательной мускулатуры студенток-баскетболисток.

Заключение: анализ полученных данных психофизиологического и функционального состояния организма студенток-баскетболисток в предсоревновательном периоде определяют необходимость построения тренировочного процесса с включением психологического педагогического тренинга, направленного на расширение физиологических резервов функциональных систем, совершенствование психомоторных свойств организма, определяющих успешность соревновательной деятельности и увеличения доли тренировочного воздействия, направленного на совершенствование качества силовой выносливости.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, психофизиологическое состояние, функциональное состояние, психодиагностические методики, спирометрия, студентки, баскетболистки

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Рябцев С.М., Жмурова Т.А. Оценка психофизиологического и функционального состояния студенток-баскетболисток в предсоревновательном периоде. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2022;12(4):87–92. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.10>

Поступила в редакцию: 30.05.2022

Принята к публикации: 10.12.2022

Online first: 15.12.2022

Опубликована: 01.02.2023

*Автор, ответственный за переписку

Assessment of the psychophysiological and functional state of basketball students in the pre-competition period

Sergey M. Ryabtsev, Tatyana A. Zhmurova*

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

ABSTRACT

Objective: to assess the psychophysiological and functional state of the body of basketball students in the pre-competition period.

Materials and methods: the study involved female basketball students with a sports category (girls, $n = 18$) in the pre-competition period. The article presents an analysis of the results of the psychophysiological and functional state of the body of the examined, obtained through the use of complex control using psychodiagnostic and functional research methods.

Results: indicators of psychodiagnostic techniques characterize the insufficient development of the studied properties of attention for those engaged in playing sports and the fitness of the functional abilities of the leading hand of basketball players. The revealed data of the tapping test correspond to the criterion of the lower limit of optimal performance, which causes insufficient physical readiness for competitive activity. The obtained results of temporal and spectral indicators of heart rate variability were not typical for students engaged in playing sports, which causes an increase in the degree of tension of regulatory systems and characterizes the development of fatigue in the pre-competition period of the surveyed athletes. The use of the spirometric method determined the discrepancy between the results obtained and the proper values characteristic of the weight and height parameters of the subjects, which indicates violations of the ventilatory function of the lungs and reduced respiratory musculature capabilities of basketball students.

Conclusion: the analysis of the obtained data on the psychophysiological and functional state of the body of basketball students in the pre-competition period determines the need to build a training process with the inclusion of psychological and pedagogical training aimed at expanding the physiological reserves of functional systems, improving the psychomotor properties of the body that determine the success of competitive activity and increasing the share of training effects aimed at improving the quality of strength endurance.

Keywords: heart rate variability, psychophysiological state, functional state, psychodiagnostic techniques, spirometry, students, basketball players

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

For citation: Ryabtsev S.M., Zhmurova T.A. Assessment of the psychophysiological and functional state of basketball students in the pre-competition period. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2022;12(4):87–92. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.4.10>

Received: 30 May 2022

Accepted: 10 December 2022

Online first: 15 December 2022

Published: 1 February 2023

*Corresponding author

1. Введение

По мнению Е. А. Гавриловой (2015), успех спортивной деятельности зависит не только от эффективности тренировочного процесса, но и в значительной мере от физиологических резервов спортсмена [1]. Современный баскетбол как сложнокордиационный вид спорта предъявляет высокие требования к уровню физической подготовленности, требует развития всех свойств внимания, тем самым определяя повышенные требования к психомоторным возможностям спортсмена. Уровень функционального состояния организма спортсмена является одним из основных критериев для достижения высоких спортивных результатов и неразрывно связан с эффективностью тренировочного процесса в предсоревновательный период [2]. Авторы Ф. А. Иорданская (2016), П. Н. Чайников (2017) подчеркивают значение высокого уровня функционального состояния организма спортсмена для успешной спортивной деятельности [3, 4]. Функциональное состояние кардиореспираторной системы спортсменов является одним из ведущих факторов в становлении физической подготовленности и должна соответствовать предъявляемой повышенной физической нагрузке соревновательного периода. Кроме того, по мнению О. Н. Кудри (2014), в организации учебно-тренировочного процесса помимо тренировочных необходимо учитывать фактор влияния учебных нагрузок на функциональное состояние организма студентов, занимающихся спортом [5].

Таким образом, актуальность вопроса обусловлена необходимостью на этапе предсоревновательного периода спортивной подготовки как критерия оценки и эффективности тренировочного процесса применение комплексного подхода контроля состояния организма студентов, занимающихся спортом, для достижения высокой спортивной результативности.

В связи с вышесказанным **цель данной работы** — оценка психофизиологического и функционального состояния организма студентов-баскетболисток в предсоревновательном периоде.

2. Материалы и методы

Исследование проводилось на базе ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» (г. Севастополь), в котором принимали участие 18 студенток-баскетболисток, в возрасте 17–22 года, имеющих I или II спортивный разряд, все обследуемые относились к основной группе здоровья.

Исследование проводилось в условиях учебно-научной лаборатории университета, отвечающей требованиям безопасности во время выполнения исследовательских работ, этических норм и гуманности (Хельсинкская декларация, 2000 г., Директивы Европейского сообщества 86/609) и в соответствии с действующим СанПиН.

Для достижения поставленной цели применялись аппаратно-программный комплекс компьютерный «НС-Психотест» для оценки психофизиологического состояния организма с использованием психодиагностических методик; аппаратно-программный комплекс ООО «Нейрософт» (Россия), электрокардиограф «Поли-Спектр-8/EX» и аппаратно-программный комплекс «Валента», разработанный научно-производственным объединением НЕО (г. Санкт-Петербург, Россия) (табл. 1).

Исследование функционального состояния системы внешнего дыхания проводили с применением метода спирометрии, при этом использовали объемно-временные показатели спирографии. В начале исследования системы внешнего дыхания у всех обследуемых девушек-баскетболисток определяли длину и массу тела, среднее значение которых составили соответственно 177,8 ±

Таблица 1

Методики оценки психофизиологического и функционального состояния организма студентов, занимающихся баскетболом

Table 1

Methods for assessing the psychophysiological and functional state of the body of students engaged in basketball

| Методика | Характеристика методик | Аппаратно-программный комплекс |
|---|---|---|
| Реакция на движущийся объект (РДО) | Оценка сбалансированности нервных процессов и работоспособности | Программа «НС-Психотест.NET» |
| Помехоустойчивость | Оценка характеристики внимания, отражающая способность человека сопротивляться воздействию фоновых признаков (помех) при восприятии какого-либо объекта | Программа «НС-Психотест.NET» |
| Оценка мышечной выносливости (динамометрия) | Оценка типологических особенностей нервной системы, функциональной моторной асимметрии | Программа «НС-Психотест.NET» |
| Теппинг-тест | Оценка силы нервных процессов, что отражает общую работоспособность человека | Программа «НС-Психотест.NET» |
| Оценка внимания | Оценка концентрации и устойчивости внимания | Программа «НС-Психотест.NET» |
| Контактная треморометрия | Оценка качества координации движений и способности к произвольной регуляции движения во время движения руки | Программа «НС-Психотест.NET» |
| Методики оценки функционального состояния | | |
| Спирометрия | Оценка функционального состояния системы внешнего дыхания | АПК «Валента», ПМ «Компьютерный спирограф «Валента» |
| Вариабельность ритма сердца (ВРС) | Оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы | Поли-Спектр-8/EX («Нейрософт») |

10,7 см, 74,9 ± 14,4 кг, артериальное давление измеряли аускультативно по методу Н. С. Короткова.

Исследование функционального состояния сердечно-сосудистой системы проводили на основе анализа метода вариабельности сердечного ритма (ВРС). Анализ функционального состояния сердечно-сосудистой системы проводили на основании параметров вариационной пульсометрии, временной и спектральной областей.

Для оценки степени напряжения регуляторных систем использовали параметр, предложенный Р.М. Баевским (2001), — индекс напряжения регуляторных систем (SI, у. е.).

Регистрация ЭКГ во II стандартном отведении и определение показателей вариабельности сердечного ритма проводилась лежа на спине, после 5 минут отдыха, в качестве функциональной нагрузки проводили клиноортостатическую пробу в течение 10 минут.

С помощью пакета стандартных статистических программ Statistica 6.0 выполнялась обработка накопленной базы данных с определением среднего арифметического (*M*), стандартной ошибки (*m*).

3. Результаты исследования и их обсуждение

Проведенное исследование с использованием психодиагностических методик характеризует психофизиологическое состояние студенток-баскетболисток в предсоревновательном периоде. Так, характер реакций на движущийся объект всех обследуемых в 66,6 %

случаев соответствовал сбалансированному варианту тормозного и возбуждательного процессов ЦНС, в 33,3 % случаев характеризовал преобладание возбуждательного процесса.

Исследуемые характеристики свойств внимания — устойчивость и концентрация — у обследуемых в 33,3 и 50 % случаев определяет среднее значение показателей соответственно, при этом высокий уровень отмечен только по показателю устойчивости внимания в 66,6 % случаев всех обследуемых. При этом показатель коэффициента точности, определенный с использованием методики помехоустойчивости, выявил в 11,1 % случаев высокий, в 38,8 % — средний, в 33,3 и 16,6 % случаев низкий и очень низкий уровень соответственно всех обследуемых. Таким образом, полученные результаты характеризуют недостаточное развитие исследуемых свойств внимания для занимающихся игровыми видами спорта, что определяет необходимость их совершенствования с применением в тренировочном процессе методик психолого-педагогического тренинга [6].

Анализ полученных данных с применением методики контактной треморометрии определил значительные нарушения способности выполнения плавных сложнокординированных движений в 38,8 и 50 % случаев со стороны правой и левой руки соответственно, незначительные нарушения в 5,5 и 11,1 % случаев со стороны правой и левой руки соответственно, в 33,3 и 22,2 % случаев не выявлены нарушения со стороны правой и левой

руки соответственно. В 39,1 % случаев выявлен суммарный амбивалентный показатель со стороны правой и левой руки.

Анализ показателей функциональной моторной асимметрии с применением методики динамической динамометрии студенток-баскетболисток определяет характеристику ведущей руки по соотношению силы и выносливости. Так, со стороны правой руки ведущая рука характеризовалась преобладанием мышечной силы в 44,4 %, по показателю выносливости — в 50 % случаев. Со стороны левой руки ведущая рука характеризовалась по мышечной силе в 33,3 %, по выносливости — в 27,7 % случаев всех обследуемых. При этом в 5,6 % случаев отмечен амбивалентный показатель со стороны правой руки по мышечной силе, со стороны левой руки амбивалентный показатель выявлен по мышечной силе в 29,0 % случаев, по выносливости — в 10,0 % случаев. Результаты полученных данных определили в 44,4 % случаев правую руку как ведущую, а в 38,8 % случаев ведущей являлась левая рука, при этом в 16,8 % случаев выявлена амбивалентность показателя. Таким образом, на основании анализа полученных данных выявлена недостаточная тренированность функциональных способностей ведущей руки баскетболисток. Амбивалентность показателя по определению ведущей руки обуславливает необходимость построения тренировочного процесса с направленностью на развитие универсальности игровых способностей «ведущей руки» обеих рук баскетболисток.

Полученные показатели теппинг-теста в 100 % случаев настоящего исследования определили слабый тип нервной системы студенток-баскетболисток, при этом значительное снижение работоспособности выявлено в 22,2 % случаев, 61,1 % обследуемых соответствовали критерию нижней границы оптимальной работоспособности, незначительное снижение работоспособности определялось в 16,6 % случаев всех обследуемых,

что характеризует недостаточную физическую готовность к соревновательной деятельности. Таким образом, на основании анализа полученных результатов необходимо увеличить количество тренировочных занятий, направленных на развитие общей выносливости.

Как известно, кардиореспираторная система является одной из основных в обеспечении тренировочного процесса. Исследование variability сердечного ритма у спортсменов может быть использовано как инструмент при определении успешности спортивной деятельности [7]. В настоящих исследованиях анализ показателей variability сердечного ритма (табл. 2) определил функциональное состояние сердечно-сосудистой системы соответственно возрастному периоду обследуемых, при этом показатели временной и спектральной областей не являлись характерными для студентов, занимающихся игровыми видами спорта [8, 9].

Так, показатели временной области не являются достаточными для оптимального функционального состояния организма человека, занимающегося спортом (А. А. Василенко, 2009). Показатели спектральной области, соотношение частотных компонентов также нехарактерны для спортсменов и являются недостаточным для проявления устойчивости к физическим нагрузкам (Н. И. Шлык, 2009; В. М. Михайлов, 2002). Выявленное снижение мощности высокочастотной составляющей, общей мощности спектра и рост показателя вагосимпатического взаимодействия определяет состояние утомления (Ю. Э. Питкевич, 2010) обследуемых студенток-баскетболисток в предсоревновательном периоде. Кроме того, средняя и высокая степень напряжения регуляторных систем отмечена в 33,3 и 16,6 % обследуемых соответственно, низкая степень напряжения определена в 50 % случаев всех обследуемых студенток-баскетболисток, что определяет не достаточные функциональные возможности сердечно-сосудистой системы.

Таблица 2

Показатели временной и спектральной областей variability сердечного ритма и степени индекса напряжения регуляторных систем организма студенток-баскетболисток в предсоревновательном периоде ($n = 18$)

Table 2

Indicators of the temporal and spectral regions of heart rate variability, and the degree of stress index of the regulatory systems of the body of basketball students in the pre-competition period ($n = 18$)

| Значение | Показатель | | | | | | | | | | |
|----------|------------|----------|----------|----------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------|----------|
| | HR, уд/мин | SDNN, мс | RMSS, мс | Mo, у.е. | AMo, % | TP, мс ² | HF, мс ² | LF, мс ² | VLF, мс ² | LF/HF, у.е. | SI, у.е. |
| <i>M</i> | 69,1 | 81,7 | 22,1 | 0,89 | 32,8 | 3206,4 | 1082,5 | 960,0 | 1163,9 | 1,2 | 90,4 |
| <i>m</i> | 8,3 | 7,9 | 6,0 | 0,2 | 9,6 | 188,2 | 152,4 | 168,7 | 137,8 | 0,07 | 13,9 |

Примечание: *M* — среднее значение показателя; *m* — ошибка среднего значения.

Note: *M* — the average value of the indicator; *m* — the error of the mean value.

Таблица 3

Показатели функционального состояния системы внешнего дыхания студенток-баскетболисток в предсоревновательном периоде (n = 18)

Table 3

Indicators of the functional state of the external respiration system of basketball students in the pre-competition period (n = 18)

| Значение | Показатель | | | | | | | | | |
|----------|------------|---------|----------|-------|---------|----------|----------|----------|--------|---------|
| | ЖЕЛ, л | Ровд, л | Ровьд, л | ДО, л | ОФВ1, л | ПОС, л/с | МОС25, л | МОС75, л | МОД, л | ФЖЕЛ, л |
| <i>M</i> | 4,07 | 2,7 | 1,2 | 1,81 | 2,6 | 3,8 | 3,2 | 3,04 | 33,3 | 3,5 |
| <i>m</i> | 0,5 | 1,1 | 0,7 | 1,2 | 0,9 | 1,6 | 1,3 | 1,4 | 8,5 | 0,83 |

Примечание: *M* — среднее значение показателя; *m* — ошибка среднего значения.

Note: *M* — the average value of the indicator; *m* — the error of the mean value.

На основании применения метода спирометрии проведен анализ показателей вентиляторной функции и функции бронхиальной проходимости системы внешнего дыхания обследуемых студенток-баскетболисток в предсоревновательном периоде (табл. 3).

Анализ полученных данных выявил несоответствие показателей к должным величинам, характерных для данных весоростовых параметров всех обследуемых девушек-баскетболисток (В.И. Дубровский, 2005). Так, фактический показатель жизненной емкости легких составляет 80 % от должного значения, при этом показатели Ровд и ДО превышали должные значения на 17,5 и 21,1 % соответственно. Однако показатель резервного объема выдоха составлял 67,4 % от должного значения обследуемых спортсменов, что свидетельствует о недостаточной мышечной силе экспираторных мышц. При этом фактический показатель форсированного выдоха составляет 66,6 % от должной величины, что характеризует умеренную выраженность нарушений вентиляторной функции и сниженные возможности дыхательной мускулатуры всех обследуемых (Pellegrino R. et al., 2005; Н.В. Федоров, 2011). Анализ объемно-временных показателей внешнего дыхания

обследуемых, характеризующих бронхиальную проходимость на уровне крупных и мелких бронхов, значительно снижены относительно должных значений. Так, фактический показатель форсированной ЖЕЛ составляет 70 % от должного значения, соответствующего антропометрическим данным обследуемых студенток-баскетболисток.

4. Выводы

Таким образом, анализ полученных данных функционального состояния организма студенток-баскетболисток в предсоревновательном периоде определяет необходимость построения тренировочного процесса с включением методик психолого-педагогического тренинга, направленного на расширение физиологических резервов кардиореспираторной системы. Результаты данных психофизиологического исследования определяют необходимость совершенствования психомоторных свойств организма и, как следствие, необходимость увеличения доли специальных упражнений, направленных на повышение уровня динамической силы и общей выносливости, определяющих успешность соревновательной деятельности баскетболисток.

Вклад авторов:

Рябцев Сергей Михайлович — сбор и анализ информации, написание текста статьи, редактирование.

Жмурова Татьяна Анатольевна — сбор и анализ информации, статистическая обработка данных, написание текста статьи.

Author's contributions:

Sergey M. Ryabtsev — information collection and analysis, text of the article writing, editing.

Tatyana A. Zhmurova — information collection and analysis, statistical data processing, text of the article writing.

Список литературы

1. **Гаврилова Е.А.** Спорт, стресс, вариабельность: монография. Москва: Спорт; 2015.
2. **Иссурин В.В.** Подготовка спортсменов XXI века: научные основы и построение тренировки. Москва: Спорт; 2016.
3. **Иорданская Ф.А.** Функциональная подготовленность волейболистов: диагностика, механизмы адаптации, коррек-

References

1. **Gavrilova E.A.** Sport, stress, variability. Moscow: Sport Publ.; 2015 (In Russ.).
2. **Issurin V.B.** Preparation of athletes of the XXI century: scientific foundations and construction of training. Moscow: Sport Publ.; 2016 (In Russ.).
3. **Jordanskaya F.A.** Functional fitness of volleyball players: diagnostics, adaptation mechanisms, correction of symptoms of mal-

ция симптомов дезадаптации. Подготовка женских и мужских команд к соревнованиям. Москва: Спорт; 2016.

4. **Чайников П.Н., Черкасова В.Г., Муравьев С.В., Кулеш А.М.** Вариабельность ритма сердца спортсменов игровых видов спорта, получающих высшее образование, в начале тренировочного процесса. Спортивная медицина: наука и практика. 2020;10(2):81–90. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.81>

5. **Кудря О.Н.** Оценка функционального состояния и физической подготовленности по показателям вариабельности сердечного ритма. Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. 2014;(1):185–196.

6. **Рябцев С.М., Корепанов А.Л., Кажарская О.Н., Кондрашихина О.А., Жмурова Т.А.** Аттентивные характеристики спортсменов высокого класса, занимающихся пулевой и стендовой стрельбой. Мир педагогики и психологии. 2021;(7):27–36.

7. **Гаврилова Е.А.** Ритмокардиография в спорте: монография. Санкт-Петербург: Изд-во СЗГМУ им. И.И. Мечникова; 2014.

8. **Бань А.С., Гонестова В.К.** Вариабельность ритма сердца профессиональных спортсменов игровых видов спорт. Медицинский журнал. 2010;(3):39–43.

9. **Чайников П.Н., Черкасова В.Г., Кулеш А.М.** Когнитивные функции и умственная работоспособность спортсменов игровых видов спорта. Спортивная медицина: наука и практика. 2017;7(1):79–85. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2017.1.79>

adaptation. Preparation of women's and men's teams for competitions. Moscow: Sport Publ.; 2016 (In Russ.).

4. **Chainikov P.N., Cherkasova V.G., Murav'ev S.V., Kulesh A.M.** Heart rate variability in university students engaged in competitive sports at the beginning of a training season. Sportivnaya medicina: nauka i praktika = Sports medicine: research and practice. 2020;10(2):81–90 (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.81>

5. **Kudrya O.N.** Evaluation of functional state and physical preparedness of athletes on indicators of the heart rate variability. Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin. 2014;(1):185–196 (In Russ.).

6. **Ryabtsev S.M., Korepanov A.L., Kazharskaya O.N., Kondrashikhina O.A., Zhmurova T.A.** Attenuation characteristics of high-class athletes involved in bullet and clay pigeon shooting. Mir pedagogiki i psikhologii [The world of pedagogy and psychology]. 2021;(7):27–36 (In Russ.).

7. **Gavrilova E.A.** Rhythmocardiography in sports. St. Petersburg: Publishing House of SZGMU im. I.I. Mechnikov; 2014 (In Russ.).

8. **Ban A.S., Gonestova V.K.** Heart rate variability of professional athletes of game sports. Meditsinskii zhurnal = Medical journal. 2010;(3):39–43 (In Russ.).

9. **Chainikov P.N., Cherkasova V.G., Kulesh A.M.** Cognitive functions and mental performance of team sports athletes. Sportivnaya medicina: nauka i praktika = Sports medicine: research and practice. 2017;7(1):79–85 (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2017.1.79>

Информация об авторах:

Рябцев Сергей Михайлович, д.б.н., профессор кафедры «Физвоспитание и спорт», ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Россия, 299053, Севастополь, ул. Университетская, 33 (ounce14@gmail.com)

Жмурова Татьяна Анатольевна*, к.б.н., доцент кафедры «Физвоспитание и спорт», ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Россия, 299053, Севастополь, ул. Университетская, 33 (+7 (978) 832-16-33, yahont17@gmail.com)

Information about the authors:

Sergey M. Ryabtsev, D.Sc. (Biology), Professor, Department of Physical Education and Sports, Sevastopol State University, 33 Universitetskaya str., Sevastopol, 299053, Russia (ounce14@gmail.com)

Tatyana A. Zhmurova*, Ph.D. (Biology), Senior Lecturer Department of Physical Education and Sports, Sevastopol State University, 33 Universitetskaya str., Sevastopol, 299053, Russia (+7 (978) 832-16-33, yahont17@mail.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



| Артроскопическая хирургия | Спортивная медицина | Реабилитация |

VII Международный Конгресс АСТАОР

13–14 апреля 2023

Москва, РОССИЯ

2023

| Arthroscopic surgery | Sports medicine | Rehabilitation |

VII International ASTAOR Congress

April 13–14, 2023

Moscow, RUSSIA



Научные темы

▶ ПЛЕЧЕВОЙ СУСТАВ

- ▶ Вращательная манжета
- ▶ Нестабильность
- ▶ Повреждения бицепса
- ▶ Хроническая нестабильность с дефицитом костной ткани
- ▶ Травмы акромиально-ключичного сочленения
- ▶ Мышечные трансферы
- ▶ Реконструкция верхней капсулы



▶ ТАЗОБЕДРЕННЫЙ СУСТАВ

- ▶ Как начать артроскопическую хирургию
- ▶ Основы и новые аспекты в артроскопической хирургии
- ▶ Повреждения суставной губы
- ▶ Восстановление суставной губы
- ▶ Нестабильность

▶ КОЛЕННЫЙ СУСТАВ

- ▶ Новое в артроскопической хирургии
- ▶ Аугментация связок
- ▶ Передняя крестообразная связка – что появилось нового?
- ▶ Задняя крестообразная связка
- ▶ Мультилигаментарные повреждения

▶ Реконструкция менисков

- ▶ Пателло-фemorальный сустав
- ▶ Нестабильность надколенника
- ▶ Остеотомия

▶ ГОЛЕНОСТОПНЫЙ СУСТАВ

- ▶ Нестабильность
- ▶ Артроскопическая реконструкция связочного аппарата

- ▶ Теноскопия
- ▶ Дефекты хрящевого покрова
- ▶ Всегда ли необходимо оперировать?

▶ ВСЕ ВОКРУГ ХРЯЩА

- ▶ Биологическое лечение суставов
- ▶ Новые методы лечения хряща
- ▶ Профилактика и лечение остеоартроза
- ▶ Новое в хирургии дефектов хрящевого покрова

▶ РЕАБИЛИТАЦИЯ

- ▶ Особенности реабилитации после операций на плечевом суставе
- ▶ Реабилитационная терапия после операций и травм
- ▶ Функциональная оценка спортсменов
- ▶ Возвращение в спорт: критерии и принятие решения
- ▶ Консервативное лечение повреждений сухожилий и мышц
- ▶ Роль локальных инъекций и мазей в комплексном реабилитационном лечении



▶ МЕДИЦИНСКАЯ ВЫСТАВКА

- ▶ Новые хирургические инструменты
- ▶ Все для артроскопической хирургии
- ▶ Оборудование для реабилитации
- ▶ Современные камеры и оборудование
- ▶ Новое в оснащении оперблока
- ▶ Современные брейсы для суставов
- ▶ Послеоперационные повязки
- ▶ Вспомогательное ортопедическое оборудование
- ▶ Пищевые добавки в ортопедии и травматологии
- ▶ Питание спортсменов
- ▶ Новые мази и лекарства
- ▶ Новое в антибактериальной и антикоагулянтной терапии

▶ МАСТЕР-КЛАССЫ

- ▶ LIVE SURGERY
- ▶ RE-LIVE SURGERY
- ▶ Новые методики в хирургии коленного сустава
- ▶ Стабилизация плечевого сустава
- ▶ Сшивание менисков
- ▶ Техника бега
- ▶ Новые реабилитационные методики
- ▶ Тейпирование для врачей
- ▶ Тейпирование для медицинских сестер
- ▶ Лучевая диагностика для травматологов и ортопедов

▶ МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ



▶ КОНКУРС СТЕНДОВЫХ ДОКЛАДОВ

▶ СЕКЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

▶ КУРС ОПЕРАЦИОННЫХ МЕДСЕСТЕР/ МЕДБРАТЬЕВ



Место проведения

Сеченовский университет
(Москва, 119991, ул. Трубецкая, д. 8)
Sechenov University
(119991, Moscow, Trubetskaya st., 8)



Место проведения



Регистрация



ЦЕНТР МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ СЕЧЕНОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

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



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

