



СЕЧЕНОВСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



КЛИНИКА ЛУЖНИКИ  
спортивная медицина

#### УЧРЕДИТЕЛИ:

ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова  
Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)

Автономная некоммерческая организация  
«Клиника Спортивной Медицины-Лужники»

Ачкасов Евгений Евгеньевич

# Спортивная медицина: наука и практика

## научно-практический журнал

#### 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)

**Плазачев 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)

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

**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-Т» (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 Эрспамер» Университета Сапиенца (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 врачебного контроля 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)

Luzhniki Sports Medicine Clinic

Evgeny E. Achkasov

# Sports Medicine: Research and Practice

research and practical journal

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

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

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

**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 Wańkiewicz** – 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 Erspamer» 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 Shkrebko** – 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](mailto:info@smjournal.ru)

## Сайт:

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

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

Подписано в печать 15.12.2019

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.

Перепечатка опубликованных в журнале материалов допускается только с разрешения редакции. При использовании материалов ссылка на журнал обязательна. 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

## СОДЕРЖАНИЕ

### Реабилитация

**О.С. Васильев, С.П. Левушкин**

Кривизна кривой как показатель оптимальности траектории движения в физической реабилитации. Эллиптические реабилитационные движения ..... 5

### Социология и педагогика в спорте

**В.А. Бадтиева, И.В. Юрьева, А.В. Квитчастый,**

**Н.В. Сичинава, Р.Р. Глухова, Е.В. Королева**

Изучение наследия Олимпийских игр в Сочи в области развития и популяризации массового спорта и здорового образа жизни ..... 14

### Спортивное питание

**Н.В. Рылова, А.В. Жолинский**

Морфо-функциональные особенности юных спортсменов ..... 19

**В.Н. Ким, Г.А. Просекин, Ю.Н. Федосов, С.О. Ключников, С.А. Парастаев**

Дисфункция эндотелия как главный фактор кардиоваскулярного риска, лимитирующий работоспособность юных спортсменов: методы оценки и коррекция с помощью специализированных продуктов питания на основе апифитокомпонентов ..... 29

### Спортивная травматология

**Е.В. Ореховская, А.В. Минин**

Повреждение мышц, вызванное физическими упражнениями: роль полиморфизма гена ACTN3 ..... 41

### Физиология и биохимия спорта

**Ю.И. Пиголкин, С.Н. Захаров, Д.П. Березовский, С.С. Бачурин**

Прогностическое значение индекса массы тела в диагностике внезапной сердечной смерти ..... 48

**М.Г. Голубева**

Влияние физической нагрузки на функциональное состояние мембран эритроцитов ..... 55

### Функциональная диагностика

**П.С. Плешков, В.Ю. Хайтин, Э.Н. Безуглов, С.В. Матвеев**

Использование изокINETического тренажера в практике спортивного врача ..... 65

**Д.В. Голубев, Ю.А. Щедрина**

Функциональная «стоимость» технико-тактической деятельности в футболе ..... 73

**П.Н. Чайников, В.Г. Черкасова, С.В. Муравьев, А.М. Кулеш**

Вариабельность ритма сердца спортсменов игровых видов спорта, получающих высшее образование, в начале тренировочного сезона ..... 81

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:**

Non-Profit Partnership "National Electronic Information Consortium" (NEICON)

Letnikovskaya str., 4, bldng 5, of. 2.4, Moscow, 115114, Russia

tel./fax: +7 (499) 754-99-94

<https://neicon.ru/>

**Managing editor:**

Kseniya Yurku  
Mobile: +7 (926) 648-78-64  
E-mail: [info@smjournal.ru](mailto:info@smjournal.ru)

**Websites:**

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

Subscribed into printing 15 December 2019  
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.

Overprinting of published in the journal materials is prohibited without permission of chief editor. In use of the materials the reference to journal is obligatory. 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

**CONTENTS**

**Rehabilitation**

- Oleg S. Vasilyev, Sergey P. Levushkin*  
Curvature of curve as an indicator of the optimal movement trajectory in physical rehabilitation. Elliptical rehabilitation movements . . . . . 5

**Sports Sociology and Pedagogics**

- Victoria A. Badtieva, Irina V. Uryeva, Anton V. Kvitchasty, Nino V. Sichinava, Roza R. Glukhova, Ekaterina V. Koroleva*  
Sochi Olympics legacy in mass sport and healthy lifestyle development and popularization . . . . . 14

**Sports Supplements**

- Natalya V. Rylova, Andrew V. Zholinsky*  
Morpho-functional features of young athletes . . . . . 19

- Vitaliy N. Kim, Georgii A. Prosekin, Yuriy N. Fedosov, Sergey O. Klyuchnikov, Sergey A. Parastaev*  
Endothelial dysfunction as a major cardiovascular risk factor limiting the performance of young athletes: assessment and correction with specialized food products based on apian and herbal components . . . . . 29

**Sports Traumatology**

- Evgenia V. Orekhovskaya, Artyom V. Mimin*  
Exercise muscle damage: the role of ACTN3 gene polymorphism . . . . . 41

**Sports Physiology and Biochemistry**

- Yuriy I. Pigolkin, Svyatoslav N. Zakharov, Dmitriy P. Berezovskiy, Stanislav S. Bachurin*  
Prognostic value of body mass index in the diagnosis of sudden cardiac death . . . . . 48

- Maria G. Golubeva*  
Influence of exercise on the functional state of erythrocytes membranes . . . . . 55

**Functional Testing**

- Pavel S. Pleshkov, Vladimir Y. Khaitin, Eduard N. Bezuglov, Sergey V. Matveev*  
Application of isokinetic extremity system in sport medicine and rehab practice . . . . . 65

- Denis V. Golubev, Julia A. Shchedrina*  
Functional «cost» of technical and tactical activities in football . . . . . 73

- Pavel N. Chainikov, Vera G. Cherkasova, Sergey V. Muraviev, Anna M. Kulesh*  
Heart rate variability in university students engaged in competitive sports at the beginning of a training season . . . . . 81

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



DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.5

УДК: 616-003.9:51-76

## Кривизна кривой как показатель оптимальности траектории движения в физической реабилитации. Эллиптические реабилитационные движения

О.С. Васильев<sup>1</sup>, С.П. Левушкин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма (ГЦОЛИФК), Министерство спорта РФ, Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБНУ Институт возрастной физиологии Российской академии образования, Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

Динамические характеристики движения являются основными параметрами дозирования физической нагрузки при проведении реабилитации спортсменов. Однако, учет геометрических характеристик движения, особенно при восстановлении объема движения в суставе является не менее важным. Гипотезой исследования стало предположение, что использование геометрических характеристик движений позволяет «спроектировать» оптимальные физиологические паттерны реабилитации при восстановлении объема движения. **Цель исследования** – разработка общих принципов и математической модели оптимальных характеристик траектории движения восстанавливаемого звена ОДА спортсмена. **Материалы и методы:** В ходе исследования использовалась оптико-электронная система трёхмерного захвата и анализа движения «Qualisys». В исследовании приняли участие 32 спортсмена в возрасте от 9 до 15 лет, практикующих сложнокоординационные виды спорта и имеющих повреждения (ушибы, растяжения мышечно-связочного аппарата) ОДА в области тазобедренного и голеностопного сустава и нуждающиеся в реабилитации – восстановлении объема движений в суставе. **Результаты:** Исследование показало, что восстановление объема движений по индивидуально подобранным при помощи математического моделирования траекториям (в экспериментальной группе) эффективно и в более короткие сроки восстанавливает спортсменов, нежели традиционные средства лечебной физкультуры (в контрольной группе). Так, типичные повреждения (ушибы, растяжения мышечно-связочного аппарата) ОДА в области тазобедренного сустава восстанавливались в контрольной группе 18±5 суток, в то время как в экспериментальной группе 12±3 суток. Аналогичная картина наблюдалась при восстановлении голеностопного сустава (12±4 суток заняло восстановление в контрольной группе против 8±3 суток в экспериментальной). **Выводы:** При восстановлении объема движений в суставе нагрузку следует оценивать не столько динамическими, сколько геометрическими показателями; для плоского движения – это кривизна траектории движения дистальной конечности по отношению к восстанавливаемому суставу.

**Ключевые слова:** реабилитация, спортсмены, математическая модель, кривизна траектории, опорно-двигательный аппарат

**Для цитирования:** Васильев О.С., Левушкин С.П. Кривизна кривой как показатель оптимальности траектории движения в физической реабилитации. Эллиптические реабилитационные движения // Спортивная медицина: наука и практика. 2020. Т.10, №2. С.5-13. DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.5

## Curvature of curve as an indicator of the optimal movement trajectory in physical rehabilitation. Elliptical rehabilitation movements

Oleg S. Vasilyev<sup>1</sup>, Sergey P. Levushkin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Sports of the Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism (SCOPLIPE), Moscow, Russia

<sup>2</sup>Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of Education, Moscow, Russia

### ABSTRACT

The movement dynamic characteristics are the main parameters for physical exercise dosing during the athlete recovery process. However, taking into account the geometric characteristics of movement is no less important, especially when restoring the joint range of motion. The hypothesis of the study was the assumption that the use of movements' geometric characteristics allows to "design" the optimal physiological rehabilitation patterns for movement volume restoration. **Objective:** to develop general principles and to create a mathematical model of the optimal trajectory characteristics for the restored part of the athlete's musculoskeletal system. **Materials and methods:** We used 3D Qualisys Motion Capture and Analysis System in our investigation. The study involved 32 complex coordination sports athletes (age 9-15) with hip and ankle joint injuries (bruises, sprains strains). All they required a joint movement volume restoration. **Results:** The study revealed that joint movement volume restoration following the individually selected pathways involving effective mathematical modeling (study group) takes shorter time to restore the athletes than traditional physiotherapy methods (control group). For typical injuries (bruises, sprains and strains) of the hip joint area, the rehabilitation took 18±5 days for controls and 12±3 days for experimental group subjects. Nearly the same pattern was observed in restoration the ankle joint (12±4 days of recovery for controls versus 8±3 days for

the experimental group). **Conclusions:** Restoring the joint movement volume, the workloads should be evaluated with geometric rather than dynamic indicators; for planar movement, that should be the distal limb path curvature relative to the restored joint.

**Key words:** rehabilitation/recovery, athletes, mathematical model, path/trajectory curvature, musculoskeletal system.

**For citation:** Vasilyev SO, Levushkin SP. Curvature of curve as an indicator of the optimal movement trajectory in physical rehabilitation. Elliptical rehabilitation movements. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2020;10(2):5-13 (In Russ.) DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.5

### 1. Введение

Любое биологическое движение, требует сложнейшей взаимосвязи в работе нервной системы и опорно-двигательного аппарата (ОДА). Основная проблема, возникающая при анализе биологического движения, сводится к изучению феномена преодоления потенциальной избыточности числа степеней свободы движения ОДА. Экспериментальные исследования показали, что биологические организмы реализуют лишь несколько решений, а может быть только одно единственное решение двигательной задачи из огромного числа потенциальных возможностей [1, 2].

Подход к анализу сложного многосуставного движения человека через исследование движения одной точки конечности был выдвинут Бернштейном (1947) [3]. Он фактически утверждал, что управление движением руки в пространстве осуществляется в терминах траектории конечного эффектора – кистей рук. Дальнейшие исследования показали, что управление целенаправленным движением тела выражается в терминах перемещения в пространстве, а не смещения, связанного с постановкой ступней [2, 4].

Поэтому, моделируя траекторию движения конечного эффектора (дистальной точки конечности), можно задавать наиболее естественное движение в ассоциированном с ним суставе. Тогда становится насущным вопрос: какие траектории движения, задаваемые физическими упражнениями или тренажерами, будут наиболее оптимальными при проведении реабилитации опорно-двигательного аппарата?

**Цель исследования** – разработка общих принципов и математической модели оптимальных характеристик траектории движения восстанавливаемого звена опорно-двигательного аппарата спортсмена.

### 2. Материалы и методы

Исследование проводили на базе НИИ спорта и спортивной медицины РГУФКСМиТ в 2018-2019 годах. В исследовании приняли участие 32 спортсмена в возрасте от 9 до 15 лет (24 девушки, 8 юноши, средний возраст  $11,5 \pm 3$  года), практикующих сложнокоординационные виды спорта (спортивная и художественная гимнастика, танцы, боевые искусства), имеющих типичные повреждения (ушибы, растяжения мышечно-связочного аппарата) ОДА в области тазобедренного сустава (I-я группа – 14 человек) и голеностопного сустава (II-я группа – 18 человек) и нуждающиеся в реабилитации – восстановлении объема движений после той или иной степени выраженности иммобилизации либо временного прекра-

щения тренировочного процесса. Каждая из групп была случайным образом поделена на две равные по количеству участников подгруппы: в контрольной подгруппе восстанавливали объем движений стандартным способом с преимущественным использованием поступательно-возвратных и круговых движений, в экспериментальной подгруппе восстанавливали объем движений путем выполнения упражнения согласно рекомендуемым моделям траекториям движения.

В исследовании использовали оптико-электронную систему трёхмерного захвата и анализа движения «Qualisys» (Швеция), состоящая из 8 инфракрасных камер и персонального компьютера с программным обеспечением «Qualisys Track Manager» для сбора и обработки данных. Камеры были расположены вокруг испытуемого и определяли трёхмерные координаты маркеров-отражателей, которые крепились на его теле. Определение координат происходило с частотой 500 кадров в секунду, что позволяло с высокой точностью рассчитывать основные кинематические характеристики движения восстанавливаемого спортсмена – скорость, ускорение, перемещение. Светоотражающие маркеры были стандартно размещены согласно протоколам построения цифрового скелета человека [5, 6].

Последующий анализ данных проводился при помощи специально разработанной математической модели, которая была создана на языке научно-статистического анализа R с использованием среды RStudio (распространяемой по свободной лицензии – GNU AGPL).

### 3. Результаты и их обсуждение

В физическом движении скорость перемещения точки по кривой никак не связана с геометрическими свойствами кривой: кривизной для двумерного движения и кручением для трехмерного. Но в биологическом движении обнаруживается устойчивая зависимость между скоростью движения и геометрическими свойствами кривой.

Одним из первых на эту зависимость обратил внимание доктор медицины Лаборатории физиологии университета Глазго Вильям Джек (1895) [7] при изучении траектории движений рук среди здоровых лиц разной подготовленности (музыкантов, представителей среднего класса, рабочих) и разного возраста, а также среди больных лиц (рассеянный склероз, прогрессирующий сифилис). В своих исследованиях он отмечал, что при письме «изогнутые части букв и цифр формируются медленнее, чем прямолинейные части, и что скорость кривой изменяется, грубо говоря, в зависимости от радиуса кривизны» (Jack, 1895) [7].

Те же наблюдения сделал Альберт Деворт (1938), отмечая, что скорость движения верхних конечностей зависит от кривизны траектории (Derwort, 1938) [8].

В 1908 году на Международном конгрессе по психологии (Чикаго) Binet представил сообщение под названием «Quelques observations sur les mouvements d'écriture» («Некоторые наблюдения о движениях в письме»). Используя ручку Эдисона, которая сжигала бумагу с фиксированной скоростью с помощью электрических искр, он продемонстрировал, что траектория письма была более изогнутой (с большей кривизной), где прожиги от ручки были плотнее, что указывало на снижение скорости в этих областях [9].

В 1982 Viviani и Terzuolo [10] представили более подробное описание феномена зависимости скорости от кривизны в движениях рисования и письма. Они предположили, что тангенциальная скорость  $V(t)$  кончика пера приблизительно пропорциональна радиусу кривизны  $R(t)$  следа, оставленного пером. Пересматривая это предложение, Lacquaniti с коллегами (1983) [11] показали, что  $V(t)$  приблизительно пропорциональна кубическому корню из  $R(t)$ , то есть  $V(t) \propto R(t)^{1/3}$ .

Поскольку угловая скорость  $A(t) = V(t)/R(t)$  и кривизна  $\kappa(t)$  обратно пропорциональны радиусу траектории движения  $\kappa(t) = 1/R(t)$ , то соотношение  $V(t) \propto R(t)^{1/3}$  может быть записано как  $A(t) = K \cdot \kappa(t)^{2/3}$ , где  $K$  – коэффициент пропорциональности (именуемый в англоязычной литературе как коэффициент усиления скорости). В дальнейшем, это соотношение стало именоваться как степенной закон двух третей.

В общем случае коэффициент усиления скорости  $K(t)$  – является кусочно-постоянной функцией времени, зависящей от темпа и продолжительности движения [10]. Этот коэффициент может оставаться неизменным на достаточно длинных отрезках траекторий и имеет свойство меняться на точках перегиба [11].

Степенной закон двух третей фактически утверждает, что геометрическая форма траектории определяет кинематику движения по ней. То есть учитывая справедливость степенного закона двух третей, можно количественно предсказать кинематику движения на основе только уравнений траектории.

### 3.1. Математическая модель анализа кривизны траектории биологического движения

В более общем виде степенной закон двух третей, выражающий зависимость угловой скорости движения  $A(t)$  от кривизны  $\kappa(t)$  траектории движения может быть представлен следующим образом [10, 11]:  $K(t) \left( \frac{R(t)}{1 + \alpha R(t)} \right)^\beta$ , где  $K(t)$  – уже функциональный коэффициент пропорциональности (кусочно-непрерывная функция).

Показатель степени  $\beta$  зависит от формы пути (траектории движения) и хорошо согласуется для большого класса движений, в частности, для рисования плоских фигур [10-12]. Более того, он не зависит от размера шаблонов и, следовательно, от средней скорости движения, которая увеличивается почти в 10 раз между самым маленьким и

самым большим эллипсом [12]. Коэффициент  $\alpha \in [0,1]$ . Если траектория не имеет точек перегиба, то  $\alpha = 0$  и степенной закон примет вид  $V(t) = K(t)R(t)^\beta$ .

В формулировке через угловую скорость степенной закон может быть записан как:  $A(t) = K(t)\kappa(t)^{1-\beta}$ , где  $A(t) = \frac{V(t)}{R(t)}$  – угловая скорость, а  $\kappa(t) = \frac{1}{R(t)}$  – кривизна кривой в точке  $t$ .

Степенной закон характеризует только плоское биологическое движение. При движении в пространстве он описывает только плоские случаи движения. Уравнение плоской кривой (траектории движения) в параметрических координатах записывается как  $r(t) = (x(t), y(t))$ , где  $x(t), y(t)$  – гладкие функции параметра  $t$ , удовлетворяющие условию регулярности  $(x')^2 + (y')^2 > 0$ , где  $x' = dx/dt, y' = dy/dt$ . Точки, в которых нарушается условие регулярности называются особыми точками. Примерами особых точек для плоской кривой являются «клюв» в начале координат для полукубической параболы, точки самопересечения на Лемнискате Бернулли.

Для плоской кривой траектории движения, заданной в декартовых координатах  $(x(t), y(t))$ , где  $x' = dx/dt, y' = dy/dt$  имеем:

$V(t) = ((x')^2 + (y')^2)^{1/2}$  – тангенциальная скорость в точке  $t$ ,

$R(t) = ((x')^2 + (y')^2)^{3/2} / |x'y'' - y'x''|$  – радиус кривизны траектории, или,

$\kappa(t) = \frac{|x'y'' - y'x''|}{((x')^2 + (y')^2)^{3/2}}$  – кривизна траектории. В логарифмическом виде степенной закон будет иметь вид:  $\log V(t) = \log K(t) + \beta \log R(t)$ . Если положить  $K(t) = const$ , то степенной закон в логарифмической форме упростится и коэффициент  $\beta$  можно определить следующим образом:

$$\beta = \frac{\log V(t)}{\log R(t)} = \frac{1/2 \log((x')^2 + (y')^2)}{3/2 \log((x')^2 + (y')^2) - \log(x'y'' - y'x'')}$$
 или,

что упрощает запись и вычисления,  
 $1/\beta = 3 \log((x')^2 + (y')^2) - 2 \log(x'y'' - y'x'') / \log((x')^2 + (y')^2)$ .

Таким образом, в общем виде искомые участки траектории движения, удовлетворяющие локальной биологичности движения, то есть задаваемые условием  $\beta(t) \approx const$ , можно получить из следующего уравнения:  $3 \log((x')^2 + (y')^2) - 2 \log(x'y'' - y'x'') / \log((x')^2 + (y')^2) \approx const$

При проведении физической реабилитации траектории движения с  $\beta(t) \approx const$  можно признать «биологическими» по движению и физиологическими по локальной нагрузке на ОДА спортсменов.

Catavittello и коллеги, сравнивая движения, выполняемые на суше и в воде, показали, что показатель степени  $\beta$  степенного закона в воде значительно меньше, чем в воздухе, то есть скорость движения в воде меньше зависит от кривизны траектории, чем в воздухе [13]. Исследования показывают, что оптимальная кривизна таких участков, для которой степенной закон дает хорошие приближения, должна быть больше 0,1 [12].

Построенная модель ограничена производством движений, которые выполняются только в одном на-

правлении. Это могут быть зацикленные движения по зацикленным или петлевым траекториям, но без смены направления обхода (например, от направления «против часовой стрелки» до направления «по часовой стрелке»).

Поступательно-возвратные движения в конечной точке имеют особенность, поэтому они также исключены из модели. Указанная модель удовлетворяет большой набор плоских кривых: эллиптические кривые, лемниската Бернулли, листок клевера и т.п. Ниже, нами будет рассмотрено применение данной модели оптимальных траекторий биологического движения на примере эллиптических траекторий.

### 3.2. Эллиптические траектории движения

На основании представленной выше математической модели можно показать, что эллиптические траектории движения являются оптимальными при проведении физической реабилитации опорно-двигательного аппарата спортсменов. Эллиптические траектории движения используются в так называемых эллиптических тренажерах и имеют положительный опыт использования в спортивной реабилитации.

Каноническое уравнение эллипса имеет вид (рис. 1):  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ .

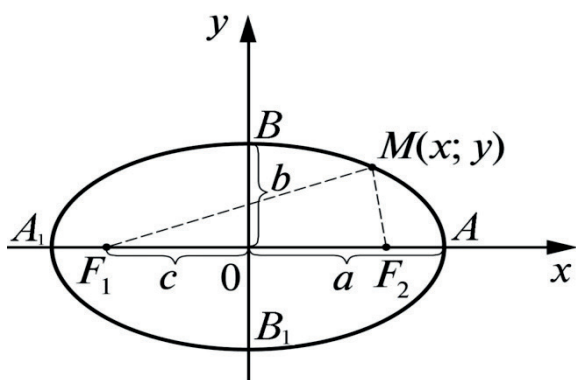


Рис. 1. Каноническое уравнение эллипса  
Fig. 1. The canonical equation of an ellipse

На рисунке точки  $A, A_1, B, B_1$  – вершины эллипса, точки  $F_1(-c, 0), F_2(c, 0)$  – фокусы эллипса, большая ось  $|A_1A| = 2 \cdot a$ ,  $|B_1B| = 2 \cdot b$  – малая ось,  $|F_1F_2| = 2 \cdot c$  – удвоенное фокальное расстояние, где имеет силу соотношение  $c^2 = a^2 - b^2$ , эксцентриситет  $\varepsilon = \frac{c}{a} = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} < 1$

На практике удобно пользоваться уравнением эллипса, заданным в параметрических координатах:  $\begin{cases} x = acost, \\ y = bsint \end{cases}$

где  $0 \leq t \leq 2\pi$ . Для него тангенциальная скорость будет иметь вид:  $V(t) = (a^2 \sin^2 t + b^2 \cos^2 t)^{1/2}$ .

Значение кривизна эллипса в точке  $t$  будет:

$$\kappa_e(t) = \frac{ab}{(a^2 \sin^2 t + b^2 \cos^2 t)^{3/2}}$$

Тогда в степенном законе двух третей  $V(t) = K(t)/\kappa_e(t)^{2/3}$  коэффициент усиления скорости  $K(t)$  для эллипса становится постоянным:  $K(t) = (ab)^{2/3} = const$ . Следовательно движение по эллиптической кривой относится к биологическому типу движения.

На полюсе большой оси  $A(a, 0)$  кривизна  $\kappa_e(A)$  максимальная, а на полюсе малой оси кривизна  $\kappa_e(B)$  минимальная ( $a > b$ ). Кривизны на полюсах называются главными кривизнами, их значение вычисляется как:  $\kappa_e(A) = \kappa_e(t=0) = \frac{a}{b^2}$ ,  $\kappa_e(B) = \kappa_e(t=\frac{\pi}{2}) = \frac{b}{a^2}$  откуда, зная главные кривизны мы можем вычислить главные полуоси:  $a = (\kappa_e(A) \cdot \kappa_e(B)^2)^{-1/3}$ ,  $b = (\kappa_e(B) \cdot \kappa_e(A)^2)^{-1/3}$ .

Расстояние между фокусами эллипса можно выразить через главные кривизны следующим образом:

$$|F_1F_2| = 2 \cdot ((\kappa_e(A) \cdot \kappa_e(B)^2)^{-2/3} - (\kappa_e(B) \cdot \kappa_e(A)^2)^{-2/3})^{1/2}$$

А длина «нити»  $l$  для построения эллипса можно вычислить через кривизны как:

$$l = |F_1M| + |F_2M| = 2 \cdot a = (\kappa_e(A) \cdot \kappa_e(B)^2)^{-1/3}$$

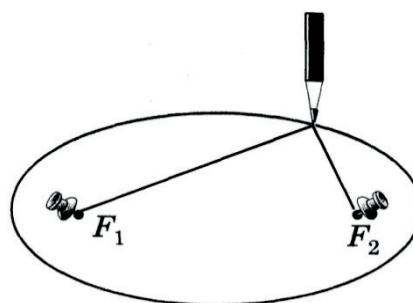


Рис. 2. Построение эллипса либо задание эллиптической траектории движения исходя из данных о наличии расстояния между фокусами и длины нити  $l$ . Траектория натянутой линии, закрепленной на двух концах будет эллиптической

Fig. 2. Plotting an ellipse or setting an elliptical trajectory based on the distance between the foci and the thread length. The trajectory of the extended/stretched line fixed at both ends will be elliptical

Wann и соавторы показали, что когда эксцентриситет эллипса  $\varepsilon$  и ритм движения одинаково низки, показатель степени  $\beta$  степенного закона отклоняется от теоретического значения в 1/3. Они предположили, что эллиптические траектории вырисовываются не как целое, а как последовательность из четырех сегментов в четверть цикла, которые дают хорошее соответствие со степенным законом [14].

Подобную сегментацию можно произвести практически для любого гладкого движения. Тогда, с учетом подобной сегментации можно утверждать, что степенной закон (с разными показателями степени  $\beta$ ) распространяется на все виды траекторий [12].

### 3.3. Примеры использования эллиптических траекторий в построении индивидуальных программ реабилитации (экспериментальная группа)

1. Восстановления функции голеностопного сустава после временной иммобилизации.

Концы эластической ленты закрепляют на рукоятках упора (фокусы эллипса). Эластичность используемой



ленты будет гасить излишние динамические напряжения в ноге и, тем самым, будет повышать гладкость траектории движения.

При выполнении упражнения вес тела находится на опорной ноге, рабочая нога совершает эллиптические движения в голеностопном суставе (фактически – движения по эллипсоидальной поверхности) с использованием эластической ленты. На рисунке 3А представлено движение в открытой кинематической цепи (стопа свободно движется в пространстве), на рисунке 3Б – в замкнутой кинематической цепи (пальцы стопы опираются в перекладину). Закрепление концов

эластической ленты может быть произведено за любые неподвижные фиксаторы или иные приспособления в стандартном гимнастическом зале (зале лечебной физкультуры).

2. Восстановление функции тазобедренного сустава на разгибание с внешней ротацией.

Концы эластической ленты закрепляют на «станке» и удерживаются руками восстанавливаемого спортсмена. Вес тела находится на опорной ноге, рабочая нога совершает эллиптические движения в тазобедренном суставе на разгибание и отведение во внешней ротации (рис. 4) и на отведение и сгибание (рис. 5).

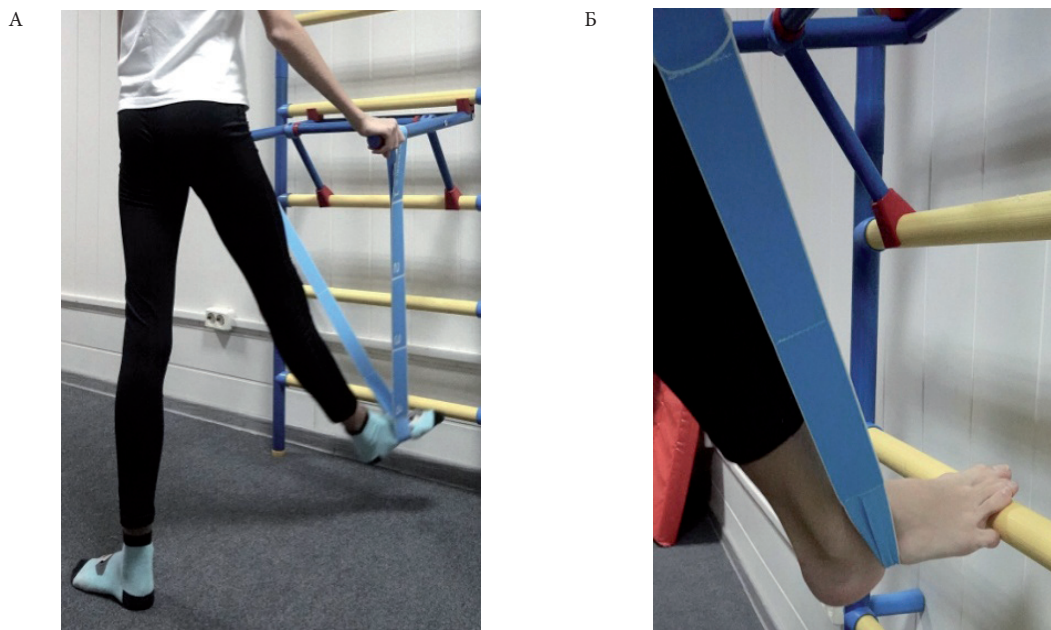


Рис. 3. Выполнение реабилитационных упражнений на восстановление функции в голеностопном суставе по эллиптическим траекториям. А – движения по открытой кинематической цепи. Б – движения по замкнутой (присутствует упор о перекладину) кинематической цепи.  
Fig. 3. Performing rehabilitation exercises to restore the ankle joint function along elliptical trajectories. А – motion along an open kinematic chain. В – movement in a closed (there is an emphasis on the crossbar) kinematic chain



Рис. 4. Прототип эллиптического тренажера для восстановления функции тазобедренного сустава на разгибание и отведение во внешней ротации  
Fig. 4. The prototype of an elliptical trainer to restore the hip joint function to extension and abduction in external rotation

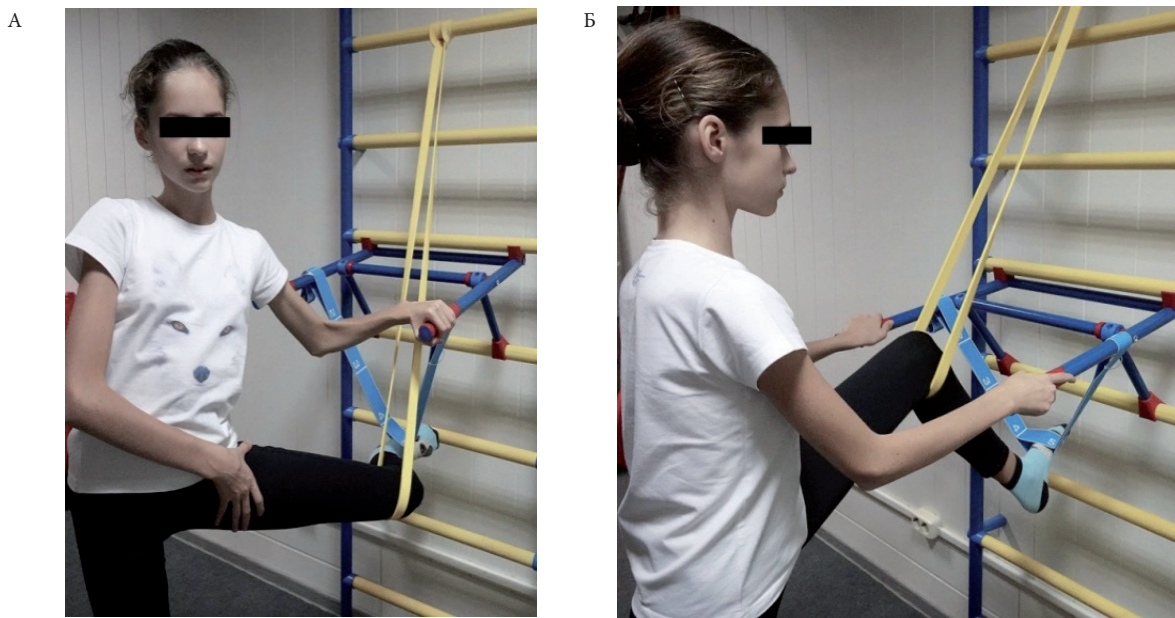


Рис. 5. Прототип комплексного эллиптического тренажера для восстановления функции тазобедренного сустава. А – на отведение тазобедренного сустава. Б – на сгибание тазобедренного сустава. Желтая эластичная лента обеспечивает разгрузку нижней конечности, синяя эластичная лента обеспечивает эллиптическую траекторию движения «от стопы». Упор стопы в шведскую стену создает замкнутую кинематическую цепь  
Fig. 5. The prototype of a complex elliptical trainer to restore the hip joint function. A – the abduction of the hip joint. B – flexion of the hip joint. The yellow elastic tape provides unloading of the lower limb, the blue elastic tape provides an elliptical trajectory of movement “from the foot.” The foot stop against the Swedish wall creates a closed kinematic chain

### 3.4. Алгоритм применения математической модели для прогнозирования оптимальной траектории восстановительного движения

1. Участникам экспериментальной группы прикрепляли светоотражающие маркеры в области поврежденного сустава и симметрично на контралатеральной стороне согласно протоколам построение цифрового скелета по стандартным протоколам [5, 6].

2. Участники экспериментальной группы выполняли произвольные плоские дугообразные движения на максимуме наличествующего объема движений сначала в неповрежденном контралатеральном суставе, а затем в поврежденном суставе на фоне отсутствия болевого или легкого болевого синдрома (до 3-х баллов по визуальной аналоговой шкале боли – ВАШ), либо при усилении болевого синдрома по ВАШ не более, чем на 1 балл. Движения записывались и оцифровывались системой «Qualisys».

3. Траектории движений дистальной конечности по отношению к поврежденному суставу (латеральные мышечки коленного сустава для тазобедренного и носок стопы для голеностопного сустава) анализируются при помощи программной системы «Qualisys Track Manager» и далее, в системе R с целью получения кривизны пороговой субболевого траектории движения в области пониженного объема движений. Данная кривизна сравнивается с кривизной аналогичного движения контралатеральной конечности.

4. По полученным кривизнам при помощи математической модели рассчитывается оптимальная эллиптическая траектория восстановительного движения (рис. 2) и выполняются комплексы физической реабилитации (рис. 3, 4, 5). В течение проводимого курса реабилитации, по мере увеличения объема движений и снижения болевого синдрома, проводится повторная коррекция траектории по указанному выше алгоритму.

Таким образом, в ходе исследования каждому восстанавливаемому спортсмену индивидуально подбирали эллиптические траектории движения.

Результаты временных затрат при проведении полного курса реабилитации до возвращения к тренировочным нагрузкам приведены в табл. 1, в которой представлено среднее время восстановления объема движений после временной иммобилизации или ортопедического режима в группе, получающей стандартную физическую реабилитацию (контрольная группа) и в группе с индивидуально подобранными по траекториям движения упражнениями физической реабилитацией (экспериментальная группа).

Следующим косвенным показателем эффективности рассматриваемого способа реабилитации восстанавливаемых областей ОДА была субъективная оценка личными тренерами физических кондиций вернувшихся к тренировкам спортсменов контрольной и экспериментальной групп (табл. 2).

Таблица 1

**Средняя продолжительность восстановления объема движений после временной иммобилизации или ортопедического режима в контрольной и экспериментальной группах**

Table 1

**Average mean duration of ROM restoration after temporary immobilization or orthopaedic regime in control and experimental groups**

Группа больных / Patient group	Контрольная подгруппа / Control Subgroup	Экспериментальная подгруппа / Experimental Subgroup
Группа I (тазобедренный сустав, n=14) / Group I (hip joint, n=14)	18±5 суток / days (n=7)	12±3 суток / days (n=7)
Группа II (голеностопный сустав, n=18) / Group II (ankle joint, n=18)	12±4 суток / days (n=9)	8±3 суток / days (n=9)

*Примечание:* Приведенные в таблице данные обладали сильной дисперсией в силу малочисленности относительно разброса по возрасту, а также разного характера и выраженности повреждений мышечно-связочного аппарата. Поэтому, приведенные в таблице данные следует рассматривать как относительный показатель эффективности применимости разрабатываемого подхода в целом.

*Note:* The data presented in the table had a strong dispersion due to data scarcity relative to the age range, as well as the different nature and severity of musculoskeletal injuries. Therefore, the data presented in the table should be considered as a relative indicator of the effectiveness and applicability of the developed approach as a whole.

Таблица 2

**Средняя оценка физических кондиций и способности спортсменов тренироваться (по опросу тренеров по 10-балльной шкале)**

Table 2

**Average mean assessment of athlete's physical condition and training ability (10-point scale coach questionnaire)**

Группа больных / Patient group	Контрольная подгруппа / Control Subgroup	Экспериментальная подгруппа / Experimental Subgroup
Группа I (тазобедренный сустав, n=14) / Group I (hip joint, n=14)	3±1 балл / points (n=7)	5±1 балл / points (n= )
Группа II (голеностопный сустав, n=18) / Group II (ankle joint, n=18)	4±2 балла / points (n=9)	5±1 балл / points (n=9)

*Примечание:* Приведенные в таблице данные обладают низкой статистической достоверностью, так как отражают субъективные мнения личного тренера спортсмена. Тем не менее, для каждой из рассматриваемых локализаций повреждения (тазобедренный и голеностопный сустав) отмечалось наличие лучших физических кондиций и способности тренироваться у спортсменов экспериментальной группы.

*Note:* The data presented in the table have low statistical significance, as they reflect the subjective opinions of the athlete's personal coach. Nevertheless, for each of the considered injury location (hip and ankle joint), we found the better physical conditions and the ability to train in athletes of the study group.

#### 4. Заключение

Динамические характеристики движения являются основными параметрами дозирования физической нагрузки при проведении реабилитации спортсменов. Однако, учет геометрических характеристик движения, особенно при восстановлении объема движения в суставе является не менее важным.

В результате выполненного исследования разработан математический модельный подход по построению персонализированных траекторий движения при восстановлении функций ОДА. При этом хорошо изученные в восстановительной медицине эллиптические движения являются лишь одним из возможных типов движений.

Другие типы траектории движений (Лемниската, листки клевера и др.) не менее эффективны и будут изучены в ходе дальнейших исследований.

На основании изложенного подхода с учетом индивидуальных анатомо-физиологических особенностей восстанавливаемого спортсмена, вида спорта и характера повреждения спортсмену могут быть «спроектированы» оптимальные физиологические паттерны движения восстанавливаемой конечности. Эти паттерны могут быть реализованы в процессе выполнения физических упражнений с использованием специальных тренажеров и без них.

**Список литературы**

1. **Park I, Buchanan J.** Motor skill learning and the development of visual perception processes supporting action identification // journal of motor behavior. 2017. Vol. 50, №5. P.1-13.
2. **Venture G, Laumond JP, Watier B.** Biomechanics of anthropomorphic systems. Springer tracts in advanced robotics. Springer. 2019. Vol.124, P.185-209.
3. **Бернштейн Н.А.** О построении движения. М.: Государственное издательство медицинской литературы, 1947. 254 с.
4. **Goswami A, Vadakkepat P.** Humanoid Robotics: A reference. Netherlands, Springer Netherlands, 2019. 2699 p.
5. **Stief F, Böhm H, Michel K, Schwirtz A, Döderlein L.** Reliability and accuracy in three-dimensional gait analysis: a comparison of two lower body protocols // Journal of applied biomechanics. 2013. Vol. 29, №1. P.105-111.
6. **Phinyomark A, Petri G, Ibáñez-Marcelo E, Osis ST, Ferber R.** Analysis of big data in gait biomechanics: current trends and future directions // Journal of medical and biological engineering. 2018. Vol. 38, №2. P.244-260.
7. **Jack WR.** The analysis of voluntary muscular movements by certain new instruments // journal of anatomy and physiology. 1895. Vol. 29. P.473-478.
8. **Derwort A.** Untersuchungen über den zeitablauf figurierter bewegungen beim menschen // pflüger's archiv für die gesamte physiologie des menschen und der tiere. 1938. Vol.240, №6. P.661-675.
9. **Binet A, Courtier J.** Sur la vitesse des mouvements graphiques // Revue Philosophique de la France et de l'Etranger. 1893. Vol.35. P.664-671.
10. **Viviani P, Terzuolo C.** Trajectory determines movement dynamics // Neuroscience. 1982. Vol.7, №2. P.431-437.
11. **Lacquaniti F, Terzuolo C, Viviani P.** The law relating the kinematic and figural aspects of drawing movements // Acta psychologica. 1983. Vol.54, №1-3. P.115-130.
12. **Viviani P, Schneider R.** A developmental study of the relationship between geometry and kinematics in drawing movements // Journal of experimental psychology: human perception and performance. 1991. Vol.17, №1. P.198-218.
13. **Catavittello G, Ivanenko YP, Lacquaniti F, Viviani P.** Drawing ellipses in water: evidence for dynamic constraints in the relation between velocity and path curvature // Experimental brain research. 2016. Vol.234, №6. P.1649-1657.
14. **Wann J, Nimmo-Smith I, Wing AM.** Relation between velocity and curvature in movement: equivalence and divergence between a power law and a minimum-jerk model // Journal of experimental psychology: human perception and performance. 1988. Vol.14, №4. P.622-637.

**Информация об авторах:**

**Васильев Олег Станиславович**, врач по спортивной медицине, в.н.с. НИИ спорта и спортивной медицины ФГБОУ ВО РГУФКСМиТ (ГЦОЛИФК), к.ф.н. ORCID ID: 0000-0002-7932-116X

**Левушкин Сергей Петрович**, и.о. директора Института возрастной физиологии Российской академии образования, директор НИИ спорта и спортивной медицины ФГБОУ ВО РГУФКСМиТ (ГЦОЛИФК), проф., д.б.н. ORCID ID: 0000-0001-6250-2231 (+7(916)965-00-94, levushkinsp@mail.ru)

**Information about the authors:**

**Oleg S.Vasilyev**, M.D., Ph.D. (Philosophy), Sports Medicine Physician, Traumatologist-Orthopedist of Sports Medicine Clinic of the Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism (SCOLIPE), ORCID ID: 0000-0002-7932-116X

**Sergey P. Levushkin**, Director of the Scientific Research Institute of Sports and Sports Medicine. Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism (SCOLIPE), Moscow, Grand PhD in Biological sciences, ORCID ID: 0000-0001-6250-2231 (+7(916)965-00-94, levushkinsp@mail.ru)

**References**

1. **Park I, Buchanan J.** Motor skill learning and the development of visual perception processes supporting action identification. Journal of motor behavior. 2017;50(5):1-13.
2. **Venture G, Laumond JP, Watier B.** Biomechanics of anthropomorphic systems. Springer Tracts in Advanced Robotics. Cham, Springer, 2019. 310 p.
3. **Bernshteyn NA.** О построении движения. М.: Gosudarstvennoye izdatel'stvo meditsinskoy literatury, 1947. 254 p.
4. **Goswami A, Vadakkepat P.** Humanoid Robotics: A Reference. Netherlands, Springer Netherlands, 2019. 2699 p.
5. **Stief F, Böhm H, Michel K, Schwirtz A, Döderlein L.** Reliability and accuracy in three-dimensional gait analysis: a comparison of two lower body protocols. Journal of applied biomechanics. 2013;29(1):105-111.
6. **Phinyomark A, Petri G, Ibáñez-Marcelo E, Osis ST, Ferber R.** Analysis of Big Data in Gait Biomechanics: Current Trends and Future Directions. Journal of medical and biological engineering. 2018;38(2):244-260.
7. **Jack WR.** The analysis of voluntary muscular movements by certain new instruments. Journal of Anatomy and Physiology. 1895;29:473-478.
8. **Derwort A.** Untersuchungen über den zeitablauf figurierter bewegungen beim menschen. Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere. 1938;240(6):661-675.
9. **Binet A, Courtier J.** Sur la vitesse des mouvements graphiques. Revue Philosophique de la France et de l'Etranger. 1893;35:664-671.
10. **Viviani P, Terzuolo C.** Trajectory determines movement dynamics. Neuroscience. 1982;7(2):431-437.
11. **Lacquaniti F, Terzuolo C, Viviani P.** The law relating the kinematic and figural aspects of drawing movements. Acta psychologica. 1983;54(1-3):115-130.
12. **Viviani P, Schneider R.** A developmental study of the relationship between geometry and kinematics in drawing movements. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance. 1991;17(1):198-218.
13. **Catavittello G, Ivanenko YP, Lacquaniti F, Viviani P.** Drawing ellipses in water: evidence for dynamic constraints in the relation between velocity and path curvature. Experimental brain research. 2016;234(6):1649-1657.
14. **Wann J, Nimmo-Smith I, Wing AM.** Relation between velocity and curvature in movement: equivalence and divergence between a power law and a minimum-jerk model. Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance. 1988;14(4):622-637.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки  
**Funding:** the study had no sponsorship

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest.

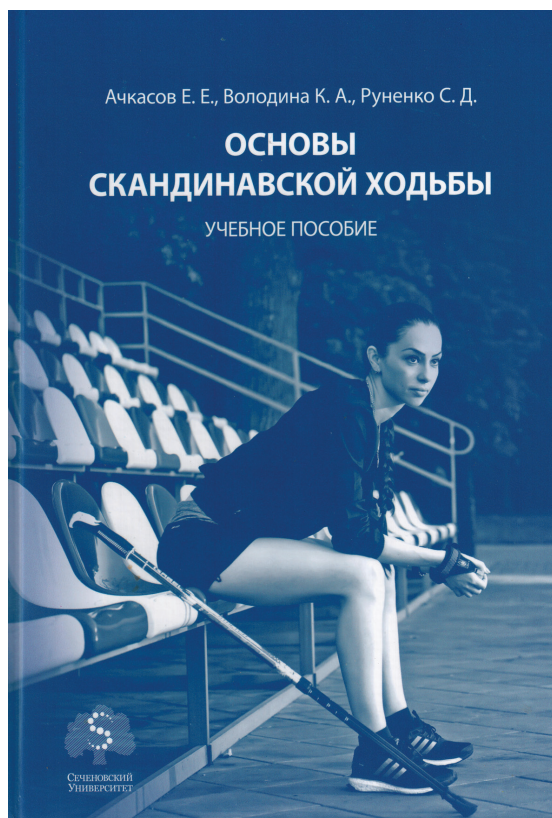
*Поступила в редакцию: 18.04.2020*

*Принята к публикации: 05.06.2020*

*Received: 18 April 2020*

*Accepted: 05 June 2020*

### Серия «Библиотека журнала «Спортивная медицина: наука и практика»



#### Основы скандинавской ходьбы

Ачкасов Е.Е., Володина К.А., Руненко С.Д.

В учебном пособии представлены теоретические и практические аспекты скандинавской ходьбы, которая рассмотрена не только в контексте оздоровительных технологий, но и как средство медицинской реабилитации. Изложена история распространения скандинавской ходьбы, представлены клинично-функциональное обоснование использования скандинавской ходьбы в медицинской реабилитации, особенности врачебного контроля, санитарно-гигиенические требования, экипировка и техническое оснащение занятий скандинавской ходьбой. В отдельных главах подробно рассмотрены вопросы построения тренировочного занятия и техника скандинавской ходьбы, возможности ее использования для развития разных физических качеств человека. Усвоению материала учебного пособия способствуют тестовые задания и вопросы для самоконтроля. В приложениях к пособию содержится дополнительная информация, необходимая для медицинского обследования при занятиях скандинавской ходьбой и оценки ее эффективности, представлены примерные комплексы упражнений при занятиях скандинавской ходьбой.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по программам дополнительного профессионального образования врачей по специальности «Лечебная физкультура и спортивная медицина», других специалистов в области медицинской реабилитации и врачей смежных специальностей, может быть полезно студентам, обучающимся по специальности «Лечебное дело», «Педиатрия», «Медико-профилактическое дело», «Стоматология», инструкторам по лечебной физкультуре.

Книгу можно заказать в редакции журнала по телефону: +7 (499) 248-08-21 или по e-mail: [info@smjournal.ru](mailto:info@smjournal.ru)

## Изучение наследия Олимпийских игр в Сочи в области развития и популяризации массового спорта и здорового образа жизни

*В.А. Бадтиева<sup>1,2</sup>, И.В. Юрьева<sup>1</sup>, А.В. Квитчастый<sup>1</sup>,  
Н.В. Сичинава<sup>1</sup>, Р.Р. Глухова<sup>1</sup>, Е.В. Королева<sup>2</sup>.*

*<sup>1</sup>ГАОУ Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины, Департамент здравоохранения г. Москвы, Москва, Россия*

*<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма» (ГЦОЛИФК), Министерство спорта РФ, Москва, Россия*

### РЕЗЮМЕ

Олимпийские игры – это событие чрезвычайной важности не только для спортсменов, тренеров и судей. Даже люди, не имеющие прямого отношения к миру спорта, ощущают на себе последствия проведения данного грандиозного мероприятия в течение многих последующих лет, поскольку одним из главных аспектов наследия Олимпиады является развитие не столько профессионального, сколько массового спорта. Анализ наследия Олимпийских игр 2014 года, в особенности его нематериального аспекта, представляется сегодня, по прошествии 6 лет с момента их проведения, актуальной, важной и одновременно весьма непростой задачей.

Настоящее исследование представляет собой попытку оценить эффект от проведения Олимпийских игр в Сочи в контексте развития и популяризации массового спорта и здорового образа жизни граждан Российской Федерации. Проведён анализ данных статистических показателей общей динамики увеличения числа лиц, систематически занимающихся физической культурой в России с 2008 по 2019 год. Результаты исследования свидетельствуют о том, что проведение XXII Зимних Олимпийских игр оказало значительный эффект на жизнедеятельность россиян. За десять лет число лиц, занимающихся физической культурой и спортом в России, увеличилось в 2,5 раза, при этом основной позитивный сдвиг наблюдается в молодёжной среде.

**Ключевые слова:** Олимпийские игры; олимпийское наследие; физическая культура и массовый спорт.

**Для цитирования:** Бадтиева В.А., Юрьева И.В., Квитчастый А.В., Сичинава Н.В., Глухова Р.Р., Королева Е.В. Изучение наследия Олимпийских игр в Сочи в области развития и популяризации массового спорта и здорового образа жизни // Спортивная медицина: наука и практика. 2020. Т.10, №2. С.14-18. DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.14

## Sochi Olympics legacy in mass sport and healthy lifestyle development and popularization

*Victoria A. Badtieva<sup>1,2</sup>, Irina V. Uryeva<sup>1</sup>, Anton V. Kvitchasty<sup>1</sup>,  
Nino V. Sichinava<sup>1</sup>, Roza R. Glukhova<sup>1</sup>, Ekaterina V. Koroleva<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine, Moscow, Russia*

*<sup>2</sup>Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism, Moscow, Russia*

### ABSTRACT

The Olympic Games are a mega-event not only for athletes, coaches and referees. It is also very important for all citizens of the Olympic Games host country. The Olympics legacy is the development of mass rather than professional sport. Six years passed since Sochi Olympics and now it is time to evaluate and analyze the intangible aspect of the mega-sports event legacy. We analyzed the data on the overall growth in the number of people systematically involved in physical education and sports in Russia from 2008 to 2019. The study findings suggest a significant positive impact of the Olympics on people's lifestyle. Over the decade, the number of people involved in physical education and sports in Russia increased 2.5 times. The main positive effect is revealed in young people.

**Key words:** Olympic games, Olympic heritage, physical education and mass sport

**For citation:** Badtieva VA, Uryeva IV, Kvitchasty AV, Sichinava NV, Glukhova RR, Koroleva EV. Sochi Olympics legacy in mass sport and healthy lifestyle development and popularization. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice). 2020;10 (2):14-18 (In Russ.) DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.14

В последние два десятилетия МОК предпринимает немало практических усилий для того, чтобы каждые Олимпийские Игры оставляли после себя значимое для граждан принимающей страны наследие. Это является одним из главных аргументов при получении права на проведение Олимпиады [1]. Участники симпозиума «Наследие Олимпийских игр 1984-2000» в Лозанне в 2002 году определили, что олимпийское наследие – это «Устойчивое положительное воздействие на здоровье принимающего города или страны, связанное с проведением Олимпийских игр» [2]. При осуществлении оценки и анализа наследия Олимпиады исследователи выделяют два основных аспекта: материальный и нематериальный [3-5]. В рамках текущей работы мы сфокусировались на последнем.

Нематериальный аспект наследия Олимпиады главным образом проявляется в популяризации физической культуры и здорового образа жизни, а также развитии массового спорта. Спортивные события мирового уровня могут воодушевлять, вдохновлять людей на начало занятий физической культурой, однако это далеко не всегда становится «нормой их жизни» в дальнейшем [6-8]. Работы многих авторов также свидетельствуют о том, что трудно обнаружить причинно-следственные связи между проведением спортивных мероприятий и уровнем развития спорта, а также физической активностью населения [1, 7, 9].

Но это отнюдь не значит, что попытки проанализировать нематериальный аспект Олимпиады не имеют смысла. Величина вклада крупных спортивных мероприятий в развитие массового спорта может быть обусловлена культурной и социальной спецификой принимающей страны. Прошедшие в 2014 году Олимпийские игры стали значимым событием в жизни многих наших сограждан и потребовали при этом огромных финансовых средств, расходование которых должно было оказать позитивное влияние на качество жизни и здоровья населения нашей страны в целом. Поэтому нам представляется важным и актуальным оценить и проанализировать нематериальный аспект наследия Игр, проведённых в Сочи, в контексте развития и популяризации массового спорта и здорового образа жизни граждан Российской Федерации.

Для оценки социокультурного аспекта наследия Олимпиады отслеживается немалое количество разнообразнейших индикаторов. В своей работе мы делаем попытку проанализировать всего два показателя: количество школьников и студентов, вовлечённых в спортивные секции, и приверженность населения города в целом к занятиям физической культурой. В соответствии с рекомендованным МОК подходом OlympicGamesImpact (OGI), направленным на измерение эффекта от проведения Олимпиады [10], проведён анализ данных статистических показателей общей динамики увеличения числа лиц, систематически занимающихся физической культурой в России. Аналитическая справка к докладу о

реализации Стратегии развития физической культуры и спорта в Российской Федерации на период до 2020 года позволила получить данные о показателе числа физкультурников до начала Игр и в течение последующих трех лет [11].

На конец 2008 года 84% населения РФ, в том числе 64,5% детей, подростков и молодежи, не занимались систематически физической культурой и спортом. На десятилетнем отрезке с 2008 года по 2018 год наблюдается положительная динамика роста числа физкультурников и спортсменов (рисунок №1). При подведении первых итогов проведения Олимпиады (в 2015 году) число систематически занимающихся физической культурой и спортом, в общей численности населения увеличилось в 2 раза. По истечении трех лет прирост данного показателя продолжается, но менее выраженными темпами и по итогам 2018 года составляет 8,1%.

Кроме того, важнейшим показателем развития спорта является число школьников и студентов, занимающихся спортом. В 2015 году этот показатель в нашей стране также удвоился по сравнению с 2008 годом. В 2017 году число занимающихся спортом школьников и студентов увеличилось на 10% по сравнению с 2015 годом, в 2018 году – на 14,2% в сравнении с тем же годом.

Теперь обратимся к изучению ситуации, которая наблюдается в отдельных регионах нашей страны. Наиболее показательна картина в Центральном и тех южных регионах, наиболее близких территориально к месту проведения Олимпиады: Краснодарском крае, Ставропольском крае и Ростовской области (рисунок 3). По данным Министерства спорта РФ общее число лиц, систематически занимающихся физической культурой и спортом, в общей численности увеличилось по сравнению с 2008 годом: по Краснодарскому краю на 28,2%, по Москве на 24,2%, по Ставропольскому краю на 22,6%, по Ростовской области на 20,7%. Краснодарский край, получивший в наследие Олимпиады обновленную инфраструктуру, новые современные объекты и многое другое, имеет самый высокий уровень данного показателя (47,9%). А вот в Москве и в Ставропольском крае наблюдается практически одинаковый (с небольшой разницей в 1,1%) показатель по числу лиц, систематически занимающихся массовым спортом.

Также вызывает интерес показатель Ростовской области, опережающий московский на 2,6%. Взятые нами для анализа начальные цифры статистических показателей данных регионов от 2008 года – разные. Так, изначально показатель числа лиц, систематически занимающихся физической культурой и спортом в Ставропольском крае, по данным 2008 года отставал на 0,5% от уровня Москвы. По истечении десяти лет Москва также опережает Ставропольский край, но по-прежнему разница небольшая и составляет 1,1%. Сравнительный анализ между субъектами по годам выявил интересную тенденцию и показательны в этом отношении именно темпы прироста в годы после Олимпийских игр 2014. Если в Москве они



Рис. 1 Соотношение числа граждан РФ, систематически занимающихся физической культурой и спортом с общей численностью населения в 2008-2018 годах

Pic 1 The ratio of the number of citizens of the Russian Federation systematically involved in physical education and sports with the total population in 2008-2018. Blue color – The percentage of Russians systematically involved in physical education and sports in the general population; Orange color – the percentage of schoolchildren and students systematically involved in physical education and sports in the total student population.



Рис. 2 Соотношение числа граждан РФ, систематически занимающихся физической культурой и спортом с общей численностью населения по отдельно взятым регионам в 2008-2017 годах

Pic 2 The ratio of the number of citizens of the Russian Federation systematically involved in physical education and sports with the total population in individual regions in 2008-2017. (blue – Krasnodarsky krai, red – Moscow, green – Stavropol'sky krai, violet – Rostov oblast)



шли равными темпами (до 4%), то в Ставропольском крае в первые 2 года отмечался значительный прирост, который, к сожалению, в последние годы замедлился.

Можно ли считать увеличение числа лиц, систематически занимающихся физической культурой и спортом в РФ положительным наследием только Олимпиады или это результат целенаправленной работы государства, или это очередной этап в развитии общества? Однозначного ответа, разумеется, нет. Вероятнее всего, наблюдаемая нами положительная динамика является следствием совокупного действия факторов. Однако тот факт, что наибольший прирост наблюдается именно в Краснодарском крае, где и проходила Олимпиада, является весомым основанием для того, чтобы полагать, что именно данный фактор сыграл ключевую роль в повышении интереса населения к физической культуре и спорту.

Влияние Олимпиады на спортивную жизнь столиц принимающих стран заслуживает также отдельного внимания. Результаты исследований, проведенных Джеймсом Кокли, не выявили достаточных доказательств увеличения участия населения занятиями физической культурой и спортом в Сиднее 2000 году, и в Лондоне после Игр 2012 года данный показатель не изменился [12]. В Москве же, напротив – начиная с 2014 года число людей, занимающихся спортом, увеличилось в 2 раза за восемь лет. Социальные изменения после Олимпиады 2014 происходят и сейчас: и спорт, и физическая культура постепенно интегрируются в повсед-

невную жизнь москвичей. При ответе на вопрос «Что такое здоровый образ жизни?», в рамках проведенного опроса организованном НИИОЗММ в 2019 году, жители Москвы, на первое место поставили «Физическую активность и спорт» – 54% [13].

Завершая, отметим, что импульс, полученный в 2014 году к развитию спорта и физической культуры в нашей стране, не угасает и по сей день. Согласно опросу ВЦИОМ от 13 ноября 2019 года, 38% россиян систематически занимаются различными формами физической активности, из них: дети 6-12 лет – 67%, подростки и молодежь – 41%, взрослое население 30-59 лет – 36%. Более половины (63%) россиян декларируют, что занимаются спортом, чтобы 1) укрепить здоровье (70%), 2) сохранить или улучшить фигуру (20%), 3) сформировать здоровый образ жизни (19%), 4) улучшить настроение и получить удовольствие (18%) [14].

Данные проведенного исследования позволяют констатировать наличие положительного эффекта проведения Олимпиады в Сочи в сфере развития физической культуры и спорта в России. Доступные статистические данные указывают на рост числа лиц, вовлеченных в занятия физической культурой и спортом в России в 2,5 раза с 2008 года по 2018 год. Также за данный период наблюдается значительный рост спортсменов и физкультурников (с 34,5% до 83%) в молодежной среде. Таким образом, проведение крупных спортивных мероприятий международного уровня в России оказало доказанный социальный эффект.

### Список литературы

1. **Bizarro VR., Lucchese TA, Breis AM, Rucker K, Fernandes MSA, Paletti MT, de Jesus ALC, Pereira RCM, Rocha DRTW, Arbex AK.** Health, physical activity and the Rio de Janeiro 2016 Olympic Games: legacy or fallacy? // *Health*. 2016. Vol.8, №1. P.9.
2. **Dapeng J, Ljungqvist A, Troedsson H.** The Health Legacy of the 2008 Beijing Olympic Games: Successes and Recommendations. World Health Association. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.olympic.org/Documents/Commissions\\_PDF\\_files/Medical\\_commission/The\\_Health\\_Legacy\\_of\\_the\\_2008\\_Beijing\\_Olympic\\_Games.pdf](http://www.olympic.org/Documents/Commissions_PDF_files/Medical_commission/The_Health_Legacy_of_the_2008_Beijing_Olympic_Games.pdf)
3. **Dickson TJ, Benson AM, Blackman DA.** Developing a framework for evaluating Olympic and Paralympic legacies // *Journal of Sport & Tourism*. 2011. Vol.16, №4. P.285-302.
4. **Kaplanidou K.** The importance of legacy outcomes for Olympic Games four summer host cities residents' quality of life: 1996–2008 // *European Sport Management Quarterly*. 2012. Vol.12, №4. P. 397-433.
5. **Preuss H.** A framework for identifying the legacies of a mega sport event // *Leisure studies*. 2015. Vol.34, №6. P.643-664.
6. International Olympic Committee (IOC), Implementing the Olympic Movement's Agenda 21. Sustainability through Sport. 2012. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.olympic.org/Documents/Commissions\\_PDF\\_files/SportAndEnvironment/Sustainability\\_Through](http://www.olympic.org/Documents/Commissions_PDF_files/SportAndEnvironment/Sustainability_Through)

### References

1. **Bizarro VR., Lucchese TA, Breis AM, Rucker K, Fernandes MSA, Paletti MT, de Jesus ALC, Pereira RCM, Rocha DRTW, Arbex AK.** Health, physical activity and the Rio de Janeiro 2016 Olympic Games: legacy or fallacy? *Health*. 2016;8(1):9.
2. **Dapeng J, Ljungqvist A, Troedsson H.** The Health Legacy of the 2008 Beijing Olympic Games: Successes and Recommendations. World Health Association. Available at: [http://www.olympic.org/Documents/Commissions\\_PDFfiles/Medical\\_commission/The\\_Health\\_Legacy\\_of\\_the\\_2008\\_Beijing\\_Olympic\\_Games.pdf](http://www.olympic.org/Documents/Commissions_PDFfiles/Medical_commission/The_Health_Legacy_of_the_2008_Beijing_Olympic_Games.pdf) (accessed 27 May 2020).
3. **Dickson TJ, Benson AM, Blackman DA.** Developing a framework for evaluating Olympic and Paralympic legacies. *Journal of Sport & Tourism*. 2011;16(4):285-302.
4. **Kaplanidou K.** The importance of legacy outcomes for Olympic Games four summer host cities residents' quality of life: 1996–2008. *European Sport Management Quarterly*. 2012;12(4):397-433.
5. **Preuss H.** A framework for identifying the legacies of a mega sport event. *Leisure studies*. 2015;34(6):643-664.
6. International Olympic Committee (IOC), Implementing the Olympic Movement's Agenda 21. Sustainability through Sport. (2012). Available at: [http://www.olympic.org/Documents/Commissions\\_PDFfiles/SportAndEnvironment/Sustainability\\_Through](http://www.olympic.org/Documents/Commissions_PDFfiles/SportAndEnvironment/Sustainability_Through) (accessed 27 May 2020).
7. **Weed M.** How Will We Know If the London 2012 Olympics and Paralympics Benefit Health? *BMJ*. 2010;340:2202.

7. **Weed M.** How Will We Know If the London 2012 Olympics and Paralympics Benefit Health? // *BMJ*. 2010. Vol.340. P.2202.

8. **Wellings K, Datta J, Wilkinson P, Petticrew M.** The 2012 Olympics: assessing the public health effect // *The lancet*. 2011. Vol. 378, №9797. P.1193-1195.

9. **Mahtani KR, Protheroe J, Slight SP, Demarzo MMP, Blakeman T, Barton CA, Roberts N.** Can the London 2012 Olympics 'inspire a generation' to do more physical or sporting activities? An overview of systematic reviews // *BMJ open*. 2013. Vol.3, №1. e002058.

10. **Müller M.** Popular perception of urban transformation through megaevents: understanding support for the 2014 Winter Olympics in Sochi // *Environment and Planning C: Government and Policy*. 2012. Vol. 30, №4. P.693-711.

11. Статистическая информация Министерства спорта РФ [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.minsport.gov.ru/sport/physical-culture/statisticheskaya-inf](http://www.minsport.gov.ru/sport/physical-culture/statisticheskaya-inf)

12. **Coakley J, Souza DL.** Sport mega-events: Can legacies and development be equitable and sustainable? // *Motriz: Revista de Educação Física*. 2013. Vol.19, №.3. P.580-589.

13. Что такое ЗОЖ? Цифры и факты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://niioz.ru/news/chto-takoe-zozh-tsifry-i-fakty/?sphrase\\_id=14990](https://niioz.ru/news/chto-takoe-zozh-tsifry-i-fakty/?sphrase_id=14990) (датаобращения 27.05.2020).

14. Россия – спортивная страна! [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=10001>

8. **Wellings K, Datta J, Wilkinson P, Petticrew M.** The 2012 Olympics: assessing the public health effect. *The lancet*. 2011;378(9797):1193-1195.

9. **Mahtani KR, Protheroe J, Slight SP, Demarzo MMP, Blakeman T, Barton CA, Roberts N.** Can the London 2012 Olympics 'inspire a generation' to do more physical or sporting activities? An overview of systematic reviews. *BMJ open*. 2013;3(1):e002058.

10. **Müller M.** Popular perception of urban transformation through megaevents: understanding support for the 2014 Winter Olympics in Sochi. *Environment and Planning C: Government and Policy*. 2012;30(4):693-711.

11. Statistical information of the Ministry of Sports of Russia (2013-2017). Available at: [www.minsport.gov.ru/sport/physical-culture/statisticheskaya-inf](http://www.minsport.gov.ru/sport/physical-culture/statisticheskaya-inf) (accessed 27 May 2020).

12. **Coakley J, Souza DL.** Sport mega-events: Can legacies and development be equitable and sustainable? *Motriz: Revista de Educação Física*. 2013;19(3):580-589.

13. What is a healthy lifestyle? Facts and Figures (2019). Available at: [https://niioz.ru/news/chto-takoe-zozh-tsifry-i-fakty/?sphrase\\_id=14990](https://niioz.ru/news/chto-takoe-zozh-tsifry-i-fakty/?sphrase_id=14990) (accessed 27 May 2020).

14. Russia – sports country! (2019). Available at: <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=10001> (accessed 27 May 2020).

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки

**Funding:** the study had no sponsorship

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

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

#### Информация об авторах:

**Бадтиева Виктория Асланбековна**, заведующая филиалом №1 (клиника спортивной медицины) ГАУЗ МНПЦ МРВиСМ ДЗ г. Москвы, член-корр. РАН, проф., д.м.н. ORCID: 0000-0003-4291-679X

**Юрьева Ирина Владимировна**, старшая медицинская сестра ГАУЗ МНПЦ МРВиСМ ДЗМ. ORCID ID: 0000-0002-8181-6882

**Квитчастый Антон Владимирович**, научный сотрудник ГАУЗ МНПЦ МРВиСМ ДЗМ кандидат психологических наук. ORCID ID: 0000-0002-7151-6114 (+7(926)215-43-07, [suelto15@gmail.com](mailto:suelto15@gmail.com))

**Сичинава Нино Владимировна**, заместитель заведующего филиалом №1 ГАУЗ МНПЦ МРВиСМ ДЗМ, доктор медицинских наук. ORCID ID: 0000-0002-7151-6020

**Глухова Роза Рамзиевна**, врач по спортивной медицине ГАУЗ МНПЦ МРВиСМ ДЗМ. ORCID ID: 0000-0002-4148-8140

**Екатерина Витальевна Королева**, студент ФГБОУ ВО «Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма» (ГЦОЛИФК). ORCID ID: 0000-0002-9819-2578

#### Information about the authors:

**Victoria A. Badiyeva**, M.D., D.Sc. (Medicine), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department №1 of Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine. ORCID ID: 0000-0003-4291-679X

**Irina V. Uryeva**, Senior nurse of Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine. ORCID ID: 0000-0002-8181-6882

**Anton V. Kvitchasty**, Psy.D., Scientist of Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine. ORCID ID: 0000-0002-7151-6114(+7(926)215-43-07, [suelto15@gmail.com](mailto:suelto15@gmail.com))

**Nino V. Sichinava**, M.D., D.Sc. (Medicine), Deputy Head of the Department №1 of Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine. ORCID ID: 0000-0002-7151-6020

**Roza R. Glukhova**, M.D. Sports Medicine Doctor of the Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine. ORCID ID: 0000-0002-4148-8140

**Ekaterina V. Koroleva**, Senior in Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism. ORCIDID: 0000-0002-9819-2578

Поступила в редакцию: 13.03.2020

Принята к публикации: 20.06.2020

Received: 13 March 2020

Accepted: 20 June 2020

DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.19

УДК: 613.955

## Морфо-функциональные особенности юных спортсменов

*Н.В. Рылова<sup>1</sup>, А.В. Жолинский<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Казанский государственный медицинский университет,  
Министерство здравоохранения РФ, Казань, Россия*

*<sup>2</sup>ФГБУ Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины  
и реабилитации ФМБА России, Москва, Россия*

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** изучить морфо-функциональные особенности юных спортсменов. Материалы и методы: Обследованы 102 юных спортсмена в возрасте от 12 до 17 лет. Контрольную (0) группу составили 28 школьников, не занимающихся спортом профессионально. I группа – 35 детей, занимающихся циклическим видом спорта (плавание). II группу составили 47 детей, занимающихся хоккеем на траве. III группа – 20 юных фехтовальщиков. Для обследования детей применяли: сбор анамнеза, опрос, анкетирование, общеклинический осмотр, измерение артериального давления, динамометрия, антропометрия (измерение массы и длины тела, определение индекса массы тела), анализ компонентного состава тела. Проведены лабораторные и инструментальные методы исследования: клинический анализ крови, общий анализ мочи, электрокардиография в покое и после нагрузки, эхокардиография, исследование функции внешнего дыхания, УЗИ органов брюшной полости и малого таза. **Результаты:** по изучаемым параметрам физического развития юные спортсмены имеют показатели выше средних значений детей контрольной группы. Процент жира в организме мальчиков и девочек группы контроля достоверно выше, чем у юных спортсменов. В то же время уровень мышечной массы мальчиков, не занимающихся спортом, ниже показателя атлетов. **Выводы:** В результате проведенных исследований, данных диспансеризации, ретроспективного анализа выявлены достоверные различия в характеристиках исследуемых групп детей и подростков, а также наличие фоновых состояний индивидуальных для каждого вида спорта.

**Ключевые слова:** юные спортсмены, мышечная масса, процент жировой массы

**Для цитирования:** Рылова Н.В., Жолинский А.В. Морфо-функциональные особенности юных спортсменов // Спортивная медицина: наука и практика. 2020. Т.10 №2. С.19-28 DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.19

## Morpho-functional features of young athletes

*Natalya V. Rylova<sup>1</sup>, Andrew V. Zholinsky<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Kazan State Medical University, Kazan, Russia*

*<sup>2</sup>Federal Scientific and Clinical Center for Sports Medicine and Rehabilitation FMBA of Russia, Moscow*

### ABSTRACT

**Objective:** to study the morphological and functional features of young athletes. Materials and methods: The study involved 102 young athletes aged 12 to 17. The control (0) group included 28 schoolchildren who were not involved in professional sport. The study group (1) included 35 children from a youth sport swimming school. The study group (2) included 47 young field hockey players. The study group (3) included 20 young athletes from the Republican Specialized Children and Youth Sports School of the Olympic Fencing Reserve of the Republic of Tatarstan. The examination of the children involved: anamnestic data, a survey, a general clinical examination, a blood pressure measurement, dynamometry, anthropometry (measurement of weight and height with body mass index calculation), body composition analysis with a TANITA analyzer. All the young athletes were examined by specialists: a cardiologist, a neurologist, a surgeon, an orthopedist, an ophthalmologist, an otorhinolaryngologist and a dentist. The laboratory and instrumental tests included: a clinical blood test, a general urine test, a resting ECG and a cardiac stress test, an echocardiogram, a respiratory function test, an ultrasound abdominal cavity and pelvic organs test. **Results:** the young athletes demonstrated higher physical development parameters than the average values in the control group. The percentage of the body fat in the boys and girls in the control group is significantly higher than that in the young athletes. At the same time, the muscle mass in boys not involved in sports is lower than the that in the groups of athletes. **Findings:** The study, the screening and the retrospective analysis revealed significant differences in the characteristics of the studied groups of children and adolescents, as well as the presence of individual conditions associated with sports.

**Keywords:** young athletes, muscle mass, body fat percentage, nutritional status

**For citation:** Rylova N, Zholinsky A. Morphological and functional features of young athletes. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice). 2020; 10(2):19-28. (In Russ). DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.19

### 1. Введение

Детский организм отличается от взрослого быстрым ростом и развитием, активным процессом формирования органов и систем. Регулярные тренировки в детском возрасте повышают функциональные и адаптационные резервы организма, способствуют укреплению здоровья, повышению физической и умственной работоспособности [1, 2]. Однако спорт, особенно детский, характеризуется повышенным травматизмом и возникновением предпатологических и патологических состояний вследствие физического и психического перенапряжения, переутомления, снижения адаптационных резервов [3, 4]. В связи с этим, становится очень актуальным вопрос специализации детей и подростков в спорте, медицинского сопровождения, разработки адекватного тренировочного процесса, соревновательной деятельности и восстановления юного спортсмена [2, 3]. В детско-юношеском спорте общественно значимой целью является специальная подготовка учащихся для реализации ими своих способностей в заранее определенных двигательных действиях в соревновательной форме соответственно возрастным особенностям и последующей углубленной специализированной деятельности в области определенного вида спорта [5-7].

**Цель исследования** – изучить морфо-функциональные особенности юных спортсменов.

### 2. Материал и методы исследования

#### 2.1. Обследуемые спортсмены

Обследованы 130 детей и подростков в возрасте от 12 до 17 лет, которые в зависимости от степени физической активности и специфики спортивной деятельности были распределены на 4 группы.

Контрольную группу (группа 0) составили 28 школьников (20 девочек, средний возраст  $14,4 \pm 0,37$  лет, 8 мальчиков, средний возраст  $14,75 \pm 0,61$  лет), не занимающихся спортом профессионально. Уроки физической культуры – два раза в неделю, без посещения дополнительных спортивных секций.

I группа исследования – 35 юных спортсменов (плавание) (25 мальчиков, средний возраст  $15,12 \pm 0,2$  лет и 10 девочек, средний возраст  $14,55 \pm 0,5$  лет) муниципального МАОУ ДО Детско-юношеская спортивная школа плавания «Касатка» г. Казани. Звание мастера спорта (МС) имеют 2 спортсмена, кандидатов в мастера спорта (КМС) – 5, 1-й взрослый разряд – 11, остальные имеют 2-й взрослый разряд. Тренировки круглогодичные, 2 раза в день по 1,5–2 ч 6 дней в неделю. Плавание относится к циклическим видам спорта и требует преимущественно проявления выносливости, поскольку предполагает многократное повторение стереотипных циклов движений. Этот вид деятельности вызывает расходование большого количества энергии.

II группу исследования составили 47 юных спортсменов (хоккей на траве) (29 мальчиков, средний возраст  $15,78 \pm 0,2$  лет; 18 девочек, средний возраст  $15,68 \pm 0,25$

– учеников Республиканской специализированной детско-юношеской спортивной школы олимпийского резерва (ДЮСШОР) по хоккею на траве «Динамо» Республики Татарстан. Уровень спортивного мастерства: МС – 9, КМС – 16, 1-й взрослый разряд – 15 спортсменов, остальные имели 2-й взрослый и юношеские спортивные разряды. Тренировки проходят 1 раз в день по 2–3 ч 6 дней в неделю. Согласно «Олимпийской классификации видов спорта» хоккей на траве относится к игровым видам спорта. Характеризуется постоянным чередованием интенсивной мышечной деятельности и отдыха (в моменты, когда спортсмены не задействованы непосредственно в игровых эпизодах). При этом помимо выносливости, большое значение имеют координация движений и психическая устойчивость.

III группа – 20 юных спортсменов (фехтование) (10 мальчиков, средний возраст  $14,5 \pm 0,58$  лет; 10 девочек, средний возраст  $14,8 \pm 0,5$  лет), воспитанников Республиканской специализированной ДЮСШОР по фехтованию Республики Татарстан. Звание КМС имеют 4, 1-й взрослый разряд – 7, 2-й взрослый – 7, остальным спортсменам присвоены юношеские разряды. Тренировки 1 раз в день по 2–2,5 ч 6 дней в неделю. Фехтование относится к единоборствам. Цель единоборства – действуя в рамках оговоренных правил, проводить приемы, которые могут причинить сопернику максимальный физический ущерб либо поставить соперника в невыгодное положение, а также защититься от аналогичных приемов. Этот вид спорта связан с повышенным травматизмом, он требует моментальной реакции, психологической устойчивости и физической выдержки.

#### 2.2. Методы обследования

Для обследования спортсменов применяли следующие методы: сбор анамнестических данных, опрос, анкетирование, общеклинический осмотр, измерение артериального давления, динамометрия, антропометрия (измерение массы и длины тела, определение индекса массы тела), анализ состава тела анализатором TANITA. Все спортсмены осмотрены врачами: кардиологом, неврологом, хирургом, ортопедом, офтальмологом, оториноларингологом, стоматологом. Проведены лабораторные и инструментальные методы исследования: клинический анализ крови, общий анализ мочи,

электрокардиография в покое и после нагрузки, эхокардиография, исследование функции внешнего дыхания (ФВД), ультразвуковое исследование (УЗИ) органов брюшной полости и малого таза.

#### 2.3. Особенности организации медицинского сопровождения в спортивных школах

Медицинское обеспечение детей в общеобразовательных и спортивных школах имеет существенные отличия. Так, в общеобразовательной школе медицинская деятельность осуществляется под руководством детской городской поликлиники, ее цель – контроль за состоянием здоровья обучающихся, оказание первой помощи. Основные сведения о состоянии здоровья учащихся ме-

дицинские работники получают в результате ежегодных осмотров детей.

Медицинское обеспечение в детско-юношеской спортивной школе (ДЮСШ) строится следующим образом: при поступлении учащиеся предоставляют письменное разрешение (справку) врача-педиатра поликлиники по месту жительства. Медработник при зачислении детей в группы начальной подготовки руководствуется перечнем противопоказаний занятиям спортом в ДЮСШ. Главная особенность медицинского наблюдения за юными спортсменами заключается в комплексном подходе, направленном на изучение адаптации организма к физическим нагрузкам, соответствие функциональных возможностей нагрузок, применяемых в ходе учебно-тренировочного процесса. С этой целью совместно с тренером-преподавателем на учебно-тренировочных занятиях проводятся медико-педагогические наблюдения. Проводится контроль за соблюдением мер профилактики спортивного травматизма. Осуществляется медицинское наблюдение на учебно-тренировочных занятиях. Наблюдения ведутся за непосредственным воздействием физических нагрузок на организм юных спортсменов и за процессом восстановления после нагрузок.

Врач по спортивной медицине ДЮСШ составляет

график прохождения медицинского осмотра детей. Диспансерные обследования учащиеся учебно-тренировочных групп проходят в ГАУЗ «Республиканский центр медицинской профилактики» 2 раза в год.

#### 2.4. Методы статистического анализа

Для статистической обработки результатов использованы программы: «Microsoft Office Excel 2007» и «IBM SPSS Statistics 20». Материалы исследования были подвергнуты статистической обработке с использованием методов параметрического и непараметрического анализа в соответствии с результатами проверки сравнимых совокупностей на нормальность распределения. Методами вариационной статистики рассчитывали: среднее значение (M), ошибку средней величины (m). Достоверность различий средних сравниваемых величин (p) определяли по коэффициенту Стьюдента (t). Различия показателей считались статистически значимыми при уровне значимости  $p < 0,05$ .

#### 3. Результаты и их обсуждение

Распределение обследуемых в группах по возрасту и полу было примерно одинаковым (табл. 1, 2). Юные спортсмены различались по видам спорта, стажу занятий. Спортивная квалификация были сопоставимы.

Таблица 1

Общая характеристика обследованных девочек (M±m)

Table 1

General characteristics of girls (M±m)

Группа / Group	N	Стаж занятий (лет) / Sports experience (years)	Возраст (лет) / Age (years)	Длина тела (см) / Body Length (cm)	Масса (кг) / Weigh (kg)	ИМТ (кг/см <sup>2</sup> ) / BMI (kg/cm <sup>2</sup> )
0	20	-	14,4±0,3	158,6±1,4	52,5±1,5	20,78±0,3
I	10	6,85±0,4	14,5±0,5	165,35±1,1	57,67±2,5	20,21±0,3
II	18	6,25±0,59	15,6±0,2	163,9±1,7	56,4±1,4	20,97±0,4
III	10	6,4±0,56	14,8±0,5	162,8±1,7	56,0±1,6	21,0±0,4

Примечание: N – количество детей  
Note: N – the number of children.

Таблица 2

Общая характеристика обследованных мальчиков (M±m)

Table 2

General characteristics of boys (M±m)

Группа / Group	N	Стаж занятий (лет) / Sports experience (years)	Возраст (лет) / Age (years)	Длина тела (см) / Body Length (cm)	Масса (кг) / Weigh (kg)	ИМТ (кг/см <sup>2</sup> ) / BMI (kg/cm <sup>2</sup> )
0	8	-	14,75±0,61	165,5±0,6	57,18±3,66	20,55±0,79
I	25	7,88±0,32	15,12±0,2	176,61±1,03*	65,36±1,44*	20,76±0,35
II	29	7±0,41	15,78±0,2	175,13±1,17*	67,87±2,51*	22,04±0,69
III	10	6,4±0,47	14,5±0,58	167,55±3,27	58,09±3,07	20,61±0,77

Примечание: N – количество детей, \* – различия между группами достоверны ( $p < 0,05$ ).  
Note: N – the number of children, \* – the differences between groups are significant ( $p < 0,05$ ).

Данные табл. 1 и 2 свидетельствуют: средние показатели роста и веса мальчиков в I и II группах достоверно выше этих показателей в группе контроля. Следует отметить, что фенотипические признаки организма формируются под влиянием наследственной природы человека и, несомненно, зависят от генов, регулирующих размеры тела. Однако существует представление, что около 60% случаев нарушения физического развития связаны с воздействием различных факторов окружающей среды. Основой физического развития обычно служат три соматометрических признака: длина, масса тела, окружность грудной клетки.

Наиболее оптимальным способом оценки физического развития считается сопоставление фактических данных со значениями центильных таблиц, предложенных профессором И.М. Воронцовым. Наряду с этим широко используют шкалу Стюарт, в которой предусмотрено выделение границ 3, 10, 25, 50, 75, 90 центилей распределения. При этом за норму принимают значения, свойственные половине здоровых детей данного пола и возраста, в интервалах 25–50–75 центилей. Для более простых скрининговых обследований предложено относить к вариантам нормы характеристики, свойственные 80% популяции и находящиеся в интервале от 25-го до 75-го центилей.

Таблица 3  
**Распределение группы юных спортсменов по физическому развитию в центильных интервалах (длина тела / возраст) (%)**

Table 3  
**Distribution of the young athletes groups by physical development in centile intervals (body length / age) (%)**

Центильный интервал / Centile Interval	Эталон / Reference %	Плавание / Swimming (I)	Хоккей на траве / Field Hockey (II)	Фехтование / Fencing (III)
1	3	0	0	0
2	7	0	0	0
3	15	0	8,5	5
4	25	2,85	27,8	25
5	25	20	21,2	45
6	15	34,3	14,9	5
7	7	34,3	12,7	10
8	3	8,55	14,9	10

По оценке длины тела соответственно возрасту в область «средних показателей», свойственных 80% здоровых сверстников, попадают 57,15% спортсменов циклических, 72,4% спортсменов игровых видов спорта и 80% спортсменов единоборств. Они имеют характерное для данной возрастно-половой группы распределение изучаемого признака. Однако 42,85% пловцов, 27,6% хоккеистов и 20% детей, занимающихся фехтованием, имеют показатели «выше средних», характерных лишь

для 10% здоровых детей. Длина тела является основным показателем физического развития человека, она не сразу меняется под влиянием различных условий внешней среды, а изменения данного показателя свидетельствуют о более длительном благополучии или неблагополучии в состоянии детского организма. Сдвиги величин роста имеют большое самостоятельное значение. С ростом длины тела увеличиваются масса и окружность грудной клетки.

Таблица 4  
**Распределение группы юных спортсменов по физическому развитию в центильных интервалах (масса тела / возраст) (%)**

Table 4  
**Distribution of a group of young athletes by physical development in centile intervals (body weight / age) (%)**

Центильный интервал / Centile Interval	Эталон / Reference %	Плавание / Swimming (I)	Хоккей на траве / Field Hockey (II)	Фехтование / Fencing (III)
1	3	0	0	0
2	7	2,85	0	5
3	15	0	4,25	0
4	25	5,75	27,65	25
5	25	31,4	25,5	30
6	15	40	21,5	30
7	7	20	17	10
8	3	0	4,25	0

Из представленных в таблице данных при оценке массы тела соответственно возрасту выявлено, что 77,15% пловцов, 78,9% хоккеистов и 85% фехтовальщиков имеют средние значения по изучаемому признаку, характерные для 80% здоровых детей. Показатели «выше средних» установлены для 20% спортсменов во II и 21,25% III групп

пах исследования. Масса тела в отличие от длины является весьма лабильным показателем, легко меняющимся в зависимости от режима, условий качества жизни, от общего состояния организма и ряда других факторов. Поэтому масса является показателем текущего состояния и зависит от длины тела.

Таблица 5  
**Распределение группы юных спортсменов по физическому развитию в центильных интервалах (масса тела / длина тела) (%)**

Table 5

**Distribution of the young athletes group by physical development in centile intervals (body weight / body length) (%)**

Центильный интервал / Centile Interval	Эталон / Reference %	Плавание / Swimming (I)	Хоккей на траве / Field Hockey (II)	Фехтование / Fencing (III)
1	3	0	0	0
2	7	2,85	0	0
3	15	0	0	0
4	25	22,85	12,7	5
5	25	40	34	35
6	15	20	17	25
7	7	8,5	19,3	35
8	3	5,8	17	0

При оценке массы тела относительно длины «средние показатели», свойственные 80% здоровых сверстников, определены для 82,85% пловцов, 63,7% хоккеистов, 65% занимающихся фехтованием. В 14,3% наблюдений спортсменов I группы, 36,3% спортсменов II группы и 35% спортсменов III группы масса тела относительно длины выходит за рамки средних значений в сторону увеличения, характерного лишь для 10% здоровых детей.

Таким образом, по параметрам физического развития юные спортсмены имеют показатели выше средних значений. Для более полной характеристики и сопоставления отдельных антропометрических показателей мы использовали оценку гармоничности физического развития. Она определялась по максимальной разности между номерами коридоров центильной шкалы после оценки показателей роста, массы тела (по возрасту) и окружности груди.

Таблица 6  
**Показатели развития юных спортсменов**

Table 6

**Indicators of development of young athletes**

Развитие спортсменов / Development	Показатель, Index %		
	Плавание / Swimming (I)	Хоккей на траве / Field Hockey (II)	Фехтование / Fencing (III)
Гармоничное / Harmonious	91,43	85,1	90
Умеренно дисгармоничное / Moderately disharmonious	8,57	14,9	10
Резко дисгармоничное / Sharply disharmonious	0	0	0

Все спортсмены имели гармоничное или умеренно дисгармоничное развитие.

После измерения антропометрических данных подросткам исследуемых групп был проведен анализ состава тела на приборе TANITA BC-543, так как использование росто-весовых индексов не дает надежной информации о составе тела на индивидуальном уровне. Метод биоэлектрического импеданса, основанный на изучении сопротивления различных тканей организма электрическому току, позволяет оценить процентное и

абсолютное содержание мышечной и жировой ткани в организме.

Состав тела в спорте рассматривается как один из факторов, определяющих результативность спортивной деятельности. Первостепенное значение имеет вычисление жировой массы, которая выполняет функции метаболически активного органа, достаточный ее уровень играет существенную роль в поддержании общего здоровья. Знание о композиционном составе тела используют при определении спортивной работоспособности [8-11].

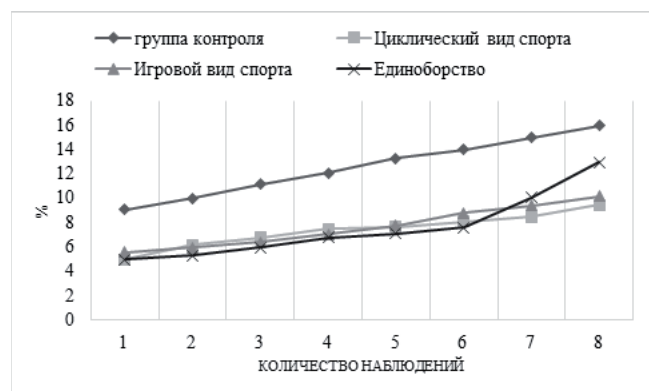


Рис.1. Процентное содержание жира (мальчики)  
Pic. 1. The percentage of fat (boys)

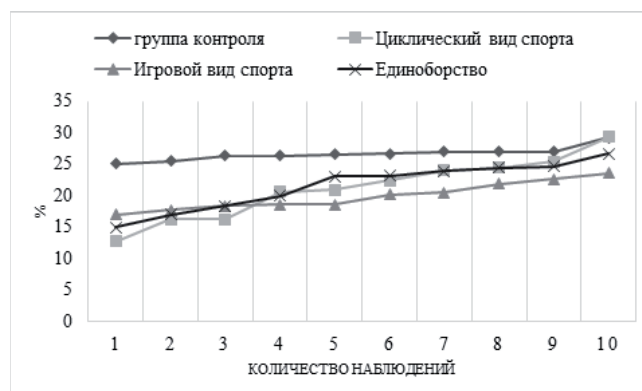


Рис.2.Процентное содержание жира (девочки)  
Pic. 2. The percentage of fat (girls)

#### Данные анализа состава тела мальчиков (M±m)

Таблица 7

#### Data analysis of body composition of boys (M±m)

Table 7

Показатель / Index	Контрольная группа / Control group (0)	Плавание / Swimming (I)	Хоккей на траве / Field Hockey (II)	Фехтование / Fencing (III)
Процентное содержание жира (%) / The percentage of fat (%)	12,58±0,85	8,68±0,77*	7,82±0,72*	7,12±0,81*
Мышечная масса (кг) / Muscle mass (kg)	46,12±1,5	57,33±1,31*	58,86±1,8*	51,31±2,8*

Примечание: \* – различия между группами достоверны (p<0,05).  
Note: \* – the differences between groups are significant (p<0,05).

#### Данные анализа состава тела девочек (M±m)

Таблица 8

#### Data analysis of body composition of girls (M±m)

Table 8

Показатель / Index	Контрольная группа / Control group (0)	Плавание / Swimming (I)	Хоккей на траве / Field Hockey (II)	Фехтование / Fencing (III)
Процентное содержание жира (%) / The percentage of fat (%)	26,7±0,34	21,31±1,58*	19,1±0,76*	21,66±1,21*
Мышечная масса (кг) / Muscle mass (kg)	39,3±4,6	42,59±1,3	46,6±3,21	43,24±1,2

Примечание: \* – различия между группами достоверны (p<0,05).  
Note: \* – the differences between groups are significant (p<0,05).

Выявлено, что процентное содержание жира в организме мальчиков и девочек группы контроля достоверно выше, чем у юных спортсменов. В то же время уровень мышечной массы мальчиков, не занимающихся спортом, ниже этого показателя группы атлетов.

Осмотр специалистов, лабораторные и инструментальные методы исследования юных спортсменов проведены на базе отделения врачебного контроля за занимающимися физкультурой и спортом ГАУЗ «Республиканский центр медицинской профилактики» Респу-

блики Татарстан. Данные о состоянии здоровья детей группы контроля были получены в результате углубленных ежегодных медицинских осмотров.

Реакция системы крови на физическую нагрузку предполагает существование поэтапного включения различных механизмов, обеспечивающих адаптацию к повышенному кислородному запросу. Известно, что физическая нагрузка вызывает вначале гемоконцентрацию за счет выброса в кровотоки депонированных эритроцитов, а при продолжении и завершении нагрузки – гемо-



делюцию из-за повышенного разрушения эритроцитов. Увеличение деструкции эритроцитов под воздействием физической нагрузки объясняют адаптивной реакцией, обеспечивающей гипертрофию мышц и образование новых клеток красной крови. С позиции теории адаптации усиленное разрушение эритроцитов перед активацией анаболических процессов является стереотипной

приспособительной реакцией системы крови в ответ на действие экстремальных факторов, так как активация эритропоэза связана не только с повышением общих катаболических процессов, но и с эритродиерезом, а также образующимися при этом продуктами распада эритроцитов. Реакция системы крови носит приспособительный характер.

Таблица 9

**Показатели общего анализа крови детей и подростков (M±m)**

Table 9

**General blood test of children and adolescents (M±m)**

Показатель / Index	Контрольная группа / Control group (0)	Плавание / Swimming (I)	Хоккей на траве / Field Hockey (II)	Фехтование / Fencing (III)
Лейкоциты (*10 <sup>9</sup> ) / White blood cells (*10 <sup>9</sup> )	5,07±0,28	6,58±0,35	6,38±0,21	6,3±0,34
Тромбоциты (*10 <sup>9</sup> ) / Platelets (*10 <sup>9</sup> )	225,6±11,2	227,7±10,8	233,3±10,5	247±10,79
Эритроциты (*10 <sup>12</sup> ) / Red Blood cells (*10 <sup>12</sup> )	3,96±0,13	4,86±0,12*	5,04±0,07*	4,51±0,15*
Гемоглобин (г/л) / Hemoglobin (g/l)	125,7±3,6	155,6±3*	153±3,81*	140±2,08*
СОЭ (мм/ч) / ESR (mm/h)	3,5±0,6	4,5±0,4	2,8±0,53	4,11±0,75

Примечание: \* – различия между группами достоверны (p<0,05).  
Note: \* – the differences between groups are significant (p<0,05).

Данные, полученные в результате исследования, находятся в пределах возрастной нормы. Однако в группах юных спортсменов общее количество эритроцитов и гемоглобина в крови достоверно выше, чем в контрольной группе. Клетки «красной крови» – самые важные компоненты системы транспорта кислорода. В условиях интенсивной физической нагрузки они играют значимую роль в обеспечении кислородного запроса тканей.

В последнее время на всех соревнованиях международных спортивных организаций помимо допинга контроля осуществляется контроль за концентрацией гемоглобина, количеством ретикулоцитов. Введение та-

кого надзора является ответной мерой на использование искусственных способов повышения работоспособности спортсменов. Один из них называется кровяным допингом и заключается в аутогемотрансфузии. Опасность для здоровья спортсмена состоит в том, что после переливания концентрация эритроцитов возрастает и увеличивается вязкость крови, что не только повышает нагрузку на сердце, но и, что более опасно, грозит внутрисосудистым свертыванием крови и тромбозом кровеносных сосудов.

Юным спортсменам было проведено исследование функции внешнего дыхания.

Таблица 10

**Показатели жизненной емкости легких (ЖЕЛ) в группах юных спортсменов (M±m)**

Table 10

**Indicators of vital lung capacity (VC) in groups of young athletes (M±m)**

ЖЕЛ, см <sup>3</sup> / VC, cm <sup>3</sup>	Плавание / Swimming (I)	Хоккей на траве / Field Hockey (II)	Фехтование / Fencing (III)
	4395±215	3992±246	3240±301

В результате затрудненного вдоха (давление воды на грудную клетку) и выдоха в воду плавание способствует развитию аппарата внешнего дыхания и увеличению жизненной емкости легких (ЖЕЛ). Пловцы имеют самую большую ЖЕЛ по сравнению с представителями других видов спорта.

Синусовая брадикардия у юных спортсменов по данным ЭКГ исследования составила в среднем 55±0,27 уд/мин и выявлена в 30% наблюдений в I и III группах и в 23% в II группе.

В процессе занятий физической культурой и спортом происходит урежение выработки импульсов в синусовом узле, приводящее к синусовой брадикардии. Такая степень брадикардии у спортсменов отражает оптимальный уровень нейровегетативной регуляции деятельности сердца в покое и прежде всего повышение тонуса блуждающего нерва. Для возникновения брадикардии существенное значение имеет также свойственное спортсменам ограничение в покое симпатической нервной активности. При синусовой брадикардии серд-

це имеет относительно большую диастолу, что создает наилучшие условия для его отдыха. Кроме того, редкая ЧСС оказывает благоприятное влияние на миокард, поскольку уменьшается величина его работы и снижается потребность мышечных клеток в кислороде. Все эти процессы следует рассматривать как проявление экономизации деятельности сердца спортсмена в покое. В нашем исследовании признаки ранней реполяризации желудочков выявлены у 24% пловцов, 7% юных спортсменов по хоккею на траве и 20% детей, занимающихся фехтованием.

Юным спортсменам помимо стандартной ЭКГ проведена ЭКГ-проба с физической нагрузкой (20 приседаний, бег в максимальном темпе – 15 с). У всех детей и подростков реакция сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку была по нормотоническому типу, восстановление полное и своевременное.

По данным ЭхоКГ у 40% пловцов, у 25% – хоккеистов и у 30% фехтовальщиков выявлены эктопические хорды левого желудочка.

Большинство школьников из контрольной группы и пловцы имели 1-ю группу здоровья, в то время как среди хоккеистов и фехтовальщиков преобладала 2-я группа здоровья. На рис. 3-6 отображена структура фоновых состояний в каждой из исследуемых групп.



Рис. 3. Структура фоновых состояний в контрольной группе  
Pic. 3. The comorbidities structure in the control group

Так, у школьников контрольной группы в 21% наблюдений выявляли нарушения зрения, среди которых преобладала миопия слабой степени обоих глаз (рис. 3).

У хоккеистов на 1-е место в структуре фоновых состояний выходит плоскостопие (рис. 5). Возможно, это обусловлено тем, что в данном виде спорта стопа регулярно сжата специальной обувью, испытывает сильные мышечные напряжения. При этом спортсмены долго находятся в вертикальном положении с огромной нагрузкой на стопы, выполняют много резких движений.



Рис. 4. Структура фоновых состояний в I группе (плавание)  
Pic. 4. The comorbidities structure in group I (Swimming)



Рис. 5. Структура фоновых состояний во II группе (хоккей на траве)  
Pic. 5. The comorbidities structure in group II (Field Hockey)



Рис. 6. Структура фоновых состояний в III группе (фехтование)  
Pic. 6. The comorbidities structure in in group III (Fencing)

Среди пловцов нарушения зрения также лидируют в структуре фоновых состояний и составляют 28%. Сколиоз в этой группе не выявлен ни у одного подростка (рис. 4).

Из фоновых состояний на изменения со стороны опорно-двигательного аппарата (плоскостопие, сколиоз) у фехтовальщиков приходится 50% (рис. 6). Скорее всего, эта патология обусловлена выбранным видом спорта. В результате перенапряжения мышц руки при выполнении стереотипных движений на протяжении длительного времени происходит ассиметричное распределение нагрузки на позвоночник.

### Список литературы

1. **Рылова Н.В., Биктимирова А.А., Жолинский А.В.** Обмен карнитина в оценке состояния тканевой энергетики и физической работоспособности юных спортсменов // Спортивная медицина: наука и практика. 2019. Т.9, №1. С.14-20. DOI: 10.17238/ISSN22232524.2019.1.14
2. **Рылова Н.В., Биктимирова А.А., Имамов А.А., Жолинский А.В.** Актуальные вопросы медико-биологического сопровождения детско-юношеского спорта // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2018. Т.63, №5. С.231-236. DOI: 10.21508/1027-4065-2018-63-5-231-236
3. **Nabatov AA, Troegubova NA, Gilmutdinov RR, Sereda AP, Samoiliv AS, Rylova NV.** Sport and sample specific features of trace elements in adolescent female field hockey players and fencers // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 2017. Vol.43. P.33-37.
4. **James LP, Haff GG, Kelly VG, Beckman EM.** Towards a Determination of the Physiological Characteristics Distinguishing Successful Mixed Martial Arts Athletes: A Systematic Review of Combat Sport Literature // Sports Med. 2016;Vol.46, №10. P.1525-1551.
5. **Maughan RJ, Shirreffs SM, Vernec A.** Making Decisions About Supplement Use // Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2018;Vol.28, №2. P.212-219.
6. **Pilis K, Stec K, Pilis A.** Body composition and nutrition of female athletes // Roczn. Panstw. Zakl. Hig. 2019. Vol.70, №3. P.243-251.
7. **Sánchez Muñoz C, Muros JJ, López Belmonte Ó, Zabala M.** Anthropometric Characteristics, Body Composition and Somatotype of Elite Male Young Runners // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. Vol.17, №2. P.674.
8. **Arias Téllez MJ, Carrasco F, España Romero V, Inostroza J, Bustamante A, Solar Altamirano I.** A comparison of body composition assessment methods in climbers: Which is better? // PLoS ONE. 2019. Vol.14, №11. e0224291.
9. **Lozano Berges G, Matute Llorente A, Gómez Bruton A, González Agüero A, Vicente Rodríguez G, Antonio Casajus J.** Body fat percentage comparisons between four methods in young football players: are they comparable? // NutrHosp 2017. Vol.34. P.1119-1124.
10. **Ozimek M, Krawczyk M, Zadarko E, Barabasz Z, Ambrozy T, Stanula A, Mucha DK, Jurczak A, Mucha D.** Somatic Profile of the Elite Boulderers in Poland // J Strength Cond Res. 2017. Vol.31. P.963-970.
11. **Lopez-Taylor JR, Gonzalez-Mendoza RG.** Accuracy of Anthropometric Equations for Estimating Body Fat in Professional Male Soccer Players Compared with DXA. 2018. e6843792.

### 3. Выводы

Таким образом, по изучаемым параметрам физического развития юные спортсмены имеют показатели выше средних значений детей контрольной группы. Процент жира в организме мальчиков и девочек группы контроля достоверно выше, чем у юных спортсменов. В то же время уровень мышечной массы мальчиков, не занимающихся спортом, ниже показателя группы атлетов. В результате проведенных исследований, данных диспансеризации, ретроспективного анализа выявлены достоверные различия в характеристиках исследуемых групп детей и подростков, а также наличие фоновых состояний специфичных для каждого вида спорта.

### References

1. **Rylova NV, Biktimirova AA, Zholinsky AV.** Carnitine metabolism in assessing the state of tissue energy and physical performance of young athletes. Sports medicine: research and practice.2019;9(1):14-20. (in Russ.) DOI: 10.17238/ISSN22232524.2019.1.14
2. **Rylova NV, Biktimirova AA, Imamov AA, Zholinsky AV.** Actual issues of biomedical support for children and youth sports. Bulletin of Perinatology and Pediatrics. 2018;63(5):231-236. (in Russ.) DOI: 10.21508/1027-4065-2018-63-5-231-236
3. **Nabatov AA, Troegubova NA, Gilmutdinov RR, Sereda AP, Samoiliv AS, Rylova NV.** Sport and sample specific features of trace elements in adolescent female field hockey players and fencers. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 2017;43:33-37. DOI: 10.1016/j.jtemb.2016.11.002
4. **James LP, Haff GG, Kelly VG, Beckman EM.** Towards a Determination of the Physiological Characteristics Distinguishing Successful Mixed Martial Arts Athletes: A Systematic Review of Combat Sport Literature. Sports Med. 2016;46(10):1525-1551.
5. **Maughan RJ, Shirreffs SM, Vernec A.** Making Decisions About Supplement Use. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2018;28(2):212-219.
6. **Pilis K, Stec K, Pilis A.** Body composition and nutrition of female athletes. Roczn. Panstw.Zakl.Hig. 2019;70(3):243-251.
7. **Sánchez Muñoz C, Muros JJ, López Belmonte Ó, Zabala M.** Anthropometric Characteristics, Body Composition and Somatotype of Elite Male Young Runners. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020;17:74.
8. **Arias Téllez MJ, Carrasco F, España Romero V, Inostroza J, Bustamante A, Solar Altamirano I.** A comparison of body composition assessment methods in climbers: Which is better? PLoS ONE. 2019;14(11):e0224291.
9. **Lozano Berges G, Matute Llorente A, Gómez Bruton A, González Agüero A, Vicente Rodríguez G, Antonio Casajus J.** Body fat percentage comparisons between four methods in young football players: are they comparable? NutrHosp 2017;34:1119-1124.
10. **Ozimek M, Krawczyk M, Zadarko E, Barabasz Z, Ambrozy T, Stanula A, Mucha DK, Jurczak A, Mucha D.** Somatic Profile of the Elite Boulderers in Poland. J Strength Cond Res. 2017;31:963-970.
11. **Lopez-Taylor JR, Gonzalez-Mendoza RG.** Accuracy of Anthropometric Equations for Estimating Body Fat in Professional Male Soccer Players Compared with DXA. 2018:6843792.

**Информация об авторах:**

**Рылова Наталья Викторовна**, профессор кафедры госпитальной педиатрии с курсом поликлинической педиатрии ФГБОУ ВОКазанский государственный медицинский университет Минздрава России, проф., д.м.н. ORCID ID: 0000-0002-9248-6292 (+7(917)397-33-93, rilovanv@mail.ru)

**Жолинский Андрей Владимирович**, директор Федерального научно-клинического центра спортивной медицины и реабилитации ФМБА России, к.м.н. ORCID ID: 0000-0002-0267-9761

**Information about the authors:**

**Natalya V. Rylova**, MD, D.Sc. (Medicine), Prof., Professor of the Department of Hospital Pediatrics with a course of outpatient pediatrics of Kazan State Medical University, Ministry of Health of Russia. ORCID ID: 0000-0002-9248-6292(+7(917)397-33-93, rilovanv@mail.ru)

**Andrew V. Zholinsky**, MD, Ph.D. (Medicine), Director of the Federal Scientific and Clinical Center for Sports Medicine and Rehabilitation of the FMBA of Russia. ORCID ID: 0000-0002-0267-9761

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

**Conflict of interests:** the author declare no conflict of interest

*Поступила в редакцию: 21.11.2019*

*Статья принята к публикации: 05.04.2020*

*Accepted: 21 November 2019*

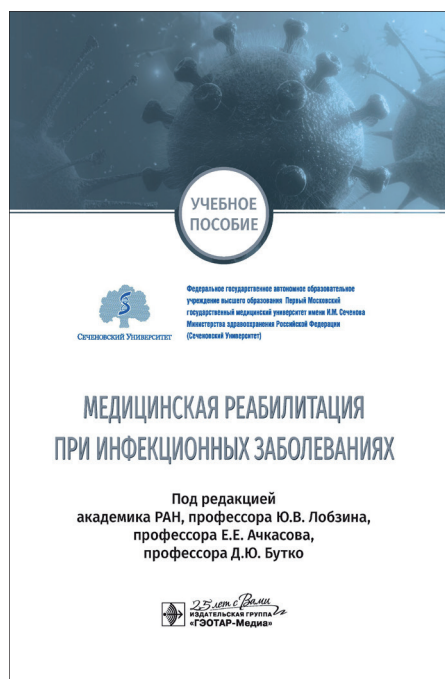
*Received: 05 April 2020*

## Серия «Библиотека журнала «Спортивная медицина: наука и практика»

### Учебное пособие

#### Медицинская реабилитация при инфекционных заболеваниях

Ю. В. Лобзин, Е. Е. Ачкасов, Д. Ю. Бутко



В учебном пособии изложены основы реабилитации инфекционных заболеваний. Отражены исторические предпосылки и теоретико-методологические основы реабилитации инфекционных больных, вопросы организации реабилитационной помощи и патофизиологические основы инфекционного процесса, лечебная физкультура и физиотерапия, нутритивная поддержка и психологические аспекты реабилитации при инфекционных заболеваниях. Представлена методология оценки эффективности реабилитации. Отдельные главы посвящены частным вопросам реабилитации при бактериальных, вирусных и паразитарных инфекциях, а также туберкулёзу. Рассмотрены критерии допуска к занятию спортом после перенесенных инфекционных заболеваний. Тестовые задания для самоконтроля уровня знаний с ответами и контрольные вопросы способствуют улучшению усвоения материала изложенного в учебном пособии и рекомендуемой литературе.

Учебное пособие предназначено для студентов медицинских образовательных учреждений высшего образования, обучающихся по специальностям «Лечебное дело» и «Педиатрия», может быть полезно клиническим ординаторам, обучающимся по специальностям «Лечебная физкультура и спортивная медицина» и «Физиотерапия», специалистам в области медицинской реабилитации, инфекционистам и врачам смежных специальностей.

Книгу можно заказать в редакции журнала по телефону: +7 (499) 248-08-21 или по e-mail: [info@smjournal.ru](mailto:info@smjournal.ru)

DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.29

УДК: 796.015.84/.86-053.67:[616.1:611.018.74]-008.6:615.874.2:615.322:[615.324:638.1]

## Дисфункция эндотелия как главный фактор кардиоваскулярного риска, лимитирующий работоспособность юных спортсменов: методы оценки и коррекция с помощью специализированных продуктов питания на основе апифитокомпонентов

В.Н. Ким<sup>1</sup>, Г.А. Просекин<sup>1</sup>, Ю.Н. Федосов<sup>2</sup>,  
С.О. Ключников<sup>3</sup>, С.А. Парастаев<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Сибирский государственный медицинский университет,  
Министерство здравоохранения РФ, Томск, Россия

<sup>2</sup>АУ Югорский колледж-интернат олимпийского резерва, Ханты-Мансийск, Россия

<sup>3</sup>ФГБУ Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации,  
Федеральное медико-биологическое агентство России, Москва, Россия

<sup>4</sup>ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет  
им. Н.И. Пирогова, Министерство здравоохранения РФ, Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** оценить на основе нагрузочных тестов дисфункцию эндотелия (ДЭ) и работоспособность до и после коррекции специализированными продуктами питания для спортсменов (СППС) на основе апифитокомпонентов. **Материалы и методы:** из 88 спортсменов 16-18 лет основную группу составили 58 человек с 2-месячным употреблением СППС (слиток-конфета «GoldF25 ApiSpeisLight»). В контрольную группу-1 включили 32 школьника и студента, не спортсменов, с нормальной эндотелийзависимой вазодилатацией плечевой артерии (ЭЗВД ПА) на пике пробы с реактивной гиперемией (ПРГ). Контрольная группа-2, включающая 30 спортсменов без приёма СППС, сформирована для сравнения с группой после приёма СППС. У всех лиц оценивали уровень ЭЗВД, эндотелийзависимой вазоконстрикции (ЭЗВК ПА) на пике пробы с гипервентиляцией (ПГВ), коэффициенты (К) чувствительности эндотелия к напряжению сдвига и скорость кровотока ( $V_{ps}$ ) ПА на пике ПРГ и ПГВ, индекс эндотелиальной чувствительности (ИЭЧ), максимально достигнутой нагрузку ( $W_{max}$ ), время достижения порога анаэробного обмена (ПАНО), а также общий и биохимический анализы крови. **Результаты:** ранним проявлением дисфункции эндотелия является снижение его чувствительности к напряжению сдвига на пике ПРГ и ПГВ, из-за перенапряжения эндотелиоцитов, оцениваемое с помощью ИЭЧ (чувствительность 80,9%, специфичность 99,4%). Диагностическая значимость ЭЗВД оказалась в 5,6 раза ниже, чем у ИЭЧ, тогда как у 10,5% спортсменов с ЭЗВД, не ниже 10%, фактически имела место ДЭ, с преобладанием вазоспазма и высоким кардиоваскулярным риском. После приёма СППС в основной группе ЭЗВД возрос на 70%, ЭЗВК снизился в 2,2 раза, а ИЭЧ вырос в 2,3 раза, на фоне улучшения работоспособности. Значения общего холестерина снизились на 13%, триглицеридов на 17%, кортизола на 14%, лактата на 25%. Выросли уровни эритроцитов и минералов. Обнаружена корреляция между увеличением времени до ПАНО со снижением кортизола ( $r=-0,53$ ;  $p<0,0001$ ) и повышением эритроцитов ( $r=0,62$ ;  $p<0,0001$ ), увеличения  $V_{ps}$  ПА на пике ПГВ с повышением  $W_{max}$  ( $r=0,52$ ;  $p<0,0001$ ). **Заключение:** ДЭ – главный фактор кардиоваскулярного риска, ограничивающий работоспособность и формирующий спастический тип регионарной гемодинамики юных спортсменов. Критерий ИЭЧ помогает обнаруживать снижение чувствительности эндотелия к сдвиговому напряжению во время пробы с гипервентиляцией, обуславливающее преобладание вазоспазма. Апробированный СППС может использоваться в медико-биологическом сопровождении юных спортсменов.

**Ключевые слова:** детский спорт, кардиоваскулярный риск, чувствительность эндотелия, вазоспазм, работоспособность, специализированное питание, апифитопродукты

**Для цитирования:** Ким В.Н., Просекин Г.А., Федосов Ю.Н., Ключников С.О., Парастаев С.А. Дисфункция эндотелия как главный фактор кардиоваскулярного риска, лимитирующий работоспособность юных спортсменов: методы оценки и коррекция с помощью специализированных продуктов питания на основе апифитокомпонентов // Спортивная медицина: наука и практика. 2020. Т.10, №2. С.29-40. DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.29

## Endothelial dysfunction as a major cardiovascular risk factor limiting the performance of young athletes: assessment and correction with specialized food products based on apian and herbal components

Vitaliy N. Kim<sup>1</sup>, Georgii A. Prosekin<sup>1</sup>, Yuriy N. Fedosov<sup>2</sup>,  
Sergey O. Klyuchnikov<sup>3</sup>, Sergey A. Parastaev<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>Yugorsky College-Boarding School of Olympic Reserve, Khanty-Mansiysk, Russia

<sup>3</sup>Federal Research and Clinical Center of Sports Medicine and Rehabilitation, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

### ABSTRACT

**Objective:** to assess with exercise tests the endothelial dysfunction (ED) and performance before and after the treatment with specialized athlete's nutrition product (SANP) with apian and herbal components. **Materials and methods:** 88 athletes aged 16-18 we tested. The main group included 58 athletes, who took SANP (candy bar «Gold F25 ApiSpeis Light») for 2 months. The control group-1 included 32 schoolchildren and students, non-athletes, with normal endothelium-dependent vasodilatation function of the brachial artery (EDVD BA) at the peak of the reactive hyperemia test (RHT). Control group-2, 30 athletes who did not take SANP, was formed for the comparison with the main group after taking SANP. For all individuals, we evaluated the level of EDVD, endothelium-dependent vasoconstriction (EDVC BA) at the peak of the hyperventilation test (HVT), the coefficients (C) of the endothelial sensitivity to shear stress and the blood flow velocity (Vps) of the BA at the peak of the RHT and HVT, the endothelial sensitivity index (ESI), and the maximum load (Wmax), the anaerobic threshold time (ATT). We also did general and biochemical blood tests. **Results:** the earliest manifestation of endothelial dysfunction is a decrease in sensitivity to shear stress during RHT and HVT resulting from endotheliocyte overstrain which can be assessed with ESI (sensitivity 80.9%, specificity 99.4). The EDVD diagnostic significance was 5.6 times lower than that of EIS, while 10.5% of athletes with over 10% EDVD actually had ED, with a predominant vasospasm and high cardiovascular risk. After the course of SANP in the main group, EDVD increased by 70%, EDVC decreased by 2.2 times, and the ESI increased by 2.3 times, against the background of improved performance. Total cholesterol decreased by 13%, triglycerides by 17%, cortisol by 14%, lactate by 25%. Red blood cell and mineral levels increased. A correlation was found between an increase in ATT a decrease in cortisol ( $r=-0.53$ ;  $p<0.0001$ ), an increase in red blood cells ( $r=0.62$ ;  $p<0.0001$ ), and an increase in Vps in BA during of hyperventilation with an increase in Wmax ( $r=0.52$ ;  $p<0.0001$ ). **Conclusions:** ED is the main factor of cardiovascular risk, limiting working capacity and forming a spastic type of regional hemodynamics of young athletes. The ESI criterion enables the detection of a decrease in the endothelial sensitivity to shear stress during a hyperventilation test, which causes the predominant vasospasm. The tested SANP can be used in the system of biomedical support for young athletes.

**Key words:** children sports, cardiovascular risk, endothelial sensitivity, vasospasm, working capacity, specialized nutrition, apian and herbal products

**For citation:** Kim VN, Prosekin GA, Fedosov YuN, Klyuchnikov SO, Parastaev SA. Endothelial dysfunction as the main factor in cardiovascular risk, limiting the performance of young athletes: assessment methods and correction using specialized food products based on apian and herbal components. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice). 2020;10(2):29-40 (In Russ.) DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.29

**The list of abbreviations:** BA – brachial artery; ED – endothelial dysfunction; EDVC – endothelium-dependent vasoconstriction; EDVD – endothelium-dependent vasodilatation; ESI – endothelial sensitivity index; HVT – hyperventilation test; RHT – reactive hyperemia test; C (HVT) – coefficient of the endothelial sensitivity to shear stress on HVT; C (RHT) – coefficient of the endothelial sensitivity to shear stress on TRH; Vps BA – blood flow velocity in BA; SANP – specialized athlete's nutrition product; ATT – anaerobic threshold time.

### 1. Введение

Не является секретом, что система подготовки и медико-биологического сопровождения детско-юношеского спорта сопряжена с целым рядом нерешённых задач. В частности, остро стоит проблема ранней специализации, применения «взрослой системы» подготовки, активного использования лекарственных средств и биологически активных добавок (БАД), не всегда соотносимых с запрещённым списком ВАДА. Стремление максимально быстро подготовить новых чемпионов, приводит к выбору неадекватных тренировочных нагрузок, которым подвергаются дети, обуславливающее негативное влияние на их организм, в том числе на психоэмоциональное и физическое развитие [1]. При этом нередко возникающие синдромы перенапряжения (СПН) и перетрениро-

ванности (СПТ) [2] усугубляют проблему подготовки спортивного резерва.

Такие состояния как СПН и СПТ характеризуются расстройством взаимодействия и предельным перенапряжением в работе нейроэндокринной и сердечно-сосудистой систем, что может повышать риск внезапной сердечной смерти (ВСС) молодых атлетов. Об этом могут свидетельствовать результаты исследования [3], в которое в 2016 году было включено 36% от общей численности всех юных спортсменов (14-18 лет) в высших школах США. Авторами зафиксировано 35 случаев остановки сердца и 69 ВСС. Годовой уровень остановки сердца составил 1:67064, а внезапной необъяснимой сердечной смерти – 1:101082. По данным Британского регистра ВСС в спорте, во всех возрастах, «необъяснимая

внезапная смерть» составила 42% [4], при этом в самой молодой группе спортсменов, менее 18 лет, частота «необъяснимой смерти» была максимальной – 56%.

Среди причин необъяснимой смерти, чаще всего рассматривают жизнеугрожающие аритмии, каналопатии и неишемический фиброз миокарда [5], обусловленный негативным влиянием СПН. В этой связи, большой интерес вызывает дисфункция эндотелия (ДЭ), как причина коронарспазма, вследствие перенапряжения сердца у юных спортсменов [6]. Так как доказано, что тяжелая работа, оксидативный стресс, активация перекисного окисления липидов, гиперфункция симпатoadренальной системы, артериальная гипертензия и ДЭ – звенья одной цепи, где «спусковым крючком» выступает ДЭ [7], когда на фоне «чистых» сосудов у реактивно- и личностно-тревожных молодых лиц с вегетативной дисфункцией и гипертрофией левого желудочка, развивается коронарспазм, вследствие микрососудистой дисфункции [8]. В тяжелых случаях при физическом перенапряжении, возможно развитие острой недостаточности коронарного кровообращения в связи с тем, что количество крови, циркулирующей через коронарные сосуды, становится недостаточным для удовлетворения потребности сердечной мышцы в кислороде [9]. Интактный эндотелий, через гликокаликс, способен «чувствовать» напряжение сдвига, создаваемое кровотоком, а также снижать действие ангиотензин превращающего фермента [10]. Поэтому необходимо учитывать, что эндотелиоциты тоже подвергаются перенапряжению и их чувствительность к сдвиговой деформации, также может снижаться, провоцируя, тем самым, коронарспазм неизмененных сосудов. Это положение доказано в долгосрочном наблюдении (9-18 лет) за больными с микрососудистой стенокардией или «кардиальным синдромом Х», в котором установлено достоверное и независимое влияние дисфункции эндотелия плечевой артерии на развитие кардиоваскулярных событий в будущем [11].

Цель исследования – Оценить с помощью нагрузочных тестов дисфункцию эндотелия (ДЭ) и работоспособность у юных спортсменов до и после коррекции специализированными продуктами питания спортсменов (СППС) на основе апифитокомпонентов.

## 2. Материалы и методы

На базе Югорского колледжа-интерната олимпийского резерва (ЮКИОР) г. Ханты-Мансийска было проведено рандомизированное когортное контролируемое исследование у юных спортсменов. Рандомизацию выполняли с помощью случайных чисел, согласно спискам обучающихся. Участвовало 120 человек, из которых 88 спортсменов и 32 здоровых школьников и студентов. В основную группу включили 58 спортсменов (17,1±0,5 лет; мужчин 85,4%) с 2-месячным приёмом СППС: 16 хоккеистов, 14 пловцов, 15 лыжных гонщиков и 13 биатлонистов. Группу контроля-1 составили 32 школьника и студента, не спортсмены (17,3±2,9 лет, мужчин

81%) без приёма СППС с нормальной эндотелийзависимой вазодилатацией (ЭЗВД) плечевой артерии (ПА) на пике пробы с реактивной гиперемией (ПРГ), равной 10% и более к исходному диаметру [12]. Группа сформирована для оценки возрастных нормативов ЭЗВД, показателей крови и наличия факторов риска атеросклероза у юных спортсменов. Для сравнения показателей до и после приёма СППС в основной группе сформирована группа контроля-2 из 30 спортсменов (16,8±0,4; мужчин 83,1%) без приёма СППС: 8 хоккеистов, 7 пловцов, 8 лыжных гонщиков и 7 биатлонистов. Доля атлетов с уровнем кандидата в мастера спорта и выше в основной группе составила 34,0%, в контроле-2 – 35,0%. Сравнимые группы были однородными по возрасту, полу, представительству видов спорта и спортивному мастерству.

У всех лиц проводили ПРГ по D.S. Celermajer и соавт. (1992) [12] с расчетом напряжения сдвига по методу О.В. Ивановой и др. (1998), а также коэффициента чувствительности (К) плечевой артерии к напряжению сдвига на эндотелии, характеризующего способность ПА к дилатации её просвета. Так же, выполняли пробу с гипервентиляцией (ПГВ) для оценки эндотелийзависимой вазоконстрикции (ЭЗВК) плечевой артерии (К. Насао, 1997), в том числе с расчётом индекса эндотелиальной чувствительности (ИЭЧ) по методике В.Н. Кима и соавт. [13], оценивающей ЭЗВД и ЭЗВК, т.е. готовности ПА к ангиоспастическому ответу, по формуле:

$$\text{ИЭЧ} = \text{К(ПВГ)} / \text{К(ПРГ)},$$

где К (ПГВ) – коэффициент чувствительности эндотелия к напряжению сдвига с учетом напряжения сдвига и изменения диаметра ПА, полученных на 5-й минуте ПГВ; К (ПРГ) – коэффициент чувствительности эндотелия к напряжению сдвига с учетом сдвига в первые сек и изменения диаметра ПА, полученного на 75-й сек ПРГ. Чем больше К (от 0 до 1), тем выше ЭЗВД. При К=1, чувствительность и регуляция просвета сосуда идеальная. При значении ИЭЧ<-1,89, чувствительность эндотелия определялась, как низкая.

Помимо этого оценивали максимально достигнутую нагрузку ( $W_{max}$ ), максимальное потребление кислорода (МПК), время достижения порога анаэробного обмена (ПАНО), значения систолического артериального давления (САД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС), индекс напряжения (ИН) по Р.М. Баевскому (1979), общий и биохимический анализ крови до и после применения СППС по 1 плитке (13 г) 3 раза в день (во время или после еды). Изучаемый СППС разработан в форме глазированного плиточка-конфеты «GoldF25 ApiSpeisLight» (по аналогии со «спортивным батончиком»), прошёл испытания в ФИЦ «Питания и биотехнологий» и рекомендован к применению с 14-летнего возраста. В таблицах 1 и 2 приведены его рецептура и химико-аналитический состав.

Таблица 1

**Рецептура ингредиентного состава специализированного продукта питания спортсменов слитка-конфеты «GoldF25 ApiSpeisLight»**

Table 1

**The recipe for the composition of a specialized athlete's nutrition product of the bar candy "Gold F25 ApiSpeis Light"**

Ингредиенты / Ingredients	Расход на 1 кг / consumption per 1 kg	Расход на 100 г / consumption per 100 g	%
Глазурь кондитерская белая / White confectionery icing	0,46108	46,108	46,108
Мед / Honey	0,18	18,0	18,0
Орехи кедровые / Pinenuts	0,13085	13,085	13,085
Перга / Beebread	0,18415	18,415	18,415
Пыльца / Pollen	0,02208	2,208	2,208
Экстракт прополиса водный / Propolis Water Extract	0,00215	0,215	0,215
Маточное молочко / Royaljelly	0,01615	1,615	1,615
Мумие/Mumie	0,00162	0,162	0,162
Экстракт прополиса густой/Thick propolis extract	0,00054	0,054	0,054
Хитозан низкомолекулярный / Chitosan low molecular weight	0,00054	0,054	0,054
Краситель бета-каротин, 30% / Beta Carotene Dye, 30%	0,00046	0,046	0,046

*Примечание:* Далее в таблицах слиток-конфета «GoldF25 ApiSpeisLight» пишется в виде аббревиатуры СППС – специализированный продукт питания спортсменов

*Note:* Further in the tables, the Gold F25 ApiSpeis Light ingot candy is written in the form of the abbreviation SANP – a specialized athlete's nutrition product

Таблица 2

**Пищевая, энергетическая ценность и химический состав СППС**

Table 2

**Nutritional, energy value and chemical composition of the SANP**

Пищевая ценность / The nutritional value	В 100г продукта / In 100g of product	В суточной порции (39г) / In a daily portion (39g)
Углеводы, г / Carbohydrates, g	59,5	23,2
Жиры, г, в т.ч. ПНЖК / Fats, g, incl. polyunsaturated fatty acids	25,0	9,8
Флавоноиды / Flavonoids	4	1,6
Витамин А, мг (бета-каротин) / Vitamin A, mg (beta-carotene)	2,2 (13,2)	0,9 (5,2)
Витамин Е, мг / Vitamin E, mg	0,75	0,29
Кальций, мг / Calciummg	135,0	53,0
Магний, мг / Magnesiummg	54,0	21,0
Пищевые волокна (нераств.), мг / Dietary fiber (undissolved), mg	54,0	21,0
Энергетическая ценность, ккал / Energy value, kcal	462	180

Статистическую обработку выполнили совместно с Центром Биостатистика (e-mail: leo.biostat@gmail.com) под руководством к.т.н., доцента факультета информатики ФГАОУ ВО ТГУ Леонова В.П. Анализ осуществляли с помощью статистических пакетов SAS 9.3, STATISTICA 10 и IBM-SPSS-21. Критическое значение уровня статистической значимости считали равным 0,05. При превышении уровня значимости, выбирали нулевую гипотезу. Проверка нормальности распределения количественных признаков с помощью критерия Колмогорова и критерия Шапиро-Уилки показала, что 80% количественных признаков в группах сравнения не имели нормального распределения.

Поэтому сравнение центральных параметров групп производили с помощью непараметрических методов: дисперсионный анализ Краскела-Уоллиса с использованием ранговых меток Вилкоксона, а также критерий Ван дер Вардена. Для количественных признаков в сравниваемых группах производилась оценка средних арифметических и среднеквадратических (стандартных) ошибок среднего. Дескриптивные статистики в тексте приведены как  $M \pm m$ , где  $M$  – среднее, а  $m$  – ошибка среднего. Оценка взаимосвязи признаков осуществлялась коэффициентом Спирмена. Для подтверждения информативности ультразвуковых критериев использовался ROC-анализ.



### 3. Результаты и их обсуждение

#### 3.1 Результаты исследования

Анализируя исходные данные до приёма СППС, следует отметить, что фактически у всех юных спортсменов в сравнении с группой контроля-1 (школьники и студенты) обнаружены более высокие уровни САД, ЧСС,

общего холестерина, триглицеридов, ИН и кортизола, представляющие собой классические факторы кардиоваскулярного риска. При этом ИН в основной группе был в 2,7 раза ( $111,7 \pm 10,2$  и  $42,1 \pm 8,7$ ;  $p=0,0001$ ) и кортизола на 20% выше ( $359,92 \pm 9,5$  и  $298,77 \pm 14,7$ ;  $p=0,0001$ ), чем у лиц в группе контроля-1 (табл. 3, 4).

Функциональные показатели у спортсменов и здоровых лиц до приёма СППС ( $M \pm m$ )

Таблица 3

Functional indicators in athletes and healthy individuals before taking SANP ( $M \pm m$ )

Table 3

Показатели / Indicators	Основная группа / Main group, n=58	Контроль-1 / Control-1, n=32	Контроль-2 / Control-2, n=30	p – уровень значимости / significance level
САД, мм рт.ст. / Systolic blood pressure, mmHg	126,5±2,3	110,6±2,4	128,2±3,1*	0,001
ЧСС, уд/мин / Heart rate, beats/min	82,7±1,9	71,9±1,7	80,9±1,7*	0,001
Wmax, METS / The maximum achieved load, METS	15,4±2,01	12,6±1,71	14,9±7,15*	0,0001
МПК, мл/мин / Maximum oxygen consumption, ml/min	50,8±0,55	44,2±0,87	51,1±0,71*	0,0001
Время до ПАНО, мин / The anaerobic threshold time, min	10,58±1,1	8,14±0,6	10,92±1,6*	0,0001
Индекс напряжения, усл.ед. / Nervous system stress index	111,7±10,2	42,1±8,7	97,1±12,8*	0,0001
ЭЗВДПА 75 сек ПРГ, % / EDVD BA 75 sec RHT, %	7,8±0,7	13,0±0,6	7,5±0,9*	0,0001
Vps ПА 75 сек ПРГ, см/сек / Vps BA 75 sec RHT, cm/sec	65,6±4,9	48,8±1,5	63,1±5,1	0,0006
Сдвиг 15 сек ПРГ, дин/см <sup>2</sup> / Shear 15 sec RHT, dyne/cm <sup>2</sup>	43,53±6,1	44,67±5,8	44,01±5,7	0,45
ЭЗВК ПА 5 мин ПГВ, % / EDVC BA 5 min HVT, %	-9,1±0,8	-3,9±0,4	-9,8±1,2	0,0001
Vps ПА 5 мин ПГВ, см/сек / Vps BA 5 min HVT, cm/sec	48,3±1,8	56,9±1,4	49,5±2,1*	0,0001
Сдвиг 5 мин ПГВ, дин/см <sup>2</sup> / Shear 5 min HVT, dyne/cm <sup>2</sup>	29,38±4,8	28,05±4,2	30,04±3,5	0,79
К (ПРГ), усл. ед. / C (RHT)	0,1±0,02	0,3±0,05	0,1±0,05	0,0001
К (ПГВ), усл. ед. / C (HVT)	-0,61±0,1	-0,49±0,1	-0,61±0,2	0,0001
ИЭЧ, усл. ед. / ESI	-6,1±0,5	-1,6±0,4	-6,1±0,6	0,0001

Примечание: здесь и в табл. 4 «\*» –  $p < 0,05$  в сравнении с группой контроля-1  
Note: here and in table 4 «\*» –  $p < 0,05$  in the comparison with the control group-1

Лабораторные показатели у спортсменов и здоровых лиц до приёма СППС ( $M \pm m$ )

Таблица 4

Laboratory indicators in athletes and healthy individuals before SANP ( $M \pm m$ )

Table 4

Показатели / Indicators	Основная группа / Main group, n=58	Контроль-1 / Control-1, n=32	Контроль-2 / Control-2, n=30	p – уровень значимости / significance level
Общий холестерин, ммоль/л / Total cholesterol, mmol/l	4,52±0,05	3,81±0,08	4,61±0,05*	0,0001
Триглицериды, моль/л / Triglycerides, mol/l	1,22±0,06	0,91±0,04	1,23±0,09*	0,0001
Лактат, ммоль/л / Lactate, mmol/l	1,99±0,41	1,31±0,37	1,72±0,41*	0,0001
Кальций, моль/л / Calcium, mol/l	2,2±0,04	2,51±0,05	2,21±0,06*	0,0001
Железо, мкмоль/л / Iron, μmol/l	19,05±1,91	23,48±2,77	18,11±1,77*	0,0001
Магний, моль/л / Magnesium, mol/l	0,92±0,02	1,09±0,03	0,93±0,02*	0,0001,31
Фосфор, моль/л / Phosphorus, mol/l	1,11±0,04	1,27±0,07	1,06±0,03*	0,0001
Кортизол, нмоль/л / Cortisol, nmol/l	359,92±9,5	298,77±8,6	368,12±8,2*	0,0001
Эритроциты, *10 <sup>12</sup> /л / Red blood cells, *10 <sup>12</sup> /l	4,94±0,01	5,58±0,01	4,8±0,01*	0,0001
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	140,7±9,2	155,9±8,4	137,0±1,2*	0,0001

Максимально достигнутая нагрузка, МПК и время достижения ПАНО у спортсменов оказались закономерно выше, чем у «не спортсменов». В связи с этим, отмечали и более высокие концентрации лактата в крови ( $1,99 \pm 0,41$  и  $1,31 \pm 0,37$ ;  $p=0,0001$ ). При этом у всех спортсменов выявляли существенные отклонения в показателях ЭЗВД и ЭЗВК ПА, что свидетельствовало о наличии

ДЭ: показатель ЭЗВД в основной группе составил 7,8%, в группе контроля-2 – 7,0% и группе контроля-1 – 13,0% ( $p=0,0001$ ). Тогда как уровень ЭЗВК, характеризующий готовность ПА к спазму был, у спортсменов, в 2,5 раза выше, чем в группе контроля-1 (соответственно, -9,1% в основной группе, -9,8% в контроле-2 и -3,9% в контроле-1;  $p=0,0001$ ). Притом, что уровень ЭЗВД у спортсме-

нов был только в 1,6 раза ниже, чем в группе контроля-1. Вместе с тем, оценивая чувствительность эндотелия к сдвигу при гиперемии, выяснилось, что она была в 3 раза ниже у спортсменов ( $0,1 \pm 0,02$  и  $0,3 \pm 0,05$ ;  $p=0,0001$ ) при одинаковом сдвиге на эндотелии. При этом, оценивая глубину ЭЗВК при гипервентиляции, оказалось, что при одинаковом сдвиге на эндотелии, у спортсменов его чувствительность была на 25% ( $-0,61 \pm 0,1$  и  $-0,49 \pm 0,1$ ;  $p=0,001$ ), а индекс эндотелиальной чувствительности в 3 раза ниже, чем в группе «не спортсменов» ( $-6,1 \pm 0,5$  и  $-1,65 \pm 0,4$ ;  $p=0,0001$ ). Также обращала внимание более низкая скорость кровотока на пике ПГВ, чем в контроле-1 (48,3 и 56,9 см/сек;  $p=0,0001$ ), что свидетельствовало об ухудшении параметров регионарной гемодинамики в условиях гиперспазма ПА на гипервентиляцию.

Учитывая полученные результаты, было осуществлено сравнение диагностической чувствительности,

специфичности, значимости и информативности по четырём, позитивно проявившим себя в исследовании критериям: коэффициенту чувствительности эндотелия к сдвиговому напряжению во время гиперемии, индексу эндотелиальной чувствительности к сдвиговому напряжению во время ПРГ и ПГВ, коэффициенту чувствительности эндотелия к сдвиговому напряжению на пике гипервентиляции и эндотелийзависимой вазодилатации на фоне пробы с реактивной гиперемией (табл. 5). Наибольшей информативностью, специфичностью, чувствительностью и значимостью, среди других методов диагностики эндотелиальной дисфункции обладал, использованный критерий «индекс эндотелиальной чувствительности» (рис. 1). Примечательно, что значимость критерия ЭЗВД была в 5,6 раза, а К(ПРГ) в 2,8 раза ниже, чем у критерия ИЭЧ. При этом что значимость ЭЗВД и К(ПГВ) были практически одинаковыми.

Таблица 5

**Оценка чувствительности (Ч), специфичности (С), значимости (З) и информативности (И) ультразвуковых критериев в диагностике ДЭ по всей выборке, n=120**

Table 5

**Assessment of sensitivity (Se), specificity (Sp), significance (Si) and informational content (In) of ultrasonic criteria in the diagnosis of ED for the entire sample, n=120**

Критерий / Criterion	Ч / Se (%)	С / Sp (%)	З / Si	И / In
К (ПГВ) / C (THV)	70,7	59,3	2,41	71
ЭЗВД / EDVD	74,1	66,7	2,54	78
К (ПРГ) / C (TRH)	77,6	85,6	5,12	85
ИЭЧ / IES	80,9	99,4	14,33	91

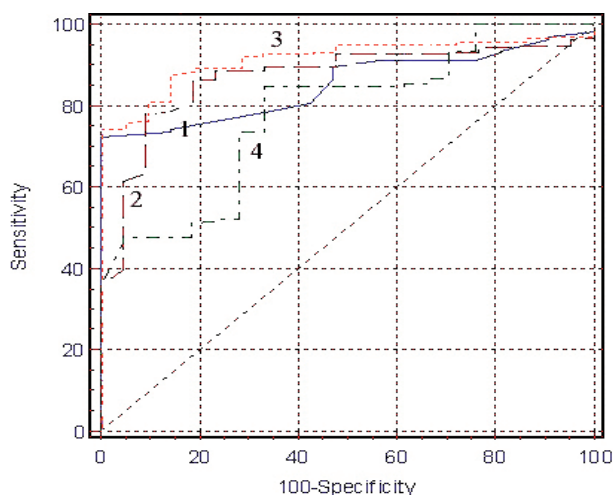


Рис. 1. Сравнение эффективности ультразвуковых критериев в диагностике дисфункции эндотелия с помощью ROC-анализа: 1 – ЭЗВД; 2 – К (ПРГ); 3 – ИЭЧ; 4 – К (ПГВ)

Fig. 1. Comparison of the ultrasound criteria efficiency in the endothelial dysfunction diagnosis with ROC analysis: 1 – EDVD; 2 – C (RHT); 3 – ESI; 4 – C (HVT)

Таким образом, сравнение эффективности различных диагностических подходов показала, что в реаль-

ности у 10,5% спортсменов со значением ЭЗВД не ниже 10%, фактически обнаруживали ДЭ, с преобладанием ангиоспазма и высоким кардиоваскулярным риском. Что и было доказано, благодаря ИЭЧ (чувствительность 80,9%, специфичность 99,4%).

Вместе с тем, важные результаты были получены после 2-месячного использования изучаемого СППС спортсменами основной группы (табл. 6). Прежде всего, заслуживала внимания эффективность восстановления функции эндотелия, причём как дилататорного, так и констрикторного его компонентов. Показатель ЭЗВД нормализовался с приростом 70% (с 7,8 до 13,2%;  $p=0,0001$ ), а ЭЗВК уменьшилась в 2,2 раза (с -9,1 до -4,2%;  $p=0,0001$ ). Коэффициент чувствительности эндотелия к сдвигу на гиперемии возрос вдвое (с 0,1 до 0,2 усл. ед.;  $p=0,0001$ ), чувствительность эндотелия к сдвигу на гипервентиляцию увеличилась на 18% (с -0,61 до -0,52 усл. ед.;  $p=0,001$ ), а ИЭЧ возрос больше, чем в 2,3 раза (-6,1 до -2,6 усл. ед.;  $p=0,0001$ ). Показатель ИН снизился на 43% (с 111,7 до 67,63 усл. ед.;  $p=0,001$ ), уровни САД и ЧСС в покое снизились на 10% и 15%, соответственно. При этом выросли МПК на 14%, время до ПАНО на 13%, максимально достигнутая нагрузка на 12% и скорость кровотока в ПА на пике пробы с гипервентиляцией, также на 12%.

Таблица 6  
Функциональные показатели у спортсменов основной группы до и после использования СППС (M±m)  
Table 6  
Functional indicators in athletes of the main group before and after taking SANP (M±m)

Показатель	До приема СППС / before use SANP, n=58	После приема СППС / after use SANP, n=58	p – уровень значимости/ significance level
САД, ммрт.ст. / Systolic blood pressure, mmHg	126,5±2,3	113,8±3,1**	0,005
ЧСС, уд/мин / Heart rate, beats/min	82,7±1,9	70,2±1,6**	0,002
Wmax, METS / The maximum achieved load, METS	15,4±2,01	17,3±2,15**	0,0001
МПК, мл/мин/кг / Maximum oxygen consumption, ml/min	50,8±0,55	57,9±0,42**	0,0001
Время до ПАНО, мин / The time to threshold anaerobic, min	10,58±1,1	11,93±0,6**	0,001
Индекс напряжения, усл.ед. / Nervous system stress index	111,7±10,2	67,63±12,13**	0,0001
ЭЗВДПА 75 сек ПРГ, % / EDVD BA75 sec. TRH, %	7,8±0,7	13,2±1,3**	0,0001
Vps ПА 75 сек ПРГ, см/сек / Vps BA 75 sec. TRH, cm/sec	65,6±4,9	49,9±3,5**	0,0001
Сдвиг 15 сек ПРГ, дин/см <sup>2</sup> / Shear 15 sec. TRH, dyne/cm <sup>2</sup>	43,53±6,1	44,67±5,8	0,75
ЭЗВК ПА 5 мин ПГВ, % / EDVCBA 5 min. THV, %	-9,1±0,8	-4,2±1,1**	0,0001
Vps ПА 5 мин ПГВ, (см/сек) / VpsBA 5 min. THV, cm/sec	48,3±1,8	54,3±1,6**	0,01
Сдвиг 5 мин ПГВ, дин/см <sup>2</sup> / Shear 5 min THV, dyne/cm <sup>2</sup>	29,38±4,8	28,05±4,2	0,85
К (ПРГ), усл. ед. / С (TRH)	0,1±0,02	0,2±0,05**	0,0001
К (ПГВ), усл. ед. / С (THV)	-0,61±0,1	-0,52±0,1**	0,001
ИЭЧ, усл. ед. / IES	-6,1±0,5	-2,6±0,4**	0,0001

Примечание: здесь и в табл. 7 «\*\*» – p<0,05 в сравнении с группой контроля-2  
Note: here and in table. 7 «\*\*» – p<0.05 compared with the control group-2

Кроме того, значительную динамику наблюдали в лабораторных показателях крови. После 2-месячного применения СППС спортсменами основной группы

(табл. 7), отмечали уменьшение значений показателей, представляющих факторы кардиоваскулярного риска.

Таблица 7  
Лабораторные показатели у спортсменов основной группы до и после коррекции СППС (M±m)  
Table 7  
Laboratory indicators in athletes of the main group before and after correction with SANP (M±m)

Показатели / Parameters	До коррекции / Before correction, n=58	После коррекции / After correction, n=58	p – уровень значимости / significance level
Общий холестерин, ммоль/л / Totalcholesterol, mmol/l	4,52±0,05	3,96±0,08**	0,0001
Триглицериды, моль/л / Triglycerides, mol/l	1,22±0,06	1,01±0,04**	0,0004
Лактат, ммоль/л / Lactate, mmol/l	1,99±0,41	1,49±0,37**	0,0001
Кальций, моль/л / Calcium, mol/l	2,2±0,04	2,47±0,05**	0,0001
Железо, мкмоль/л / Iron, μmol/l	19,05±1,91	22,48±2,77**	0,005
Магний, моль/л / Magnesium, mol/l	0,92±0,02	1,06±0,03**	0,0001,31
Фосфор, моль/л / Phosphorus, mol/l	1,11±0,04	1,25±0,07**	0,0005
Кортизол, нмоль/л / Cortisol, nmol/l	359,92±14,5	308,77±10,7**	0,001
Эритроциты, *10 <sup>12</sup> /л / Red blood cells, *10 <sup>12</sup> /l	4,94±0,01	5,58±0,01**	0,0001
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	140,7±9,2	157,9±8,4**	0,0001

Так, значения общего холестерина снизились на 13%, триглицеридов на 17%, кортизола на 14%, а лактата, характеризующего процесс закисления организма и лимитирования уровня работоспособности, уменьшились на 25%. При этом возросло содержание гемоглобина на 12%, эритроцитов на 13%, наряду с улучшением минерального состава крови. В частности, наблюдали разнонаправленные сдвиги в содержании кальция, калия, магния и фосфора: в основной группе показатели повы-

сились, в контроле-2, через два месяца тренировок без использования СППС, снизились. Это может свидетельствовать о формировании дефицита минералов, что, конечно, небезопасно для растущего организма, в условиях увеличенных ежесуточных физиологических потерь на фоне больших нагрузок. При этом у спортсменов основной группы показатели кальция, калия, магния и фосфора возросли, соответственно, на 12%, 13%, 14% и 13% (p=0,0001), а железа – на 18% (p=0,005).

### 3.2. Обсуждение результатов

Фактически у всех юных спортсменов были обнаружены комбинированные факторы риска атеросклероза в виде гиперфункции симпатоадреналовой системы, проатерогенных сдвигов в липидном спектре, повышенных значений САД и ЧСС и, развернутых проявлений ДЭ с преобладанием ангиоспастических реакций. И это обстоятельство, уже представляло собой ситуацию, требующую коррекции. Дело в том, что у юных спортсменов диагностировано расстройство основного для атлетов физиологического механизма, феномена ЭЗВД, призванного быстро снабжать кислородом работающий миокард и скелетные мышцы и, который всегда должен работать при стрессе, гемодинамическом сдвиге и, при любой по интенсивности физической нагрузке [14]. Лишь благодаря механизму ЭЗВД, обусловленной продукцией эндотелием оксида азота (NO), во время тяжёлой работы, объем коронарного кровотока способен возрасти в 4 раза, а ЭЗВД скелетной мышцы («феномен эндотелийзависимой рабочей гиперемии»), может увеличить мышечный кровоток в 30 раз [15]. Именно поэтому важно учитывать функциональное состояние эндотелийзависимой вазодилатации периферических сосудов у спортсменов.

С другой стороны, нарушение вазодилаторного механизма сосудистой регуляции таит в себе, куда более опасные тенденции, включая возможность участия ДЭ в патогенезе необъяснимой внезапной смерти среди молодых спортсменов. В связи с этим, следует ещё раз отметить, что феномен ЭЗВД играет основную антиспастическую роль, реализованную через способность эндотелия реагировать на напряжение сдвига движущейся крови [10]. Поэтому сохранность эндотелия, – это главное условие для адекватной продукции им, так называемых, базальных уровней NO покоя и, поддержания базального сосудистого тонуса, когда небольшое количество NO уравновешивает вазоспастическое влияние эндотелинов и эластических характеристик артериальной стенки. В условиях же физической активности, увеличение объёмной скорости кровотока приводит к увеличению сдвигового напряжения и, клетки эндотелия вырабатывают дополнительные концентрации стимулированного NO, вызывающие эндотелийзависимую вазодилатацию [15]. При этом расширение происходит, несмотря на постоянное симпатоадреналовое сосудосуживающее действие и механическое давление, со стороны сокращающейся мышцы на стенку артерий. И хотя, в поддержании вазодилатации, вовлекаются и симпатические сосудорасширяющие волокна, работают они избирательно, и активируются только при выраженной стрессовой ситуации или нагрузке. А стало быть, основной вклад в эффект рабочей гиперемии сокращающейся мускулатуры, принадлежит феномену ЭЗВД. И если возникающая при этом гиперметаболическая гипоксия, с резко возрастающей потребностью и миокарда, и скелетных мышц в кислороде не будет удовлетворена его поступлением,

напряжение кислорода падает до критических значений, его потребление уменьшается и, функция ткани снижается [15]. И, если формирующийся в работающей мышце кислородный долг, включает механизмы анаэробного режима работы, то для сердечной мышцы дефицит кислорода приводит к ишемии. Поэтому возникновение кардиомиопатии перенапряжения у спортсменов, в условиях ограничения притока крови и, ангиоспазма при высоких нагрузках, обусловленных ДЭ, не кажется не реальным [6]. Вот почему оценку функции эндотелия необходимо проводить с помощью тестов с реактивной гиперемией и гипервентиляцией, которые позволяют моделировать вазомоторные реакции, возникающие во время осуществления спортсменами максимальных физических нагрузок, когда феномен мышечной рабочей гиперемии реализуется в условиях гипервентиляции.

Полученные данные позволяют полагать, что ДЭ у юных спортсменов проявляется, сначала в виде снижения чувствительности эндотелия к напряжению сдвига на гиперемию и гипервентиляцию, обуславливающее формирование спастического типа гемодинамики. Поэтому предполагаем, что эндотелиоциты тоже подвержены перенапряжению, точнее перестимулированию, когда усиление напряжения сдвига в процессе тренировок, больше не приводит к выбросу дополнительных порций стимулированного NO, а возможно, даже уменьшает его продукцию. Выдвинутое положение подтверждается исследованием M.R. Stacy и соавт. [16]. В работе установлено, что после 50-ти максимальных, непривычных и эксцентрических односторонних сокращений рук, на грани повреждения мышцы плеча, у здоровых мужчин, происходило снижение значений ЭЗВД через 1 ч после работы, которое оставалось низким в течение 96 ч. При этом реакция эндотелия на сдвиговое напряжение сразу после нагрузки тоже снижалась, сохраняясь нарушенной в течение 48 ч ( $p < 0,05$ ). Эти факты позволили более объективно взглянуть на выявленную активность СППС «GoldF25 ApiSpeisLight» в коррекции ДЭ, других ФРА и улучшении параметров работоспособности у юных спортсменов. Данное положение подтверждалось обратной корреляцией «времени достижения ПАНО» с уровнем содержания кортизола ( $r = -0,53$ ;  $p < 0,0001$ ), снижения ЧСС и САД с повышением уровня гемоглобина ( $r = -0,51$ ;  $p < 0,0001$ ). А также прямой корреляцией «времени достижения ПАНО» с уровнем эритроцитов ( $r = 0,62$ ;  $p < 0,0001$ ), снижения ЧСС и САД с ИН ( $r = 0,53$ ;  $p < 0,0009$ ), увеличения скорости кровотока во время гипервентиляции с уровнем максимально достигнутой нагрузки ( $r = 0,52$ ;  $p < 0,0001$ ).

Таким образом, полученные факты сделали возможным более подробно представить химико-аналитический состав нового СППС «GoldF25 ApiSpeisLight», предлагаемого для юных спортсменов. Во-первых, учитывая возраст, использованы ингредиенты только натурального происхождения, хорошо зарекомендовавшие себя в спортивной практике. В этом плане, продукция

пчеловодства и экстракты трав, как нельзя лучше, подходили под цели разработки нового СППС для детей, поскольку уже представляли готовые продукты с повышенной биологической ценностью и, богатым составом микронутриентов. Во-вторых, включали ингредиенты, которые на основании ранее выполненных исследований, могли усиливать ожидаемые коррекционные эффекты. Так, орех кедр с высокой концентрацией полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), в том числе с правильным соотношением  $\alpha$ -линоленовой (омега-3),  $\gamma$ -линоленовой и линолевой (омега-6) кислот, и витамины Е и А ( $\beta$ -каротин) усиливали общий антиоксидантный и противовоспалительный эффект маточного молочка, включая гиполипидемическое действие и улучшение функции эндотелия [17, 18]. При этом дигидрокверцетин прополиса, а также флавоны и  $\beta$ -каротин мёда с маточным молочком обеспечивали дополнительный вклад в усиление антиоксидантной и иммунной защиты организма юных спортсменов [19, 20]. Ещё одним микронутриентом СППС стало мумиё, эффект которого обусловлен органическими соединениями, содержащими магний, калий и кальций. В небольших дозировках мумиё оказывает положительное действие на минеральный обмен и опорно-двигательный аппарат при переломах [21]. Кроме того, был включён ещё один ингредиент хитозан, представляющий группу полисахаридов (сложных углеводов), полученный из хитинового покрова пчёл и, прошедший специальную очистку. Хитозан обладает адсорбирующими свойствами, выводит из организма тяжёлые металлы и оказывает гиполипидемический эффект [22]. Наибольшими по объёму макронутриентами, наряду с кедровым орехом, стали перга (18%) и цветочная пыльца (2,2%), ещё называемые хлебной и пчелиной обножкой. Акцент на этих продуктах был осознанным, связанный с их позитивным влиянием, особенно в сочетании с маточным молочком, на энергетическое обеспечение миокарда [23] и процесс эритропоэза [26-29].

В заключении, необходимо указать на некоторые важные аспекты разработки нового СППС для детского спорта в виде конфеты-слитка 13 г, а также специальной упаковки для 3-х конфет (суточного кейса, 39 г). В

действительности, данный процесс занял почти 7 лет. Благодаря официальному обращению ЮКИОР к производителю продуктов питания и заключению соглашения о сотрудничестве, с 2012 г. начата научная работа по разработке специализированных продуктов питания для юных спортсменов. Сначала были монопродукты: хлебная, мёд с маточным молочком, кедровым орехом, пыльца и др. Затем апробированы «7-компонентный» и «3-компонентный набор» (по 7 и 3 монопродукта). Всё это стало возможным, благодаря использованию результатов УМО спортсменов, которые «помогали отслеживать» коррекционный эффект апифитопродуктов. А также тому факту, что применяемые СППС проходили экспертизу на соответствие заявленных ингредиентов в «ФИЦ питания и биотехнологий». В результате удалось создать эффективное сочетание компонентов и дозировку изучаемого СППС в форме слитка по 13 г. При этом за всё время использования спортсменами апифитопродукции, аллергических реакций не наблюдали. На основе полученных результатов приказом №227 от 14.11.2018 года, СППС «GoldF25 ApiSpeisLight» включён в Формуляр ФМБА России лекарственных средств, БАД, специализированных пищевых продуктов медицинского и медико-биологического обеспечения сборных команд РФ.

#### 4. Выводы

1. Эндотелиальная дисфункция может рассматриваться в качестве главного фактора кардиоваскулярного риска, лимитирующего работоспособность и формирующего спастический тип регионарной гемодинамики у юных спортсменов.

2. Наиболее ранним признаком дисфункции эндотелия у юных спортсменов является снижение чувствительности эндотелия к напряжению сдвига на гипервентиляцию и гиперемия, приводящее к преобладанию вазоспастических реакций.

3. Слиток «GoldF25 ApiSpeisLight» – инновационное специализированное питание для юных спортсменов с доказанной эффективностью и удобное в использовании, благодаря разработанным дозировкам и упаковке в виде суточного кейса.

#### Список литературы

1. Рылова Н.В., Биктимирова А.А., Имамов А.А., Жолинский А.В. Актуальные вопросы медико-биологического сопровождения детско-юношеского спорта // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2018. Т.63, №5. С.231-236.
2. Kreher JB, Schwartz JB. Overtraining syndrome: a practical guide // Sports Health. 2012. №4. P.128-138.
3. Harmon K, Asif I, Maleszewski J, Owens D, Prutkin J, Salerno JC, Zigman ML, Ellenbogen R, Rao AL, Ackerman MJ, Drezner JA. Incidence and Etiology of Sudden Cardiac Arrest and Death in High School Athletes in the United States // Mayo Clin Proc. 2016. Vol. 91, №11. P.1493-1502.

#### References

1. Rylova NV, Biktimirova AA, Imamov AA, Zholinskiy AV. Topical questions of medical and biological support of children's and youth sports. Russian Bulletin of perinatology and pediatrics. 2018;63:5:231-236. DOI:10.21508/1027-4065-2018-63-5-231-236. (In Russ.)
2. Kreher JB, Schwartz JB. Overtraining syndrome: a practical guide. Sports Health. 2012;4:128-138.
3. Harmon K, Asif I, Maleszewski J, Owens D, Prutkin J, Salerno JC, Zigman ML, Ellenbogen R, Rao AL, Ackerman MJ, Drezner JA. Incidence and Etiology of Sudden Cardiac Arrest and Death in High School Athletes in the United States. Mayo Clin Proc. 2016;91:11:1493-1502.

4. **Finocchiaro G, Papadakis M, Robertus JL, Dhutia H, Steriotis AK, Tome M, Mellor G, Merghani A, Malhotra A, Behr E, Sharma S, Sheppard MN.** Etiology of sudden death in sports. Insights from a United Kingdom regional registry // *Journal of the American College of Cardiology*. 2016. Vol.67, №18. P.2108-2115.
5. **Tahir E, Starekova J, Muellerleile K, Stritzky AV, Munch J, Avanesov M, Weinrich JM, Stehning C, Bohnen S, Radunski UK, Freiwald E, Blankenberg S, Adam G, Pressler A, Patten M, Lund GK.** Myocardial fibrosis in competitive triathletes detected by contrast-enhanced CMR correlates with exercise-induced hypertension and competition history // *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2018. Vol.11. P.1260-1270.
6. **Лопатин З.В., Василенко В.С., Карповская Е.Б.** Роль повреждающих эндотелий факторов в патогенезе кардиомиопатии перенапряжения у спортсменов игровых видов спорта // *Педиатр*. 2018. Т.9, №6. С.57-62.
7. **Бершова Т.В., Баканов М.И., Смирнов И.Е., Санфиорова В.М., Корнеева И.Т., Поляков С.Д., Соловьева Ю.В.** Изменения функционального состояния сосудистого эндотелия у юных спортсменов различной квалификации // *Российский педиатрический журнал*. 2016. Т.19, №1. С.14-19.
8. **Camicì PG, Olivotto I, Rimoldi OE.** The coronary circulation and blood flow in left ventricular hypertrophy // *J. Mol. Cell. Cardiol*. 2012. Vol.52, №4. P.857-864.
9. **Foryst-Ludwig A, Kintsher U.** Sex differences in exercise-induced cardiac hypertrophy // *Pflugers Arch*. 2013. Vol.465, №5. P.731-737.
10. **Соколов И.Л., Мелькумянц А.М., Антонова О.А.** Участие эндотелиального гликокаликса в подавлении активности ангиотензин-превращающего фермента при действии напряжения сдвига // *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2019. Т.105, №2. С.198-206.
11. **Соболева Г.Н., Федулов В.К., Самко А.Н., Левицкий И.В., Рогоза А.Н., Балахонова Т.В., Карпов Ю.А.** Прогностическое значение эндотелия коронарных и плечевой артерий, традиционных факторов риска в развитии сердечно-сосудистых осложнений у пациентов с микрососудистой стенокардией // *Российский кардиологический журнал*. 2017. Т.22, №3. С.54-58.
12. **Celermajer DS, Sorensen KE, Gooch VM, Spiegelhalter DJ, Miller OI, Sullivan ID, Lloyd JK, Deanfield JE.** Non-invasive detection of endothelial dysfunction in children and adults at risk of atherosclerosis // *Lancet*. 1992. Vol.340. P.1111-1115.
13. **Ким В.Н., Кривулина Г.Б., Шевелев В.М.** Способ оценки чувствительности сосудистого эндотелия периферических артерий. Патент РФ на изобретение №2283031 от 10.09.2006.
14. **Green DJ, Spence A, Rowley N, Thijssen DH, Naylor LH.** Vascular adaptation in athletes: is there an athlete's artery? // *Exp Physiol*. 2012. Vol.97, №3. P.295-304.
15. **Карпов Р.С., Дудко В.А., Кляшев С.М.** Сердце – легкие: Патогенез, клиника, функциональная диагностика и лечение сочетанных форм ишемической болезни сердца и хронических обструктивных болезней легких. Томск: STT, 2004. 606 с.
16. **Stacy MR, Bladon KJ, Lawrence JL, McGlinchy SA, Scheuermann BW.** Serial assessment of local peripheral vascular function after eccentric exercise. *Appl. Physiol. Nutr. Metab* // 2013. Vol.38, №12. P.1181-1186.
17. **Долголюк И.В., Терещук Л.В., Трубникова М.А., Старовойтова К.В.** Растительные масла – функциональные продукты питания // *Техника и технология пищевых производств*. 2014. №2(33). С.122-125.
4. **Finocchiaro G, Papadakis M, Robertus JL, Dhutia H, Steriotis AK, Tome M, Mellor G, Merghani A, Malhotra A, Behr E, Sharma S, Sheppard MN.** Etiology of sudden death in sports. Insights from a United Kingdom regional registry. *Journal of the American College of Cardiology*. 2016;67:18:2108-2115.
5. **Tahir E, Starekova J, Muellerleile K, Stritzky AV, Munch J, Avanesov M, Weinrich JM, Stehning C, Bohnen S, Radunski UK, Freiwald E, Blankenberg S, Adam G, Pressler A, Patten M, Lund GK.** Myocardial fibrosis in competitive triathletes detected by contrast-enhanced CMR correlates with exercise-induced hypertension and competition history. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2018;11:1260-1270.
6. **Lopatin ZV, Vasilenko VS, Karpovskaya EB.** Role of endothelium damage factors in the pathogenesis of cardiomyopathy surge in athletes sports. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2018;9:6:57-62. DOI: 10.17816/PED9657-62. (In Russ.).
7. **Bershova TV, Bakanov MI, Smirnov IE, Sanfirova VM, Korneeva IT, Polyakov SD, Solov'eva YuV.** Changes in the functional state of the vascular endothelium in young athletes of varying skill levels. *Russian Pediatric Journal*. 2016;19:1:14-19. DOI: 10.18821/1560-9561-2016-19(1)-14-19. (In Russ.).
8. **Camicì PG, Olivotto I, Rimoldi OE.** The coronary circulation and blood flow in left ventricular hypertrophy. *J. Mol. Cell. Cardiol*. 2012;52:4:857-864.
9. **Foryst-Ludwig A, Kintsher U.** Sex differences in exercise-induced cardiac hypertrophy. *Pflugers Arch*. 2013;465:5:731-737.
10. **Sokolov IL, Mel'kumyants AM, Antonova OA.** Endothelial Glycocalyx Participates in Suppression of Angiotensin-Converting Enzyme Activity Caused by Shear Stress. *Russian Journal of Physiology*. 2019;105:2:198-206. DOI: 10.1134/S0869813919020079. (In Russ.).
11. **Soboleva GN, Fedulov VK, Samko AN, Levitskiy IV, Rogoza AN, Balahonova TV, Karpov YuA.** Prognostic value of endothelial dysfunction in coronary and brachial arteries, and common risk factors in development of cardiovascular complications in patients with microvascular angina. *Russian Journal of Cardiology*. 2017;22:3:54-58. DOI: 10.15829/1560-4071-2017-3-54-58. (In Russ.).
12. **Celermajer DS, Sorensen KE, Gooch VM, Spiegelhalter DJ, Miller OI, Sullivan ID, Lloyd JK, Deanfield JE.** Non-invasive detection of endothelial dysfunction in children and adults at risk of atherosclerosis. *Lancet*. 1992;340:1111-1115.
13. **Kim VN, Krivulina GB, Shevelev VM.** Sposob otsenki chuvstvitel'nosti sosudistogo endoteliya perifericheskikh arteriy. Patent (Russia) №2283031, 10.09.2006. (In Russ.).
14. **Green DJ, Spence A, Rowley N, Thijssen DH, Naylor LH.** Vascular adaptation in athletes: is there an athlete's artery? *Exp Physiol*. 2012;97:3:295-304.
15. **Karpov RS, Dudko VA, Klyashev SM.** Serdtse – legkie: Patogenez, klinika, funktsional'naya diagnostika i lechenie sochetannykh form ishemicheskoy bolezni serdtsa i khronicheskikh obstruktivnykh bolezney legkikh. Tomsk, STT, 2004. 606 s. (In Russ.).
16. **Stacy MR, Bladon KJ, Lawrence JL, McGlinchy SA, Scheuermann BW.** Serial assessment of local peripheral vascular function after eccentric exercise. *Appl. Physiol. Nutr. Metab*. 2013;38:12:1181-1186.
17. **Dolgolyuk IV, Tereshchuk LV, Trubnikova MA, Starovoytova KV.** Vegetable oils as functional foods. Food processing: techniques and technology. 2014;2:122-125. (In Russ.).

18. Azab KS, Bashandy M, Salem M, Ahmed O, Tawfik Z, Helal H. Royal jelly modulates oxidative stress and tissue injury in gamma irradiated male Wister Albino rats // N Am J Med Sci. 2011. Vol. 6, №3. P.268-276.

19. Поликарпочкин А.Н., Левшин И.В., Елистратов Д.Г., Поварешченкова Ю.А., Поликарпочкина А.А. Коррекция прооксидантно-антиоксидантного баланса организма спортсменов путём приёма комплекса дигидрокверцетин+ и апитонус+ в соревновательном периоде учебно-тренировочного цикла // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2014. Т.110, №4. С.121-127.

20. El-Hanoun AM, Elkomy AE, Fares WA, Shahien EH. Impact of royal jelly to improve reproductive performance of male rabbits under hot summer conditions // World Rabbit Science. 2014. Vol.22. P.241-248.

21. Фролова Л.Н., Киселева Т.Л. Клинические исследования мумиё. Публикация 4. Влияние на некоторые биохимические показатели крови при переломах костей // Традиционная медицина. 2011. Т.27, №4. С.52-55.

22. Мухаммед А.А., Максимов М.Л. Исследование гипополипидемических свойств чеснока, растительных масел, на примере оливкового, льняного и амарантового, а также пищевых волокон на примере пектина, альгината и хитозана // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т.15, №4. С.390-395.

23. Terada Y, Narukawa M, Watanabe T. Specific hydroxy fatty acids in royal jelly activate TRPA1 // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2011. Vol.59, №6. P.2627-2635.

24. Denisov B, Denisow-Pietrzyk. Biological and therapeutic properties of bee pollen. A review // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2016. Vol.96. P.4303-4309.

25. Zahran AM, Elsayh KI, Saad K, Elloseily EM, Osman NS, Alblihed M, Badr G, Mahmoud MH. Effects of royal jelly supplementation on regulatory T cells in children with SLE // Food & Nutrition Research. 2016. Vol.60. P.32963.

18. Azab KS, Bashandy M, Salem M, Ahmed O, Tawfik Z, Helal H. Royal jelly modulates oxidative stress and tissue injury in gamma irradiated male Wister Albino rats. N Am J Med Sci. 2011;3:6:268-276.

19. Polikarpochkin AN, Levshin IV, Elistratov DG, Povareshchenkova YuA, Polikarpochkina AA. Correction of prooxidant-antioxidant balance of the athletes by intake of the complex Dihydroquercetin+ and Apitonus+ in the training and competitive period. Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta. 2014;110:4:121-127. DOI: 10.5930/issn.1994-4683.2014.04.110.p121-127(In Russ.).

20. El-HanounAM, Elkomy AE, Fares WA, Shahien EH. Impact of royal jelly to improve reproductive performance of male rabbits under hot summer conditions. World Rabbit Science. 2014;22:241-248.

21. Frolova LN, Kiseleva TL. Clinical research of Mummy (Shilajit). Publication 4. The influence on biochemical parameters of blood in cases of bone fractures. Traditsionnaya meditsina. 2011;27:4:52-55. (In Russ.).

22. Mukhammed AA, MaksimovML. The study of hypolipidemias properties of garlic, vegetable oils (olive, flax and amaranth) and dietary fiber on the example of pectin, alginate and chitosan. Journal of new medical technologies. 2014;15:4:390-395. DOI: 10.12737/4786. (In Russ.).

23. Terada Y, Narukawa M, Watanabe T. Specific hydroxy fatty acids in royal jelly activate TRPA1. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2011;59:6:2627-2635.

24. Denisov B, Denisow-Pietrzyk. Biological and therapeutic properties of bee pollen. A review. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2016;96:4303-09.

25. Zahran AM, Elsayh KI, Saad K, Elloseily EM, Osman NS, Alblihed M, Badr G, Mahmoud MH. Effects of royal jelly supplementation on regulatory T cells in children with SLE. Food & Nutrition Research. 2016;60:32963.

#### Сведения об авторах:

**Ким Виталий Николаевич**, профессор кафедры биофизики и функциональной диагностики, заведующий отделением функциональной диагностики клиник ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, д.м.н. ORCIDID: 0000-0002-1351-038X (+7(903)914-38-36, doctorkim@rambler.ru)

**Просекин Георгией Андреевич**, врач отделения функциональной диагностики клиник ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России. ORCIDID: 0000-0003-3582-167X

**Федосов Юрий Николаевич**, заведующий лабораторией медико-биологического сопровождения спортивной подготовки АПОУ ЮКИОР, к.м.н. ORCIDID: 0000-0003-4261-4935

**Ключников Сергей Олегович**, руководитель научно-исследовательской лаборатории медицинских проблем спорта высших достижений ФГБУ ФНКЦСМ ФМБА России, профессор, д.м.н. ORCIDID: 0000-0003-0877-648X

**Парастаев Сергей Андреевич**, профессор кафедры реабилитации, спортивной медицины и физической культуры ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, профессор, д.м.н. ORCIDID: 0000-0002-2281-9936

#### Information about the authors:

**Vitaliy Kim**, M.D., D.Sc. (Medicine), Prof. of the Department of Biophysics and Functional Diagnostics, Head of the Department of Functional Diagnostics of Clinics of the Siberian State Medical University Health Ministry of Russia. ORCID ID: 0000-0002-1351-038X (+7(903)914-38-36, doctorkim@rambler.ru)

**Georgii Prosekin**, M.D., Doctor of functional diagnostics of the Department of Functional Diagnostics of Clinics of the Siberian State Medical University Health Ministry of Russia. ORCID ID: 0000-0003-3582-167X

**YuriyFedosov**, M.D., Ph.D. (Medicine), Head of the Laboratory of Medical and Biological Support of Athletic Training of the Yugorsky College Boarding School of Olympic Reserve. ORCID ID: 0000-0003-4261-4935

**Sergey Klyuchnikov**, M.D. D.Sc. (Medicine), Prof., Head of the Research Laboratory of Medical Problems of High Level Sports of the Federal Medical Biological Agency of Russia. ORCID ID: 0000-0003-0877-648X

**Sergey Parastaev**, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor of the Department of Rehabilitation, Sports Medicine and Physical Education of the Pirogov University Health Ministry of Russia. ORCIDID: 0000-0002-2281-9936

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках прикладных научно-исследовательских работ (НИР) на базе соглашения о сотрудничестве с изготовителем продуктов питания для спортсменов ООО «Тенториум» (Пермь).

**Funding:** Работа выполнена в рамках прикладных научно-исследовательских работ (НИР) на базе соглашения о сотрудничестве с изготовителем продуктов питания для спортсменов ООО «Тенториум» (Пермь).

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

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

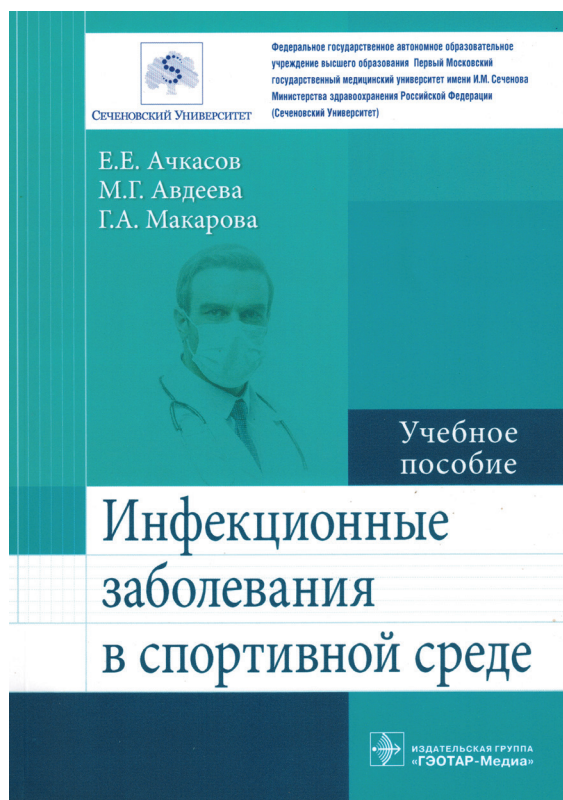
*Поступила в редакцию: 30.03.2020*

*Принята к публикации: 05.06.2020*

*Received: 30 March 2020*

*Accepted: 5 June 2020*

### Серия «Библиотека журнала «Спортивная медицина: наука и практика»



#### Инфекционные заболевания в спортивной среде

Ачкасов Е.Е., Авдеева М.Г., Макарова Г.А.

В учебном пособии изложены основы инфекционного процесса и принципы его терапии, причины и факторы риска развития инфекционных заболеваний у спортсменов, содержится актуальная информация о клинической картине и диагностике основных видов инфекционных заболеваний (вирусной и бактериальной этиологии, протозойные болезни), а также мерах их профилактики в спортивной среде. Рассмотрены особенности лечебно-диагностической тактики и профилактики инфекционных заболеваний кожи у занимающихся спортом. Изложены особенности допуска к занятиям спортом при инфекционных заболеваниях. Рассмотрен порядок проведения профилактических прививок и прививок по эпидемическим показаниям в рамках Национального календаря профилактических прививок, а также особенности вакцинации спортсменов при отдельных инфекциях и вакцинопрофилактики в спорте. Тестовые задания для самоконтроля уровня знаний с ответами и контрольные вопросы способствуют улучшению усвоения материала, изложенного в учебном пособии и рекомендуемой литературе.

Издание предназначено для обучающихся по программам подготовки кадров высшей квалификации – программам ординатуры по специальностям «Лечебная физкультура и спортивная медицина», может быть полезно для врачей по спортивной медицине, инфекционистов, терапевтов и врачей смежных специальностей.

Книгу можно заказать на сайте Издательской группы «ГЭОТАР-Медиа»: <http://www.geotar.ru>



DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.41

УДК: 61:796/799, 616-001, 575.1

## Повреждение мышц, вызванное физическими упражнениями: роль полиморфизма гена ACTN3

*Е.В. Ореховская, А.В. Минин*

*ФГБОУ ВО Кемеровский государственный университет,  
Министерство науки и высшего образования РФ, Кемерово, Россия*

### РЕЗЮМЕ

Известны различные виды повреждений мышц (судорога, контрактура, растяжение, надрыв и разрыв мышцы) от которых не застрахованы даже самые опытные спортсмены. В настоящее время уже известны определенные вариации генов или полиморфизмы, связанные с повреждением мышц, вызванным физической нагрузкой (то есть люди с определенными генотипами испытывают большее повреждение мышц и нуждаются в более длительном восстановлении после напряженных упражнений). Данный обзор сфокусирован на полиморфизме гена ACTN3 (Alpha-actinin-3 R577X, rs1815739), играющего важную роль в начальной фазе повреждения мышц, вызванных физическими упражнениями. Знания о том, как кто-то может ответить на определенный тип упражнений может помочь тренерам индивидуализировать тренировочные упражнения своих спортсменов и, тем самым, снизить риск травм, связанных с перегрузкой. Цель этого обзора - дать критический анализ литературы, касающейся полиморфизма гена ACTN3, связанного с повреждением мышц, вызванным физической нагрузкой, как у молодых, так и у пожилых людей, и выделить потенциальные механизмы, лежащие в основе этих ассоциаций, что обеспечит лучшее понимание повреждений мышц, вызванных физическими упражнениями.

**Ключевые слова:** повреждения мышц; генетическая изменчивость; ген ACTN3

**Для цитирования:** Ореховская Е.В., Минин А.В. Повреждение мышц, вызванное физическими упражнениями: роль полиморфизма гена ACTN3. // Спортивная медицина: наука и практика. 2020. Т.10, №2. С.41-47. DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.41

## Exercise muscle damage: the role of ACTN3 gene polymorphism

*Evgenia V. Orekhovskaya, Artyom V. Minin*

*Kemerovo State University, Kemerovo, Russia*

### ABSTRACT

Even the most experienced athletes are not safe from various types of muscle damage (cramp, contracture, sprain, tear and tear of the muscle). Nowadays, certain gene variations or polymorphisms associated with muscle damage caused by exercise are known. This review focuses on the polymorphism of the ACTN3 gene (Alpha-actinin-3 R577X, rs1815739), which plays an important role in the initial phase of muscle damage caused by exercises. Knowledge about how someone can respond to a specific type of exercises can help coaches individualize their athletes' training exercises and thereby reduce the risk of injuries associated with overexertion. The purpose of this review is to provide a critical analysis of the literature on ACTN3 gene polymorphism associated with exercise-induced muscle damage both in young and old people, and the review highlights the potential mechanisms underlying these associations, which will provide a better understanding of exercise-induced muscle damage.

**Key words:** muscle damage, genetic variation, ACTN3 gene

**For citation:** Orekhovskaya EV, Minin AV. Exercise muscle damage: the role of ACTN3 gene polymorphism. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice). 2020;10(2):41-47(In Russ.) DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.41

### 1. Введение

Люди, которые занимаются непривычными, напряженными физическими упражнениями, могут испытывать скованность или боль в мышцах, чувство, которое обычно проявляется в течение 24-72 ч после тренировки. Это явление известно, как задержка мышечной боли. Непривычные эксцентрические действия, во время которых мышца удлиняется, когда она активна, провоцируют структурное разрушение саркомеров, нарушение

связи возбуждения и сокращения и передачи сигналов кальция, что приводит к воспалительной реакции и активации нескольких путей деградации мышечного белка. Этот процесс называют повреждением мышц, вызванным физической нагрузкой [1, 2], и обычно сопровождается отеком и временным уменьшением, как максимальной силы, так и диапазона движений [3, 4].

Хотя есть основания полагать, что определенное повреждение мышц является положительным стимулом

для реструктуризации мышц, гипертрофии и увеличения силы [5-7], в редких случаях тяжелые непривычные упражнения могут привести к чрезмерному рабдомиолизу, который характеризуется некрозом мышечных волокон [8,9]. Внутриклеточное содержимое мышц проникает в кровоток и внеклеточную жидкость, что может привести к почечной недостаточности или даже к смерти [10]. Кроме того, реакция на повреждение мышц зависит от возраста. Имеются данные, свидетельствующие о том, что пожилые люди более восприимчивы к повреждению мышц по сравнению с молодыми людьми, что отражается в нарушении регенерации мышц и затрудненном ремоделировании [11].

Существует широкая вариабельность ответа на упражнения, повреждающие мышцы, что может быть связано с генетическим полиморфизмом [12-15]. Полиморфизмы генов, кодирующих ключевые белки в мышечно-сухожильном звене, влияют на способность восстанавливаться после напряженных упражнений, таким образом, влияя и на риск травмы. Это может быть особенно актуально для групп элитных спортсменов, которые, как известно, имеют разные генетические профили по сравнению с общей популяцией. Специфические полиморфизмы генов (например, COL1A1 rs1800012, COL5A1 rs12722, rs3196378, MMP3 rs679620, rs591058 и rs650108) оказались связаны с распространенностью повреждения сухожилий (например, разрыв ахиллова сухожилия) [15, 16]. Однако очень мало известно о потенциальной генетической ассоциации с повреждением мышц и регенерацией мышц в ответ на повреждающие мышцы упражнения. Перспективным в этом отношении выглядит ген ACTN3, который в последнее время начинают рассматривать не только как «ген скорости» для тестирования элитных спортсменов, но и в более широком плане [14].

Цель обзора – дать критический анализ литературы, касающейся полиморфизма гена ACTN3, в связи с повреждением мышц, вызванным физической нагрузкой.

## 2. Материалы и методы

Был проведен поиск литературных источников, опубликованных на английском языке в базах Pubmed, Web of Science, Scopus. С использованием поискового запроса: «ACTN3 gene polymorphism» было обнаружено 197 работ, посвященных полиморфным вариантам гена ACTN3 и их влиянию на состояние здоровья человека. Однако, при сужении запроса до «ACTN3 gene polymorphism and injury» обнаруживалось 15 источников, а при конкретизации вида травмы: «ACTN3 gene polymorphism and exercise muscle damage» – отмечено 9 источников. Среди 9 исследований, посвященных изучению повреждений мышц, вызванных физической нагрузкой в связи с полиморфизмом гена ACTN3, 7 работ были опубликованы за последние пять лет, что свидетельствует о росте научного интереса в данной новой области.

## 3. Результаты и их обсуждение

Известно, что альфа-актинин 3 – белок, кодируемый геном ACTN3, словно якорь сцепляет актиновые волокна в мышце и находится только в белых мышечных волокнах, повышая их сократимость и силу. Из всех полиморфизмов, связанных с повреждением мышц, вызванным физической нагрузкой, наиболее интересным является однонуклеотидный полиморфизм ACTN3 R577X [10, 13, 14]. Функциональный SNP (rs1815739; замена С на Т) приводит к формированию стоп-кодона (Х-аллель), а не к экспрессии аминокислоты аргинина (R-аллель) в аминокислоте 577 экзона 16 на хромосоме 11, что приводит к формированию трех вариантов генотипов: RR, RX или XX. Обладатели генотипа XX не способны экспрессировать белок α-актинин-3; имеют, в основном, красные мышечные волокна и преуспевают в тренировках на выносливость. Обладатели генотипа RR имеют ряд других полезных качеств: высокое содержание альфа-актинина 3 в мышцах, приводящее к высокой силе, мышечному рельефу, успехам в тех видах спорта, где требуется взрывная сила или ускорение (спринт, тяжелая атлетика, баскетбол). Известно, что частота встречаемости XX генотипа, варьирует от менее 1% у африканских банту до 18% у европеоидов и до 25% в азиатских популяциях [17-21].

Отсутствие α-актинина-3 не приводит к заболеванию из-за компенсаторной активации α-актинина-2, но есть свидетельства того, что этот SNP влияет на физическую работоспособность [22].

Полиморфизм гена ACTN3 активно изучался в связи с показателями выносливости, скорости и спортивной успешности [23-29]. При обследовании австралийских спортсменов высшей квалификации Yang с коллегами установили повышенную частоту встречаемости генотипа RR в группе спринтеров и спортсменов, занимающихся силовыми видами спорта [23]. Фактически, ни один из олимпийских чемпионов, включенных в исследование Yang, не имел генотипа XX. При изучении женщин было обнаружено, что обладательницы ACTN3 XX имели меньший базовый уровень силы и это наблюдалось в различных этнических подгруппах [30]. Эти первые результаты указывали на то, что генотип XX неблагоприятен для высоких достижений в скоростных и силовых видах спорта (по крайней мере, в группе элитных спортсменов). Затем данный вывод неоднократно подтверждался при изучении различных когорт спортсменов [31-33] и при проведении мета-исследований [28, 29].

Позднее генетически детерминированная роль α-актинина-3 в генерации мышечных сокращений высокой интенсивности была показана в исследованиях здоровых нетренированных индивидов. В ряде исследований было подтверждено, что обладатели RR генотипа имеют более высокие базовые показатели силы, по сравнению носителями XX варианта [34,35].

Установлено, что генотип ACTN3 XX ассоциируется с меньшим объемом мышц, снижением мышечной силы,

мощности и выносливости [22]. Недавние исследования показали, что  $\alpha$ -актинин-3 может быть эволюционно оптимизирован для минимизации повреждения мышц [23, 24]. Большинство исследований подтверждают гипотезу о том, что XX гомозиготы более восприимчивы к интенсивным нагрузкам по сравнению с обладателями RR или RX генотипов [36]. Например, у гомозигот ACTN3 XX примерно в три раза выше вероятность развития рабдомиолиза при нагрузке по сравнению с людьми с генотипами RR или RX [37]. Ряд исследований указывает на «протективные» эффекты наличия генотипа RR в отношении риска формирования травмы мышц после тренировки [36-39]. Тем не менее, однозначные выводы делать пока рано, т.к. другие исследования не выявили различий между генотипами ACTN3 в отношении маркеров травмы [10], или показали противоположные эффекты [40-42]. Данная неоднозначность эффектов прослеживается даже в рамках отдельных исследований.

Так, цель исследования B.Vincent с коллегами состояла в том, чтобы определить, влияет ли полиморфизм ACTN3 R577X на показатели повреждения мышц (активность креатинкиназы, КК; снижение мышечной силы из-за поврежденных мышечных волокон и болезненности мышц) и уровней экспрессии мРНК генов анаболического/катаболического пути, биохимических маркеров механического повреждения мышц и RCAN1 после одной эксцентрической тренировки. Были обследованы показатели у 19 нетренированных молодых мужчин (10 человек с генотипом ACTN3 XX и 9 ACTN3 RR), выполнивших 4 серии по 20 максимальных эксцентрических разгибаний коленей. Авторы показали, что показатели повреждения мышц (активность КК и баллы VAS, отражающие болезненность мышц), как правило, выше у 577XX индивидуумов после упражнений. Однако, вопреки ожиданиям, гомозиготы по аллелю 577R имели тенденцию проявлять более высокий репаративный ответ, о чем свидетельствует повышенная экспрессия MyoD1 (myogenic differentiation 1) и CSRP3 (cysteine- and glycine-rich protein 3) по сравнению с носителями XX. Кроме того, в этом исследовании впервые продемонстрировали, что у индивидуумов 577XX более высокие уровни экспрессии MyoD1 и CSRP3 ( $P = 0,045$ ) по сравнению с индивидуумами RR в базовых условиях (до нагрузки) [38].

Исследование Venckunas [43] было направлено на сравнение воздействия эксцентрических упражнений, повреждающих мышцы, и восстановления после них у юношей 20–33 лет с различным генотипом (9 ACTN3 RR и 8 ACTN3 XX). Испытуемые были умеренно физически активны, но ранее не принимали участия ни в каких регулярных физических программах упражнений. После разминочной сессии юноши выполняли 2 серии прыжков с интервалом в 2 недели. Делали по 50 прыжков от высоты 40 см до приседания в  $90^\circ$  в коленных суставах. Период отдыха между прыжками составлял 20 с. Болезненность мышц, содержание в плазме

креатинкиназы, высота прыжка, максимальный произвольный изометрический крутящий момент, пиковый концентрический изокинетический крутящий момент и электрически стимулированные моменты разгибания колена при 20 и 100 Гц были измерены до и после каждой серии прыжков. Отличий базовых значений показателей между группами, отличающимися по генотипу, выявлено не было. Однако было установлено, что XX гомозиготы быстрее восстанавливают исходные значения крутящего момента и, таким образом, могут проводить более частые тренировки. Механизм такого быстрого восстановления индивидов с XX генотипом пока неясен, но авторы полагают, что «тренируемость» может модулироваться генотипом ACTN3 посредством более быстрого восстановления мышечной силы у XX индивидуумов, что можно использовать в тренировочном процессе [43].

Baumert предполагает, что, в целом, дефицит  $\alpha$ -актинина-3 (генотип XX) с может привести к выгоде для циклических движений растяжения-сокращения по сравнению с носителями R-аллеля [44]. Head с коллегами выявили значительно повышенную накачку и утечку  $Ca^{2+}$  саркоплазматического ретикулума у гомозигот ACTN3 XX. Повышенная динамика при повышенных внутриклеточных уровнях  $Ca^{2+}$  во время и после повреждения мышечной нагрузки может привести к увеличению повреждения цитоскелета и разрушению мембран [45].

Повреждение мышц, вызванное выполненными эксцентрическими действиями, может привести к усилению деградациии десмина [44], что приводит к меньшему количеству связей с внеклеточным матриксом и смежными миофибриллами, и может быть объяснением более высокой восприимчивости XX гомозигот в этом режиме упражнений.

Взятые вместе, разный эффект SNP ACTN3 R577X в различных режимах упражнений, при подготовке спортсменов в разных видах спорта, может объяснить тот факт, что исследования показывают смешанные результаты [46-49]. Это может быть причиной различий в частоте генотипа ACTN3 у спортсменов на длинных дистанциях, связанных с циклами растяжения-сокращения (например, марафон) [23], в то время как спортсмены на коротких и длинных дистанциях в силовых видах спорта, обычно проводимых без циклов растяжения-сокращения (например, плавание), показывают отсутствие различий в распределении частот генотипов [50]. Это показывает, почему в будущих исследованиях следует не только проводить различие между атлетами с разной выносливостью, но и фокусироваться на безопасности спортивных движений при изучении связи с генетическими изменениями. Особое значение знание индивидуальных генетических особенностей может иметь для организации тренировок у лиц пожилого возраста, которые, в целом, более склонны к травмам, чем молодые индивиды. Если некоторые пожилые люди генетически

предрасположены к травмам мышц, вызванных эксцентрическими упражнениями, то в таком случае тренировку для таких лиц следует строить преимущественно с упором на концентрические движения и другие типы упражнений.

#### 4. Заключение

Продукт гена ACTN3, играет важную роль в начальной фазе повреждения мышц, вызванных физическими упражнениями. Различные генотипы ACTN3 (вариации, связанные с полиморфизмом R577X, rs1815739) могут изменять функционирование скелетных мышц во время тренировок через структурные, метаболические или сигнальные изменения. В частности, гено-

тип ACTN3 RR связан со способностью генерировать мощные и сильные сокращения мышц, что приводит к общему преимуществу генотипа RR в некоторых скоростных и силовых видах спорта. Значимость вариантов гена ACTN3 в риске повреждения мышц варьирует в зависимости от вида нагрузки (вида спорта, режима упражнений) и групп спортсменов (пол, возраст) и нуждается в дополнительных исследованиях на репрезентативных выборках.

Идентификация как молодых, так и пожилых людей с разным риском повреждения мышц, позволит разрабатывать более персонализированные программы упражнений, чтобы снизить риск получения травм и улучшить качество жизни.

#### Список литературы

1. **Hyldahl RD, Hubal MJ.** Lengthening our perspective: morphological, cellular and molecular responses to eccentric exercise // *Muscle Nerve*. 2014. Vol.49, №2. P.155-170.
2. **Peake J, Nosaka KK, Suzuki K.** Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans // *Exerc Immunol Rev*. 2005. Vol.11. P.64-85.
3. **Baird MF, Graham SM, Baker JS, Bickerstaff GF.** Creatine-kinase- and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery // *J Nutr Metab*. 2012, 960363.
4. **Brown S, Day S, Donnelly A.** Indirect evidence of human skeletal muscle damage and collagen breakdown after eccentric muscle actions // *J Sports Sci*. 1999. Vol.17, №5. P.397-402.
5. **Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, McKinnon P, Shadgan B, Reid WD.** The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analyses // *Br J Sports Med*. 2009. Vol.43, №8. P.556-568.
6. **Peake JM, Neubauer O, Della Gatta PA, Nosaka K.** Muscle damage and inflammation during recovery from exercise // *J Appl Physiol*. 2017. Vol.122, №3. P.559-570.
7. **Hill EC, Housh TJ, Keller JL, Smith CM, Schmidt RJ, Johnson G.** Early phase adaptations in muscle strength and hypertrophy as a result of low-intensity blood flow restriction resistance training // *Eur J Appl Physiol*. 2018. Vol.118, №9, P.1831-1843.
8. **Chavez LO, Leon M, Einav S, Varon J.** Beyond muscle destruction: a systematic review of rhabdomyolysis for clinical practice // *Crit Care*. 2016. Vol.20, №1. P.135.
9. **Paulsen G, Benestad HB.** Muscle soreness and rhabdomyolysis // *Tidsskr Nor Laegeforen*. 2019. Vol.139. P.10.
10. **Clarkson PM, Hoffman EP, Zambraski E, Gordish-Dressman H, Kearns A, Hubal M, Harmon B, Devaney JM.** ACTN3 and MLCK genotype associations with exertional muscle damage // *J Appl Physiol*. 2005. Vol.99, №2. P.564-569.
11. **Conceição MS, Libardi CA, Nogueira FRD, Bonganha V, Gáspari AF, Chacon-Mikahil MPT, Cavaglieri CR, Madruga VA.** Effects of eccentric exercise on systemic concentrations of pro- and anti-inflammatory cytokines and prostaglandin (E2): comparison between young and postmenopausal women // *Eur J Appl Physiol*. 2012. Vol.112, №9. P.3205-13.
12. **Pickering C, Kiely J.** ACTN3: More than Just a Gene for Speed // *Front Physiol*. 2017. Vol.8. P.1080.
13. **Broos S, Malisoux L, Theisen D, Van Thienen R, Francaux M, Thomis MA, Deldicque L.** The stiffness response of type IIa

#### References

1. **Hyldahl RD, Hubal MJ.** Lengthening our perspective: morphological, cellular and molecular responses to eccentric exercise. *Muscle Nerve*. 2014;49(2):155-170.
2. **Peake J, Nosaka KK, Suzuki K.** Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans. *Exerc Immunol Rev*. 2005;11:64-85.
3. **Baird MF, Graham SM, Baker JS, Bickerstaff GF.** Creatine-kinase- and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery. *J Nutr Metab*. 2012; 2012:960363.
4. **Brown S, Day S, Donnelly A.** Indirect evidence of human skeletal muscle damage and collagen breakdown after eccentric muscle actions. *J Sports Sci*. 1999;17(5):397-402.
5. **Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, McKinnon P, Shadgan B, Reid WD.** The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analyses. *Br J Sports Med*. 2009;43(8):556-68.
6. **Peake JM, Neubauer O, Della Gatta PA, Nosaka K.** Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *J Appl Physiol*. 2017;122(3):559-570.
7. **Hill EC, Housh TJ, Keller JL, Smith CM, Schmidt RJ, Johnson G.** Early phase adaptations in muscle strength and hypertrophy as a result of low-intensity blood flow restriction resistance training. *Eur J Appl Physiol*. 2018;118(9):1831-1843.
8. **Chavez LO, Leon M, Einav S, Varon J.** Beyond muscle destruction: a systematic review of rhabdomyolysis for clinical practice. *Crit Care*. 2016;20(1):135.
9. **Paulsen G, Benestad HB.** Muscle soreness and rhabdomyolysis. *Tidsskr Nor Laegeforen*. 2019; 139:10.
10. **Clarkson PM, Hoffman EP, Zambraski E, Gordish-Dressman H, Kearns A, Hubal M, Harmon B, Devaney JM.** ACTN3 and MLCK genotype associations with exertional muscle damage. *J Appl Physiol*. 2005;99(2):564-569.
11. **Conceição MS, Libardi CA, Nogueira FRD, Bonganha V, Gáspari AF, Chacon-Mikahil MPT, Cavaglieri CR, Madruga VA.** Effects of eccentric exercise on systemic concentrations of pro- and anti-inflammatory cytokines and prostaglandin (E2): comparison between young and postmenopausal women. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112(9):3205-13.
12. **Pickering C, Kiely J.** ACTN3: More than Just a Gene for Speed. *Front Physiol*. 2017;8:1080.
13. **Broos S, Malisoux L, Theisen D, Van Thienen R, Francaux M, Thomis MA, Deldicque L.** The stiffness response of type IIa

fibres after eccentric exercise-induced muscle damage is dependent on ACTN3 R577X polymorphism // *Eur J Sport Sci.* 2019. Vol.19, №4. P.480-489.

14. **Del Coso J, Hiam D, Houweling P, Pérez LM, Eynon N, Lucia A.** More than a 'speed gene': ACTN3 R577X genotype, trainability, muscle damage, and the risk for injuries // *Eur J Appl Physiol.* 2019. Vol.119, №1. P.49-60.

15. **Heffernan SM, Kilduff LP, Erskine RM, Day SH, Stebbings GK, Cook CJ, Raleigh SM, Bennet MA, Wang G, Collins M, Pitsiladis YP, Williams AG.** COL5A1 gene variants previously associated with reduced soft tissue injury risk are associated with elite athlete status in rugby // *BMC Genomics.* 2017. Vol.18, №8. P.820.

16. **Bell RD, Shultz SJ, Wideman L, Henrich VC.** Collagen gene variants previously associated with anterior cruciate ligament injury risk are also associated with joint laxity // *Sports Health.* 2012. Vol.4, №4. P.312-8.

17. **Mills M, Yang N, Weinberger R, Vander Woude DL, Beggs AH, Eastale S, North K.** Differential expression of the actin binding proteins,  $\alpha$ -actinin-2 and -3, in different species: implications for the evolution of functional redundancy // *Hum Mol Genet.* 2001. Vol.10, №13. P.1335-1346.

18. **Goleva-Fjellet S, Bjurholt AM, Kure EH, Larsen IK, Storen O, Sæbo M.** Distribution of allele frequencies for genes associated with physical activity and/or physical capacity in a homogenous Norwegian cohort – a cross-sectional study // *BMC Genet.* 2020. Vol.21, №1. P.8.

19. **Eroğlu O, Zileli R, Nalbant MA, Ulucan K.** Prevalence of alpha actinin-3 gene (ACTN3) R577X and angiotensin converting enzyme (ACE) insertion/deletion gene polymorphisms in national and amateur Turkish athletes // *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand).* 2018. Vol.64, №5. P.24-28.

20. **Papadimitriou ID, Lockey SJ, Voisin S, Herbert AJ, Garton F, Houweling PJ, Cieszczyk P, Maciejewska-Skrendo A, Sawczuk M, Massidda M, Calò CM, Astratenkova IV, Kouvatzi A, Druzhevskaya AM, Jacques M, Ahmetov II, Stebbings GK, Heffernan S, Day SH, Erskine R, Pedlar C, Kipps C, North KN, Williams AG, Eynon N.** No association between ACTN3 R577X and ACE I/D polymorphisms and endurance running times in 698 Caucasian athletes // *BMC Genomics.* 2018. Vol.19, №1. P.13.

21. **Papadimitriou ID, Lucia A, Pitsiladis YP, Pushkarev VP, Dyatlov DA, Orekhov EF, Artioli GG, Guilherme JPLF, Lancha Jr AH, Ginevičienė V, Cieszczyk P, Maciejewska-Karłowska A, Sawczuk M, Muniesa CA, Kouvatzi A, Massidda M, Calò CM, Garton F, Houweling PJ, Wang G, Austin K, Druzhevskaya AM, Astratenkova IV, Ahmetov II, Bishop DJ, North KN, Eynon N.** ACTN3 R577X and ACE I/D gene variants influence performance in elite sprinters: a multi-cohort study // *BMC Genomics.* 2016. Vol.17. P.285.

22. **Erskine RM, Williams AG, Jones DA, Stewart CE, Degen H.** The individual and combined influence of ACE and ACTN3 genotypes on muscle phenotypes before and after strength training // *Scand J Med Sci Sports.* 2014. Vol.24, №4. P.642-648.

23. **Yang N, MacArthur DG, Gulbin JP, Hahn AG, Beggs AH, Eastale S, North K.** ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance // *Am J Hum Genet.* 2003. Vol.73, №3. P.627-631.

24. **Yang R, Shen X, Wang Y, Voisin S, Cai G, Fu Y, Xu W, Eynon N, Bishop D, Yan X.** ACTN3 R577X Gene Variant Is Associated With Muscle-Related Phenotypes in Elite Chinese Sprint/Power Athletes // *J Strength Cond Res.* 2017. Vol.31(4). P.1107-1115.

25. **Бондарева Э.А., Негашева М.А.** Генетические аспекты изучения спортивной успешности и спортивного отбора // *Успехи современной биологии.* 2017. Т.137, №1. С.44-55. DOI:

fibres after eccentric exercise-induced muscle damage is dependent on ACTN3 R577X polymorphism. *Eur J Sport Sci.* 2019;19(4):480-489.

14. **Del Coso J, Hiam D, Houweling P, Pérez LM, Eynon N, Lucia A.** More than a 'speed gene': ACTN3 R577X genotype, trainability, muscle damage, and the risk for injuries. *Eur J Appl Physiol.* 2019;119(1):49-60.

15. **Heffernan SM, Kilduff LP, Erskine RM, Day SH, Stebbings GK, Cook CJ, Raleigh SM, Bennet MA, Wang G, Collins M, Pitsiladis YP, Williams AG.** COL5A1 gene variants previously associated with reduced soft tissue injury risk are associated with elite athlete status in rugby. *BMC Genomics.* 2017;18(8):820.

16. **Bell RD, Shultz SJ, Wideman L, Henrich VC.** Collagen gene variants previously associated with anterior cruciate ligament injury risk are also associated with joint laxity. *Sports Health.* 2012;4(4):312-8.

17. **Mills M, Yang N, Weinberger R, Vander Woude DL, Beggs AH, Eastale S, North K.** Differential expression of the actin binding proteins,  $\alpha$ -actinin-2 and -3, in different species: implications for the evolution of functional redundancy. *Hum Mol Genet.* 2001;10(13):1335-1346.

18. **Goleva-Fjellet S, Bjurholt AM, Kure EH, Larsen IK, Storen O, et al.** Distribution of allele frequencies for genes associated with physical activity and/or physical capacity in a homogenous Norwegian cohort- a cross-sectional study. *BMC Genet.* 2020;21(1):8.

19. **Eroğlu O, Zileli R, Nalbant MA, Ulucan K.** Prevalence of alpha actinin-3 gene (ACTN3) R577X and angiotensin converting enzyme (ACE) insertion/deletion gene polymorphisms in national and amateur Turkish athletes. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand).* 2018;64(5):24-28.

20. **Papadimitriou ID, Lockey SJ, Voisin S, Herbert AJ, Garton F, Houweling PJ, Cieszczyk P, Maciejewska-Skrendo A, Sawczuk M, Massidda M, Calò CM, Astratenkova IV, Kouvatzi A, Druzhevskaya AM, Jacques M, Ahmetov II, Stebbings GK, Heffernan S, Day SH, Erskine R, Pedlar C, Kipps C, North KN, Williams AG, Eynon N.** No association between ACTN3 R577X and ACE I/D polymorphisms and endurance running times in 698 Caucasian athletes. *BMC Genomics.* 2018;19(1):13.

21. **Papadimitriou ID, Lucia A, Pitsiladis YP, Pushkarev VP, Dyatlov DA, Orekhov EF, Artioli GG, Guilherme JPLF, Lancha Jr AH, Ginevičienė V, Cieszczyk P, Maciejewska-Karłowska A, Sawczuk M, Muniesa CA, Kouvatzi A, Massidda M, Calò CM, Garton F, Houweling PJ, Wang G, Austin K, Druzhevskaya AM, Astratenkova IV, Ahmetov II, Bishop DJ, North KN, Eynon N.** ACTN3 R577X and ACE I/D gene variants influence performance in elite sprinters: a multi-cohort study. *BMC Genomics.* 2016;17:285.

22. **Erskine RM, Williams AG, Jones DA, Stewart CE, Degen H.** The individual and combined influence of ACE and ACTN3 genotypes on muscle phenotypes before and after strength training. *Scand J Med Sci Sports.* 2014;24(4):642-648.

23. **Yang N, MacArthur DG, Gulbin JP, Hahn AG, Beggs AH, Eastale S, North K.** ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. *Am J Hum Genet.* 2003;73(3):627-631.

24. **Yang R, Shen X, Wang Y, Voisin S, Cai G, Fu Y, Xu W, Eynon N, Bishop D, Yan X.** ACTN3 R577X Gene Variant Is Associated With Muscle-Related Phenotypes in Elite Chinese Sprint/Power Athletes. *J Strength Cond Res.* 2017;31(4):1107-1115.

25. **Bondareva EA, Negasheva MA.** Genetic aspects of athletic performance and sports selection. *Biol Bull Rev* 2017;7:344-353. (In Russ). DOI:10.1134/S2079086417040028

10.1134/S2079086417040028.

26. **Аксенов М.О., Андриященко Л.Б., Филимонова С.И.** Поиск «генов спортивного таланта» в силовых видах спорта // Культура физическая и здоровье. 2018. Т.68, №4. С.52-54.

27. **Макаров С.В., Негашева М.А., Мильготина А.Б., Пискорская И.В., Бычковская Л.С., Спицын В.А.** Полиморфизм гена ангиотензинпревращающего фермента, альфа-актинина-3 и антропометрические характеристики // Медицинская генетика. 2007. Т.6, №1(55). С.43-47.

28. **Weyerstrass J, Stewart K, Wesselius A, Zeegers M.** Nine genetic polymorphisms associated with power athlete status – a meta-analysis // *J Sci Med Sport*. 2018. Vol.21, №2. P.213-220.

29. **Yang Y, Li X, Zhou F, Gao C, Li M, Gao L.** The association of sport performance with ACE and ACTN3 genetic polymorphisms: a systematic review and meta-analysis // *PLoS One*. 2013. Vol.8, №1. e54685.

30. **Clarkson PM, Devaney JM, Gordish-Dressman H, Thompson PD, Hubal MJ, Urso M, Price TB, Angelopoulos TJ, Gordon PM, Moyna NM, Pescatello LS, Visich PS, Zoeller RE, Seip RL, Hoffman EP.** ACTN3 genotype is associated with increases in muscle strength in response to resistance training in women // *J Appl Physiol*. 2005. Vol.99, №1. P.154-163.

31. **Eynon N, Duarte JA, Oliveira J, Sagiv M, Yamin C, Meckel Y, Sagiv M, Goldhammer E.** ACTN3 R577X polymorphism and Israeli top-level athletes // *Int J Sports Med*. 2009. Vol.30, №9. P.695-698.

32. **Ginszt M, Michalak-Wojnowska M, Gawda P, Wojcirowska-Litwin M, Korszen-Pilecka I, Kusztlak M, Muda R, Filip AA, Majcher P.** ACTN3 genotype in professional sport climbers // *J Strength Cond Res*. 2018. Vol.32, №5. P.1311-1315.

33. **Kikuchi N, Nakazato K, Min SK, Ueda D, Igawa S.** The ACTN3 R577X polymorphism is associated with muscle power in male Japanese athletes // *J Strength Cond Res*. 2014. Vol.28, №7. P.1783-1789.

34. **Walsh S, Liu D, Metter EJ, Ferrucci L, Roth SM.** ACTN3 genotype is associated with muscle phenotypes in women across the adult age span // *J Appl Physiol*. 2008. Vol.105, №5. P.1486-1491.

35. **Erskine RM, Williams AG, Jones DA, Stewart CE, Degen H.** The individual and combined influence of ACE and ACTN3 genotypes on muscle phenotypes before and after strength training // *Scand J Med Sci Sports*. 2014. Vol.24, №4. P.642-648.

36. **Pimenta EM, Coelho DB, Cruz IR, Morandi RF, Veneroso CE, Pussieldi GA, Carvalho MR, Silami-Garcia E, Fernandez JAP.** The ACTN3 genotype in soccer players in response to acute eccentric training // *Eur J Appl Physiol*. 2012. Vol.112, №4. P.1495-503. DOI: 112:4:1495-1503.

37. **Deuster PA, Contreras-Sesvold CL, O'Connor FG, Campbell WW, Kenney K, Capacchione J, Landau M, Muldon S, Rushing E, Heled Y.** Genetic polymorphisms associated with exertional rhabdomyolysis // *Eur J Appl Physiol*. 2013. Vol.113, №8. P.1997-2004.

38. **Vincent B, Windelinckx A, Nielens H, Ramaekers M, Van Leemputte M, Hespel P, Thomis MA.** Protective role of alpha-actinin-3 in the response to an acute eccentric exercise bout // *J Appl Physiol*. 2010. Vol.109, №2. P.564-573.

39. **Seto JT, Lek M, Quinlan KG, Houweling PJ, Zheng XF, Garton F, MacArthur D, Raftery JM, Garvey S, Hauser M, Yang N, Head S, North K.** Deficiency of alpha-actinin-3 is associated with increased susceptibility to contraction-induced damage and skeletal muscle remodeling // *Hum Mol Genet*. 2011. Vol.20, №15. P.2914-2927.

40. **Kim SK, Kleimeyer JP, Ahmed MA, Avins AL, Fredericson M, Dragoo J, Loannidis J.** Two genetic loci associated with

26. **Aksenov MO, Andryuschenko LB, Filimonova Siv.** Search for «the sports gene talent» in endurance sports. *Physical culture and health*. 2018;4(68):52-54. (In Russ)

27. **Makarov SV, Negasheva MA, Milgotina AB, Piskorskaya IV, Bychkovskaya LS, Spitsyn VA.** Study of genetic polymorphism relationship on genes angiotensin converting enzyme and actinin-3 with anthropometric parameters of young men and women. *Medical Genetics*. 2007;19(1):43-47 (In Russ).

28. **Weyerstrass J, Stewart K, Wesselius A, Zeegers M.** Nine genetic polymorphisms associated with power athlete status – a meta-analysis. *J Sci Med Sport*. 2018;21(2):213-220.

29. **Yang Y, Li X, Zhou F, Gao C, Li M, Gao L.** The association of sport performance with ACE and ACTN3 genetic polymorphisms: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2013;8(1):e54685.

30. **Clarkson PM, Devaney JM, Gordish-Dressman H, Thompson PD, Hubal MJ, Urso M, Price TB, Angelopoulos TJ, Gordon PM, Moyna NM, Pescatello LS, Visich PS, Zoeller RE, Seip RL, Hoffman EP.** ACTN3 genotype is associated with increases in muscle strength in response to resistance training in women. *J Appl Physiol*. 2005;99(1):154-163.

31. **Eynon N, Duarte JA, Oliveira J, Sagiv M, Yamin C, Meckel Y, Sagiv M, Goldhammer E.** ACTN3 R577X polymorphism and Israeli top-level athletes. *Int J Sports Med*. 2009;30(9):695-698.

32. **Ginszt M, Michalak-Wojnowska M, Gawda P, Wojcirowska-Litwin M, Korszen-Pilecka I, Kusztlak M, Muda R, Filip AA, Majcher P.** ACTN3 genotype in professional sport climbers. *J Strength Cond Res*. 2018;32(5):1311-1315.

33. **Kikuchi N, Nakazato K, Min SK, Ueda D, Igawa S.** The ACTN3 R577X polymorphism is associated with muscle power in male Japanese athletes. *J Strength Cond Res*. 2014;28(7):1783-1789.

34. **Walsh S, Liu D, Metter EJ, Ferrucci L, Roth SM.** ACTN3 genotype is associated with muscle phenotypes in women across the adult age span. *J Appl Physiol*. 2008;105(5):1486-1491.

35. **Erskine RM, Williams AG, Jones DA, Stewart CE, Degen H.** The individual and combined influence of ACE and ACTN3 genotypes on muscle phenotypes before and after strength training. *Scand J Med Sci Sports*. 2014; 24(4):642-648.

36. **Pimenta EM, Coelho DB, Cruz IR, Morandi RF, Veneroso CE, Pussieldi GA, Carvalho MR, Silami-Garcia E, Fernandez JAP.** The ACTN3 genotype in soccer players in response to acute eccentric training. *Eur J Appl Physiol*. 2012;Vol.112(4). P.1495-503.

37. **Deuster PA, Contreras-Sesvold CL, O'Connor FG, Campbell WW, Kenney K, Capacchione J, Landau M, Muldon S, Rushing E, Heled Y.** Genetic polymorphisms associated with exertional rhabdomyolysis. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113(8):1997-2004.

38. **Vincent B, Windelinckx A, Nielens H, Ramaekers M, Van Leemputte M, Hespel P, Thomis MA.** Protective role of alpha-actinin-3 in the response to an acute eccentric exercise bout. *J Appl Physiol*. 2010;109(2):564-573.

39. **Seto JT, Lek M, Quinlan KG, Houweling PJ, Zheng XF, Garton F, MacArthur D, Raftery JM, Garvey S, Hauser M, Yang N, Head S, North K.** Deficiency of alpha-actinin-3 is associated with increased susceptibility to contraction-induced damage and skeletal muscle remodeling. *Hum Mol Genet*. 2011;20(15):2914-2927.

40. **Kim SK, Kleimeyer JP, Ahmed MA, Avins AL, Fredericson M, Dragoo J, Loannidis J.** Two genetic loci associated with ankle injury. *PLoS One*. 2017;12(9):e0185355.

41. **Venkunas T, Skurvydas A, Brazaitis M, Kamandulis S, Snieckus A, et al.** Human alpha-actinin-3 genotype association with exercise-induced muscle damage and the repeated-bout effect. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2012;37(6):1038-1046.

ankle injury // PLoS One. 2017. Vol.12, №9. e0185355.

41. **Vencunas T, Skurvydas A, Brazaitis M, Kamandulis S, Snieckus A, Moran CN.** Human alpha-actinin-3 genotype association with exercise-induced muscle damage and the repeated-bout effect // *Appl Physiol Nutr Metab.* 2012. Vol.37, №6. P.1038-1046.

42. **Iwao-Koizumi K, Ota T, Hayashida M, Yonetani Y, Nakata K, Kinoshita K, Koyanagi Y, Murata S.** The ACTN3 gene is a potential biomarker for the risk of non-contact sports injury in female athletes // *J. Mol. Biomark. Diagn.* 2015. S6: 002.

43. **Vencunas T, Skurvydas A, Brazaitis M, Kamandulis S, Snieckus A, Moran C.** Human alpha-actinin-3 genotype association with exercise-induced muscle damage and the repeated-bout effect // *Appl Physiol Nutr Metab.* 2012. Vol.37, №6. P.1038-1046.

44. **Baumert P, Lake MJ, Stewart CE, Drust B, Erskine RM.** Genetic variation and exercise-induced muscle damage: implications for athletic performance, injury and ageing // *European journal of applied physiology.* 2016. Vol.116, №9. P.1595-1625.

45. **Head SI, Chan S, Houweling PJ, Quinlan KGR, Murphy R, Wagner S, Friedrich O, North KN.** Altered Ca<sup>2+</sup> kinetics associated with  $\alpha$ -actinin-3 deficiency may explain positive selection for ACTN3 null allele in human evolution // *PLoS Genet.* 2015. Vol.11, №1. e1004862.

46. **Moreno V, Areces F, Ruiz-Vicente D, Ordovás JM, Del Coso J.** Influence of the ACTN3 R577X genotype on the injury epidemiology of marathon runners // *PLoS One.* 2020. Vol.15, №1. e0227548.

47. **Massidda M, Voisin S, Culigioni C, Piras F, Cugia P.** ACTN3 R577X Polymorphism Is Associated With the Incidence and Severity of Injuries in Professional Football Players // *Clin J Sport Med.* 2019. Vol.29, №1. P.57-61.

48. **Del Coso J, Valero M, Salinero JJ, Lara B, Díaz G, Gallo-Salazar C, Ruiz-Vicente D, Areces F, Puente C, Carril JC, Cabellos R.** ACTN3 genotype influences exercise-induced muscle damage during a marathon competition // *Eur J Appl Physiol.* 2017. Vol.117, №3. P.409-416.

49. **Del Coso J, Salinero JJ, Lara B, Gallo-Salazar C, Areces F, Puente C, Herrero D.** ACTN3 X-allele carriers had greater levels of muscle damage during a half-ironman // *Eur J Appl Physiol.* 2017. Vol.117, №1. P.151-158. DOI: 10.1007/s00421-016-3507-7.

50. **Ben-Zaken S, Eliakim A, Nemet D, Rabinovich M, Kassem E, Meckel Y.** ACTN3 Polymorphism: Comparison Between Elite Swimmers and Runners // *Sports medicine – open.* 2015. Vol.1, №1. P.13.

42. **Iwao-Koizumi K, Ota T, Hayashida M, Yonetani Y, Nakata K, et al.** The ACTN3 gene is a potential biomarker for the risk of non-contact sports injury in female athletes. *J Mol Biomark Diagn.* 2015;6.

43. **Vencunas T, Skurvydas A, Brazaitis M, Kamandulis S, Snieckus A, Moran C.** Human alpha-actinin-3 genotype association with exercise-induced muscle damage and the repeated-bout effect. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2012;37(6):1038-1046.

44. **Baumert P, Lake MJ, Stewart CE, Drust B, Erskine RM.** Genetic variation and exercise-induced muscle damage: implications for athletic performance, injury and ageing. *European journal of applied physiology.* 2016;116(9):1595-1625.

45. **Head SI, Chan S, Houweling PJ, Quinlan KGR, Murphy R, Wagner S, Friedrich O, North KN.** Altered Ca<sup>2+</sup> kinetics associated with  $\alpha$ -actinin-3 deficiency may explain positive selection for ACTN3 null allele in human evolution. *PLoS Genet.* 2015;11(1):e1004862.

46. **Moreno V, Areces F, Ruiz-Vicente D, Ordovás JM, Del Coso J.** Influence of the ACTN3 R577X genotype on the injury epidemiology of marathon runners. *PLoS One.* 2020;15(1):e0227548.

47. **Massidda M, Voisin S, Culigioni C, Piras F, Cugia P, Yan X, Eynon N, Caló CM.** ACTN3 R577X Polymorphism Is Associated With the Incidence and Severity of Injuries in Professional Football Players. *Clin J Sport Med.* 2019;29(1):57-61. DOI: 10.1097/JSM.0000000000000487.

48. **Del Coso J, Valero M, Salinero JJ, Lara B, Díaz G, Gallo-Salazar C, Ruiz-Vicente D, Areces F, Puente C, Carril JC, Cabellos R.** ACTN3 genotype influences exercise-induced muscle damage during a marathon competition. *Eur J Appl Physiol.* 2017;117(3):409-416.

49. **Del Coso J, Salinero JJ, Lara B, Gallo-Salazar C, Areces F, Puente C, Herrero D.** ACTN3 X-allele carriers had greater levels of muscle damage during a half-ironman. *Eur J Appl Physiol.* 2017;117(1):151-158.

50. **Ben-Zaken S, Eliakim A, Nemet D, Rabinovich M, Kassem E, Meckel Y.** ACTN3 Polymorphism: Comparison Between Elite Swimmers and Runners. *Sports medicine – open.* 2015;1(1):13.

#### Сведения об авторах:

**Ореховская Евгения Владимировна**, преподаватель кафедры физического воспитания факультета физической культуры и спорта ФГБОУ ВО Кемеровский государственный университет Минобрнауки России, ORCID ID: 0000-0003-1291-3379

**Минин Артем Вячеславович**, студент Института фундаментальных наук ФГБОУ ВО Кемеровский государственный университет Минобрнауки России, ORCID ID: 0000-0002-5839-5194 (+7(923)616-45-52, avminin00@mail.ru)

#### Information about the authors:

**Evgenia V. Orekhovskaya**, Lecturer of the Department of Physical training education of the Kemerovo State University. ORCID ID 0000-0003-1291-3379

**Artyom V. Minin**, Senior of the Institute of Fundamental Sciences, Kemerovo State University. ORCID ID: 0000-0002-5839-5194 (+7(923)616-45-52, avminin00@mail.ru)

Поступила в редакцию: 12.03.2020

Принята к публикации: 21.06.2020

Received: 12 March 2020

Accepted: 21 June 2020

## Прогностическое значение индекса массы тела в диагностике внезапной сердечной смерти

Ю.И. Пиголкин<sup>1</sup>, С.Н. Захаров<sup>1</sup>, Д.П. Березовский<sup>1</sup>, С.С. Бачурин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет),

Министерство здравоохранения РФ, Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Ростовский государственный медицинский университет, Министерство здравоохранения РФ, Ростов-на-Дону, Россия

### РЕЗЮМЕ

Цель исследования: определить значение индекса массы тела (ИМТ) для лиц, страдающих заболеваниями сердечно-сосудистой системы (ССС) для прогноза внезапной сердечной смерти (ВСС). Материалы и методы: Изучен архивный материал медицинских организаций: 1) ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий ФМБА России» (I группа сравнения). В исследование были включены молодые спортсмены (N=603) как без патологии ССС, так и те, у кого выявлены заболевания в результате диспансерного осмотра; 2) танатологического отдела Бюро судебно-медицинской экспертизы (СМЭ) (II группа сравнения). Выборка (N=30) представлена случаями ВСС, обусловленными ишемической болезнью сердца (ИБС); 3) кардиохирургического отделения Больницы скорой медицинской помощи (БСМП) (III группа сравнения). Выборка (N=81) представлена случаями острого коронарного синдрома (ОКС); 4) кардиохирургического отделения клиники Ростовского государственного медицинского университета (IV группа сравнения). Выборка (N=95) представлена случаями ИБС у пациентов, находившихся на плановом лечении. В каждой группе сравнения определяли ИМТ. Результаты: В I группе сравнения ИМТ составил  $22,10 \pm 1,67 \text{ кг/м}^2$ , во II –  $18,7 \pm 0,45 \text{ кг/м}^2$ , в III –  $28,01 \pm 0,58 \text{ кг/м}^2$ , в IV –  $28,66 \pm 0,47 \text{ кг/м}^2$ . Рассчитанное значение  $\chi^2$  как для всех групп, так и при их попарном сравнении, оказалось статистически достоверным ( $p < 0,01$ ), что позволяет утверждать о наличии тесной связи ожирения с повышенным риском развития ИБС. Выводы: связи между ИМТ и наличием патологии ССС в I группе сравнения (спортсмены) не установлено. Для II – IV групп ИМТ находится в статистически значимой ассоциации с патологией ССС.

**Ключевые слова:** внезапная смерть, ожирение, коронарный синдром, ишемическая болезнь

**Для цитирования:** Пиголкин Ю.И., Захаров С.Н., Березовский Д.П., Бачурин С.С. Прогностическое значение индекса массы тела в диагностике внезапной сердечной смерти // Спортивная медицина: наука и практика. 2020. Т.10, №2. С.48-54. DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.48

## Prognostic value of body mass index in the diagnosis of sudden cardiac death

Yuriy I. Pigolkin<sup>1</sup>, Svyatoslav N. Zakharov<sup>1</sup>, Dmitriy P. Berezovskiy<sup>1</sup>, Stanislav S. Bachurin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

<sup>2</sup>Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia

### ABSTRACT

Objective: to determine the value of the body mass index (BMI) in cardiovascular patients for the sudden cardiac death (SCD) prediction. Materials and methods: we analyzed the medical archives of: 1) the Federal Research Clinical Center for Specialized Types of Healthcare and Medical Technologies, the Federal Biomedical Agency of Russia (comparison group I). The study included young athletes (N=603) without cardiovascular pathology, as well as those with cardiovascular diseases diagnosed in a medical examination; 2) Thanatological Department of the Bureau of Forensic Medical Examination (comparison group II). The sample (N=30) is represented by coronary heart disease (CHD) associated SCD cases; 3) the cardiac surgery Department of the Hospital of Emergency Medical Service (comparison group III). The sample (N=81) is represented by acute coronary syndrome (ACS) cases; 4) the cardiac surgery Department of the Clinic of Rostov State Medical University (comparison group IV). The sample (N=95) is represented by CHD patients who were on routine treatment. We calculated BMI in each comparison group. Results: in comparison group I, the BMI was  $22.10 \pm 1.67 \text{ kg/m}^2$ , in group II –  $18.7 \pm 0.45 \text{ kg/m}^2$ , in group III –  $28.01 \pm 0.58 \text{ kg/m}^2$ , in group IV –  $28.66 \pm 0.47 \text{ kg/m}^2$ . The calculated value of  $\chi^2$  both for all groups and for their pairwise comparison was statistically significant ( $p < 0.01$ ), which suggests that there is a close association of obesity with an increased risk of CHD. Conclusions: the relationship between BMI and the presence of cardiovascular pathology in I comparison group (athletes) was not established. For groups II – IV, BMI is in a statistically significant association with cardiovascular pathology.



**Key words:** sudden death, obesity, coronary syndrome, ischemic disease

**For citation:** Pigolkin YuI, Zakharov SN, Berezovskiy DP, Bachurin SS. Prognostic value of body mass index in the diagnosis of sudden cardiac death. //Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice). 2020;10(2):48-54(In Russ.) DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.48

## 1. Введение

Внезапная смерть (ВС) в большинстве случаев является подозрительной на насильственную, в связи с чем является объектом пристального внимания и изучения судебно-медицинскими экспертами. В структуре ВС, независимо от возраста умершего, преобладает патология сердечно-сосудистой системы (ССС). В молодом возрасте наиболее часто судебно-медицинские эксперты сталкиваются с ВС, обусловленной нарушением сердечного ритма. В среднем и пожилом возрасте среди причин преобладает ишемическая болезнь сердца (ИБС), ее острая или хроническая формы. Однако, несмотря на различия в причинах ВС в разных возрастных категориях, среди всех случаев преобладает внезапная сердечная смерть (ВСС). По определению ВОЗ, к ВСС относятся случаи летального исхода в течение 1 ч от появления признаков заболевания, ставшего его причиной, у лиц с известной или неизвестной патологией сердца [1,2].

В последние десятилетия внимание ученых обращено к проблеме ВС лиц молодого возраста, особенно в случаях занятий профессиональным спортом [3-5].

Общим моментом в патогенезе ВСС, независимо от нозологии, является абсолютное или относительное уменьшение снабжения миокарда артериальной кровью [6,7], ассоциированное с различными факторами риска. При этом факторы риска развития ВСС подразделяют на основные и дополнительные [8]. Одним из модифицированных факторов риска развития заболеваний ССС и, следовательно, ВСС считается избыточная масса тела [9]. Наличие или отсутствие избыточной массы тела устанавливается при определении индекса массы тела (ИМТ). Стоит отметить, что вопросу взаимосвязи избыточной массы тела и развитию заболеваний ССС посвящены десятки работ [9-12].

Однако, вопросы по поводу того, насколько значения ИМТ могут быть ассоциированы с ВС у лиц молодого возраста, занимающихся спортом, и того, могут ли они иметь прогностическое значение в судебно-медицинском аспекте, остаются открытыми.

**Цель исследования** – определить значение ИМТ для лиц, страдающих заболеваниями ССС, для прогноза ВСС.

## 2. Материалы и методы

Изучен архивный материал следующих медицинских организаций:

1) ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий ФМБА России» (I группа сравнения),

2) танатологического отдела Бюро судебно-медицинской экспертизы Ростовской области (II группа сравнения),

3) кардиохирургического отделения Больницы скорой медицинской помощи (БСМП) г. Ростова-на-Дону (III группа сравнения),

4) кардиохирургического отделения клиники Ростовского государственного медицинского университета (ФГБОУ ВО РостГМУ МЗ РФ) (IV группа сравнения).

В I группу сравнения включили лиц молодого возраста, занимающихся спортом, как без патологии ССС, так и тех, у кого во время диспансерного осмотра были выявлены функционально компенсированные заболевания сердца (пролапс митрального клапана, патология проводящей системы сердца) (N=603).

Во II группу сравнения включили случаи ВСС, обусловленной ИБС (N=30).

III группа сравнения была представлена случаями острого коронарного синдрома (ОКС) у пациентов, находившихся на лечении в больнице скорой медицинской помощи. Всем пациентам III группы сравнения было выполнено стентирование сегмента коронарных артерий в экстренном порядке (N = 81).

IV группа сравнения была представлена случаями ИБС у пациентов, находившихся на плановом лечении в кардиохирургическом отделении клиники РостГМУ. Всем пациентам IV группы сравнения в плановом порядке было выполнено стентирование коронарной артерии (N =95).

Выбор III и IV групп сравнения в настоящем исследовании был продиктован разделением пациентов, страдавших ИБС, на острую (III) и хроническую (IV) формы заболевания.

При анализе медицинских и экспертных документов производили учет половых и возрастных характеристик в отобранных группах. В каждой группе сравнения определяли ИМТ. Для I,III и IV групп сравнения определить ИМТ по имеющемуся архивному материалу не представляло никаких сложностей ввиду того, что в каждой истории болезни были указаны масса и рост пациента. Сложности были связаны с анализом архивного материала II группы сравнения, так как практически ни в одном акте (или заключении эксперта) судебно-медицинского исследования не было указаний на массу тела умершего. Поэтому отдельно авторами были отобраны и исследованы случаи (N=30) ВСС от ИБС с заранее установленными половыми и возрастными характеристиками. Массу тела умерших определяли на основании антропометрических данных с использованием формулы, предложенной проф. В.И. Витером и соавт. с учетом длины тела, окружности груди, таза и бедер (авторами предло-

жены следующие алгоритмы расчёта: для женщин  $Вес = -116,379 + 0,450423 \times ДТ + 0,675023 \times ОГР + 0,132601 \times ОТ + 0,522216 \times ОБ$ ; для мужчин  $Вес = -131,497 + 0,435268 \times ДТ + 0,652422 \times ОГР + 0,213326 \times ОТ + 0,386901 \times ОБ$ , где ДТ – длина тела, ОГР – объем грудной клетки, ОТ – объем талии, ОБ – объем бёдер. Единицы измерения: Вес в кг, остальные параметры в см.) [13].

Полученные количественные результаты подвергали обработке методом вариационной статистики в программе Microsoft Excel 2016 с определением среднего значения, ошибки среднего, 25 и 75 перцентилей, медианы, минимального и максимального значений. Для определения связи между ИМТ и наличием заболевания ССС в зависимости от группы сравнения рассчитывали критерий  $\chi^2$ .

Стоит уточнить, что в рекомендациях ВОЗ от 2020 года приводятся референсные значения ИМТ без учета половых и возрастных характеристик [14]. Однако для лиц в возрасте до 25 лет и лиц старше 25 лет нормы ИМТ различаются. Согласно работам [15], для лиц до 25 лет верхняя граница нормы ИМТ составляет 22,9 кг/м<sup>2</sup>, для лиц старше 25 лет – 25,9 кг/м<sup>2</sup>. Поэтому, при ранжирова-

нии пациентов по подгруппам, значения ИМТ (норма/выше нормы), был учтён возраст, что позволяет вести статистический анализ с поправкой на его значение.

### 3. Результаты

В I группу сравнения были включены 603 человека, профессионально занимающихся спортом. Их средний возраст составил 23,27±4,24 года (минимальное значение – 10 лет, максимальное – 40 лет, медиана – 23 года, 25% перцентиль – 19 лет, 75 перцентиль – 27 лет). ИМТ в исследуемой группе составил 22,10±1,67 кг/м<sup>2</sup> (минимальное значение – 16,21 кг/м<sup>2</sup>, медиана – 21,74 кг/м<sup>2</sup>, максимальное значение – 33,12 кг/м<sup>2</sup>, 25% перцентиль – 20,75 кг/м<sup>2</sup>, 75% перцентиль – 22,89 кг/м<sup>2</sup>). В 91,87% (N=554) исследованных случаев ИМТ соответствовал норме, в 31 случае (5,14%) была зафиксирована избыточная масса тела. С первой степенью ожирения было 11 случаев (1,82%), со второй – 7 (1,15%).

Распределение пациентов I группы по признакам наличие / отсутствие патологии ССС, а также значение ИМТ в пределах или выше нормы отражено в таблице 1.

Таблица 1  
Распределение случаев I группы в зависимости от ИМТ и наличия (отсутствия) патологии ССС  
Table 1  
Distribution of group I cases depending on BMI and the presence (absence) of CVS pathology

ИМТ / BMI	Без патологии ССС (N) / Without CVS pathology	Патология ССС (N) / Presence of the CVS pathology
ИМТ норма / BMI normal	24	474
ИМТ выше нормы / BMI over normal	3	102
ВСЕГО / TOTAL	24	576

Значение  $\chi^2$ , рассчитанное для таблицы сопряжения 2x2 (табл. 1) составило 0,781 (табличное (критическое) значение оказалось равно 4,70), что соответствует отсутствию статистической значимости ассоциации между ИМТ и наличием патологии ССС.

Во II группе сравнения среднее значение возраста составило 71,34±0,72 года (минимальное значение – 35 лет, медиана – 73 года, максимальное значение – 92 года, 25% перцентиль – 64 года, 75% перцентиль – 79 лет). ИМТ в исследуемой группе составил 18,7±0,45 кг/м<sup>2</sup> (минимальное значение – 11,6 кг/м<sup>2</sup>, медиана – 18,08 кг/м<sup>2</sup>, максимальное значение – 32,28 кг/м<sup>2</sup>, 25% перцентиль – 16,17 кг/м<sup>2</sup>, 75% перцентиль – 20,79 кг/м<sup>2</sup>). В 93,33% (N=28) исследованных случаев ИМТ соответствовал норме, по одному случаю (3,33%) было зафиксировано с I или II степенью ожирения. Таким образом, в группе внезапно умерших граждан преобладали случаи с лицами, имевшими нормальную массу тела.

В III группе сравнения средний возраст пациентов составил 60,06±0,96 лет (минимальное значение – 36 лет, максимальное значение – 79 лет, медиана – 60 лет, 25% перцентиль – 53 года, 75% перцентиль – 68 лет).

Среднее значение ИМТ для пациентов с ОКС составило 28,01±0,58 кг/м<sup>2</sup> (минимальное значение – 19,1, максимальное значение – 44,08, медиана – 26,57, 25% перцентиль – 24,16, 75% перцентиль – 30,85). При этом пациентов с нормальной массой тела было 34,57% (N=28), с избыточной массой тела – 37,04% (N=30), с I степенью ожирения – 18,52% (N=15), со II степенью – 6,17% (N=5) и с III степенью – 3,7% (N=3) соответственно.

В IV группе сравнения средний возраст пациентов составил 64,89±0,9 лет (минимальное значение – 43 года, максимальное значение – 88 лет, медиана – 66,5 лет, 25% перцентиль – 58 лет, 75% перцентиль – 70 лет). Среднее значение ИМТ у пациентов составило 28,66±0,47 кг/м<sup>2</sup> (минимальное значение – 16,85 кг/м<sup>2</sup>, максимальное значение – 44,26 кг/м<sup>2</sup>, медиана – 27,97 кг/м<sup>2</sup>, 5% перцентиль – 25,8 кг/м<sup>2</sup>, 75% перцентиль – 30,93 кг/м<sup>2</sup>). При ранжировании по значениям от недостаточной массы тела до III степени ожирения были получены следующие значения: недостаточная масса тела установлена в 1,05% (N=1) случаев, нормальная – в 20% (N=19), избыточная масса тела – 50,53% (N=48), I степень ожирения – 20% (N=19), II степень ожирения – 5,26% (N=5) и III

степень ожирения – 3,16% (N=3). Так как оценивалась связь между ожирением и развитием кардиологических патологий, единственный случай с ИМТ ниже нормы (19,10 кг/м<sup>2</sup>) был учтён как ИМТ в пределах нормы.

Данные по II-IV группам были обобщены в таблице сопряжения 2x3, где фактором риска считалось превышение ИМТ, а в качестве исходов принималось хроническое течение ИБС (хИБС), ОКС или ВСС (табл. 2).

Таблица 2  
**Распределение анализируемых случаев во II, III, IV группах в зависимости от значения ИМТ и формы ИБС (ВСС, ОКС и хИБС)**

Table 2  
**The distribution of the analyzed cases in groups II, III, IV depending on the value of BMI and CHD form (SCD, ACS and chronic CHD)**

ИМТ / BMI	ВСС (II гр. ср.) / SCD (group II)	ОКС (III гр. ср.) / ACS (group III)	хИБС (IV гр. ср.) / chronic CHD (group IV)
ИМТ в пределах нормы / BMI in normal range	29	33	20
ИМТ выше значений нормы / BMI over normal	1	48	75
ВСЕГО / TOTAL	30	81	95

Для данной таблицы сопряжения было рассчитано значение  $\chi^2$ , которое оказалось равным 13,788 (критическое значение 9,21,  $p < 0,01$ ). Это говорит о наличии статистически значимой ассоциации между ИМТ и ИБС.

Уточнение статистических различий производили построением таблиц сопряжения 2x2, для оценки связи между ИМТ и различными формами ИБС. Значения  $\chi^2$  были сведены в результирующую матрицу, представленную в таблице 3.

Таблица 3  
**Сводные данные значения  $\chi^2$  при парном сравнении групп**

Table 3  
**Summary of  $\chi^2$  values for pairwise comparison of groups**

Сравниваемые группы / compared groups		Значения $\chi^2$ (значение p) / $\chi^2$ value (p value)
ВСС(II гр. ср.) / SCD (II group)	ОКС(III гр. ср.) / ACS (III group)	27,769 ( $p < 0,001$ )
ОКС(III гр. ср.) / ACS (III group)	хИБС(IV гр. ср.) / chronic CHD, IV (group)	8,053 ( $p < 0,005$ )
ВСС(II гр. ср.) / SCD (II group)	хИБС(IV гр. ср.) / chronic CHD, IV (group)	54,695 ( $p < 0,001$ )

Анализ результатов парных сравнений позволяет предполагать, что ИМТ находится в статистически значимой ассоциации с ИБС. Связь между хронической (IV группа сравнения) и острой (III группа сравнения) формами заболевания самая слабая ( $p < 0,005$ ), однако статистически значимая. Связь между ИМТ и риском наступления ВСС или развитием одной из форм ИБС (хроническая/острая) очень сильная ( $p < 0,001$ ).

#### 4. Обсуждение

Анализ современной литературы позволяет утверждать, что проблема ВСС по-прежнему остается актуальной [16] независимо от анализируемых возрастных групп [17-20]. Бесспорным является утверждение, что причиной внезапной смерти в большинстве случаев является ИБС, атеросклероз венечных (коронарных) артерий и, как следствие, развитие ОКС, либо нарушение сердечного ритма [21-23].

Проведенное нами исследование установило статистически значимое различие в среднем возрасте при

парном сравнении каждой из четырех групп. Если различие в возрасте между I группой и последующими II-IV не требует дополнительного объяснения и анализа, то в отношении оставшихся II-IV стоит пояснить, что максимальное значение возраста было зафиксировано в группе внезапно умерших граждан, минимальное в группе лиц с ОКС.

В тоже время, в I-II группах сравнения в подавляющем большинстве случаев фиксировали нормальные значения ИМТ. Однако, в группе с ОКС, пациенты с нормальной массой тела составили немногим больше 1/3 из всех анализируемых случаев. Для лиц, которым в плановом порядке было выполнено оперативное вмешательство (стентирование коронарных артерий), в половине случаев отмечена избыточная масса тела.

Таким образом, выявлена обратно пропорциональная зависимость: ОКС проявляется в более раннем возрасте у лиц с повышенной массой тела, ВСС наступает в более позднем возрасте преимущественно

но у лиц с нормальной массой тела. Пациенты, прооперированные в плановом порядке по поводу ИБС, представляют собой «золотую» середину: значение среднего возраста расположено в промежутке между обозначенными выше группами сравнения, и примерно с такими же значениями ИМТ, как и у лиц с ОКС. Для лиц, занимающихся спортом, связи между ИМТ и наличием патологии ССС по нашим данным не установлено.

### Список литературы

1. **Priori S.** Task force on sudden cardiac death of the European society of cardiology // *European heart journal*. 2001. Vol.22, №16. P.1374-1450.
2. **Fishman GI, Chugh SS, DiMarco JP, Albert CM, Anderson ME, Bonow RO, Buxton AE, Chen PS, Estes M, Jouven X, Kwong R.** Sudden cardiac death prediction and prevention: report from a national heart, lung, and blood institute and heart rhythm society workshop // *Circulation*. 2010. Vol.122, №22. P.2335-2348.
3. **Wasfy MM, Hutter AM, Weiner RB.** Sudden cardiac death in athletes // *Methodist DeBakey cardiovascular journal*. 2016. Vol.12, №2. P.76-80.
4. **Corrado D, Basso C, Schiavon M, Pelliccia A, Thiene G.** Pre-participation screening of young competitive athletes for prevention of sudden cardiac death // *Journal of the American college of cardiology*. 2008. Vol.52, №24. P.1981-1989.
5. **Marijon E, Bougouin W, Karam N, Beganton F, Lamhaut L, Perier MC, Benameur N, Tafflet M, Beal G, Hagege A, Le Heuzey JY.** Survival from sports-related sudden cardiac arrest: In sports facilities versus outside of sports facilities // *The American heart journal*. 2015. Vol.170, №2. P.339-345.
6. **Бокерия Л.А., Гудкова Р.Г.** Сердечно-сосудистая хирургия – 2010. Болезни и врожденные аномалии системы кровообращения. М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН, 2011. 192с.
7. **Бокерия Л.А., Пирцхалаишвили З.К., Сигаев И.Ю., Дарвиш Н.А., Сергуладзе Т.Н.** Современные подходы к диагностике и хирургическому лечению брахиоцефальных артерий у больных ишемической болезнью сердца // *Вестник РАМН*. 2012. №10. С.4-11.
8. **Shaper AG, Pocock SJ, Walker M, Phillips AN, Whitehead TP, Macfarlane PW.** Risk factors for ischaemic heart disease: the prospective phase of the British Regional Heart Study // *Journal of Epidemiology & Community Health*. 1985. Vol.39, №3. P.197-209.
9. **Williams PT, Hoffman KM.** Optimal body weight for the prevention of coronary heart disease in normal-weight physically active men // *Obesity (Silver Spring)*. 2009. Vol.17, №7. P.1428-1434.
10. **Moholdt T, Lavie CJ, Nauman J.** Interaction of physical activity and body mass index on mortality in coronary heart disease: data from the nord-trøndelag health study // *The American journal of medicine*. 2017. Vol.130, №8. P.949-957.
11. **Finocchiaro G, Papadakis M, Dhutia H, Cole D, Behr ER, Tome M, Sharma S, Sheppard MN.** Obesity and sudden cardiac death in the young: Clinical and pathological insights from a large national registry // *European journal of preventive cardiology*. 2018. Vol.25, №4. P.395-401.
12. **Twig G, Yaniv G, Levine H, Leiba A, Goldberger N, Derazne E, Ben-Ami Shor D, Tzur D, Afek A, Shamiss A, Haklai Z.** Body-Mass Index in 2.3 Million Adolescents and Cardiovascular

### 5. Выводы

Полученные данные свидетельствуют о том, что к значению ИМТ тела стоит подходить дифференцированно в зависимости от возраста. Для лиц молодого возраста, занимающихся спортом (I группа сравнения), связи с наличием патологии ССС не установлено. В тоже время, для лиц среднего и старческого возрастов (II-IV группы сравнения) установлена достоверная статистическая связь между анализируемыми параметрами.

### References

1. **Priori S.** Task force on sudden cardiac death of the European society of cardiology. *European heart journal*. 2001;22(16):1374-1450.
2. **Fishman GI, Chugh SS, DiMarco JP, Albert CM, Anderson ME, Bonow RO, Buxton AE, Chen PS, Estes M, Jouven X, Kwong R.** Sudden cardiac death prediction and prevention: report from a national heart, lung, and blood institute and heart rhythm society workshop. *Circulation*. 2010;122(22):2335-2348.
3. **Wasfy MM, Hutter AM, Weiner RB.** Sudden cardiac death in athletes. *Methodist DeBakey cardiovascular journal*. 2016;12(2):76-80.
4. **Corrado D, Basso C, Schiavon M, Pelliccia A, Thiene G.** Pre-participation screening of young competitive athletes for prevention of sudden cardiac death. *Journal of the American college of cardiology*. 2008;52(24):1981-1989.
5. **Marijon E, Bougouin W, Karam N, Beganton F, Lamhaut L, Perier MC, Benameur N, Tafflet M, Beal G, Hagege A, Le Heuzey JY.** Survival from sports-related sudden cardiac arrest: In sports facilities versus outside of sports facilities. *The American heart journal*. 2015;170(2):339-345.
6. **Bokeria LA, Gudkova RG.** Cardiovascular surgery – 2010. Diseases and congenital anomalies of the circulatory system. M.: Bakulev's SCCVS RAMS, 2011. 192p. (In Russ).
7. **Bokeria LA, Pirtzhalaishvili ZK, Sigaev IYu, Darvish NA., Serguladze TN.** Modern approaches to the diagnosis and surgical treatment of brachiocephalic arteries in patients with coronary heart disease. 2012. *Gazette RAMS*; 10:4-11. (In Russ).
8. **Shaper AG, Pocock SJ, Walker M, Phillips AN, Whitehead TP, Macfarlane PW.** Risk factors for ischaemic heart disease: the prospective phase of the British Regional Heart Study. *Journal of Epidemiology & Community Health*. 1985;39(3):197-209.
9. **Williams PT, Hoffman KM.** Optimal body weight for the prevention of coronary heart disease in normal-weight physically active men. *Obesity (Silver Spring)*. 2009. 17(7):1428-1434.
10. **Moholdt T, Lavie CJ, Nauman J.** Interaction of physical activity and body mass index on mortality in coronary heart disease: data from the nord-trøndelag health study. *The American journal of medicine*. 2017;130(8):949-957.
11. **Finocchiaro G, Papadakis M, Dhutia H, Cole D, Behr ER, Tome M, Sharma S, Sheppard MN.** Obesity and sudden cardiac death in the young: Clinical and pathological insights from a large national registry. *European journal of preventive cardiology*. 2018;25(4):395-401.
12. **Twig G, Yaniv G, Levine H, Leiba A, Goldberger N, Derazne E, Ben-Ami Shor D, Tzur D, Afek A, Shamiss A, Haklai Z.** Body-Mass Index in 2.3 Million Adolescents and Cardio-

Death in Adulthood // *New England journal of medicine*. 2016. Vol.374, №25. P.2430-2440.

13. **Витер В.И., Швед Е.Ф., Вавилов А.Ю.** Способ оценки массы тела по размерным антропометрическим показателям в диагностике давности смерти по процессу охлаждения трупа // *Проблемы экспертизы в медицине*. 2005. №20-4. С.9-12.

14. Всемирная организация здравоохранения // *Ожирение и избыточный вес*. 2020. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>

15. **Frank K, Casabona G, Gotkin RH, Kaye KO, Lorenc PZ, Schenck TL, Lachman N, Green JB, Duran-Vega H, Cotozana S.** Influence of Age, Sex, and Body Mass Index on the Thickness of the Gluteal Subcutaneous Fat: Implications for Safe Buttock Augmentation Procedures // *Plastic and reconstructive surgery*. 2019. Vol.144, №1.P.83-92.

16. **Chen CF, Jin CL, Liu MJ, Xu YZ.** Efficacy, safety, and in-hospital outcomes of subcutaneous versus transvenous implantable defibrillator therapy: A meta-analysis and systematic review // *Medicine (Baltimore)*. 2019. Vol.98, №19. e15490.

17. **Finocchiaro G, Papadakis M, Robertus JL, Dhutia H, Steriotis AK, Tome M, Mellor G, Merghani A, Malhotra A, Behr E, Sharma S.** Etiology of sudden death in sports: insights from a United Kingdom regional registry // *Journal of the American college of cardiology*. 2016. Vol.67, №18. P.2108-2115.

18. **Corrado D, Zorzi A.** Sudden death in athletes // *International journal of cardiology*. 2017. №237. P.67-70.

19. **Shen L, Jhund PS, Petrie MC, Claggett BL, Barlera S, Cleland JG, Dargie HJ, Granger CB, Kjekshus J, Køber L, Latini R.** Declining risk of sudden death in heart failure // *New England Journal of Medicine*. 2017. Vol.377, №1. P.41-51.

20. **Bagnall RD, Weintraub RG, Ingles J, Duffou J, Yeates L, Lam L, Davis AM, Thompson T, Connell V, Wallace J, Naylor C.** A prospective study of sudden cardiac death among children and young adults // *New England Journal of Medicine*. 2016. Vol.374, №25. P.2441-2452.

21. **Wong CX, Brown A, Lau DH, Chugh SS, Albert CM, Kalman JM, Sanders P.** Epidemiology of sudden cardiac death: global and regional perspectives // *Heart, Lung and Circulation*. 2019. Vol.28, №1. P.6-14.

22. **Kastellanos S, Aznaouridis K, Vlachopoulos C, Tsiamis E, Oikonomou E, Tousoulis D.** Overview of coronary artery variants, aberrations and anomalies // *World journal of cardiology*. 2018. Vol.10, №10. P.127-140.

23. **Buxton AE.** Sudden death in ischemic heart disease – 2017 // *International journal of cardiology*. 2017. Vol.237, P.64-66.

vascular Death in Adulthood. *New England Journal of Medicine*. 2016;374(25):2430-2440.

13. **Viter VI, Shved EF, Vavilov AYU.** A method for estimating body weight by dimensional anthropometric indicators in the diagnosis of prescription of death by the process of cooling a corpse. *Problems of examination in medicine*. 2005;20(4):9-12.(In Russ).

14. World Health Organization. *Obesity and overweight*. 2020. Available at: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (accessed 20 April 2020)

15. **Frank K, Casabona G, Gotkin RH, Kaye KO, Lorenc PZ, Schenck TL, Lachman N, Green JB, Duran-Vega H, Cotozana S.** Influence of age, sex, and body mass index on the thickness of the gluteal subcutaneous fat: implications for safe buttock augmentation procedures. *Plastic and reconstructive surgery*. 2019;144(1):83-92.

16. **Chen CF, Jin CL, Liu MJ, Xu YZ.** Efficacy, safety, and in-hospital outcomes of subcutaneous versus transvenous implantable defibrillator therapy: A meta-analysis and systematic review. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(19):e15490.

17. **Finocchiaro G, Papadakis M, Robertus JL, Dhutia H, Steriotis AK, Tome M, Mellor G, Merghani A, Malhotra A, Behr E, Sharma S.** Etiology of sudden death in sports: insights from a United Kingdom regional registry. *Journal of the American college of cardiology*. 2016;67(18):2108-2115.

18. **Corrado D, Zorzi A.** Sudden death in athletes. *International journal of cardiology*. 2017;(237):67-70.

19. **Shen L, Jhund PS, Petrie MC, Claggett BL, Barlera S, Cleland JG, Dargie HJ, Granger CB, Kjekshus J, Køber L, Latini R.** Declining risk of sudden death in heart failure. *New England journal of medicine*. 2017;377(1):41-51.

20. **Bagnall RD, Weintraub RG, Ingles J, Duffou J, Yeates L, Lam L, Davis AM, Thompson T, Connell V, Wallace J, Naylor C.** A prospective study of sudden cardiac death among children and young adults. *New England Journal of Medicine*. 2016;374(25):2441-52.

21. **Wong CX, Brown A, Lau DH, Chugh SS, Albert CM, Kalman JM, Sanders P.** Epidemiology of sudden cardiac death: global and regional perspectives. *Heart, Lung and Circulation*. 2019;28(1):6-14.

22. **Kastellanos S, Aznaouridis K, Vlachopoulos C, Tsiamis E, Oikonomou E, Tousoulis D.** Overview of coronary artery variants, aberrations and anomalies. *World journal of cardiology*. 2018;10(10):127-140.

23. **Buxton AE.** Sudden death in ischemic heart disease – 2017. *International journal of cardiology*. 2017;237:64-66.

#### Информация об авторах:

**Пиголкин Юрий Иванович**, заведующий кафедрой судебной медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), член-корр. РАН, проф., д.м.н. ORCID ID: 0000-0001-5370-4931

**Захаров Святослав Николаевич**, ассистент кафедры судебной медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). ORCID ID: 0000-0003-0107-9649

**Березовский Дмитрий Павлович**, профессор кафедры судебной медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), проф., д.м.н. ORCIDID: 0000-0002-8502-1331 (+7(938)160-96-81, [dpb@mail.ru](mailto:dpb@mail.ru))

**Бачурин Станислав Сергеевич**, старший преподаватель кафедры общей и клинической биохимии №2 ФГБОУ ВО РостГМУ Минздрава России, к.х.н. ORCID ID: 0000-0002-4349-5897

#### Information about the authors:

**Yuriy I. Pigolkin**, M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Forensic Medicine of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University). ORCID ID: 0000-0001-5370-4931

**Svyatoslav N. Zakharov**, M.D., Assistant of the Department of Forensic Medicine of the Sechenov First Moscow State University. ORCID ID: 0000-0003-0107-9649

**Dmitriy P. Berezovskiy**, M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Professor of the Department of Forensic Medicine of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University). ORCID ID: 0000-0002-8502-1331 (+7(938)160-96-81, dpb@mail.ru)

**Stainslav S. Bachurin**, Ph.D. (Chemistry), Senior Lecturer of the Department of General and clinical biochemistry N2 of the Rostov State Medical University. ORCID ID: 0000-0002-4349-5897

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

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

*Поступила в редакцию: 25.04.2020*

*Принята к публикации: 7.06.2020*

*Received: 25 April 2020*

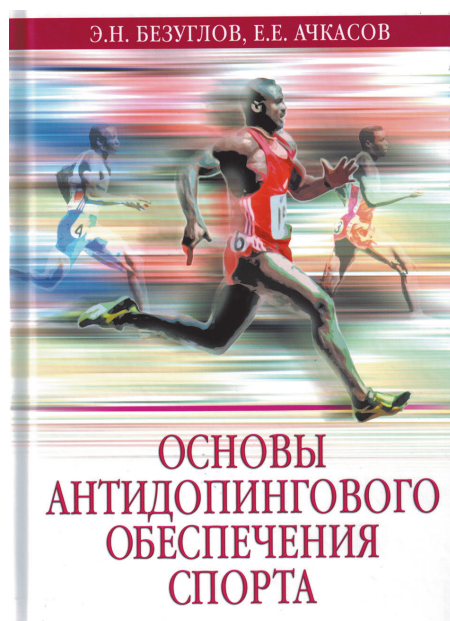
*Accepted: 7 June 2020*

### Серия «Библиотека журнала «Спортивная медицина: наука и практика»

#### Учебное пособие

#### Основы антидопингового обеспечения спорта

Под редакцией Безуглова Э.Н., Ачкасова Е.Е.



В учебном пособии изложены история борьбы с допингом, структура антидопингового обеспечения и его нормативно-правовое регулирование. Понятие допинга рассмотрено с точки зрения нарушения антидопинговых правил. Представлены сведения о распространенности допинга в различных видах спорта, запрещенных в спорте субстанциях и методах и получении разрешения на их терапевтическое использование, роли биологически активных добавок в структуре нарушений антидопинговых правил, вреде допинга здоровью человека, процедуре допинг-контроля и его особенностях у лиц с инвалидностью и несовершеннолетних, способах фальсификации допинг-проб и методах борьбы с ними, санкциях за нарушение антидопинговых правил, биологическом паспорте спортсмена и системе АДАМС. Приведены адреса сайтов, содержащих информацию по проблеме борьбы с допингом. Усвоению материала способствуют вопросы для самоконтроля и тестовые задания.

Учебное пособие предназначено для студентов медицинских образовательных учреждений высшего образования, может быть полезно клиническим ординаторам, обучающимся по специальности «Лечебная физкультура и спортивная медицина», спортивным врачам и врачам смежных специальностей, студентам физкультурных вузов, тренерам и иным специалистам в области физической культуры и спорта.

Книги можно заказать на сайте издательства «Спорт»: <http://www.olimpress.ru>

DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.55

УДК 612.115.3-615.273.53

## Влияние физической нагрузки на функциональное состояние мембран эритроцитов

*М.Г. Голубева*

*ФГБОУ ВО Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Москва, Россия*

### РЕЗЮМЕ

В работе представлен обзор современной отечественной и зарубежной литературы по проблемам, связанным с влиянием вида и интенсивности физической нагрузки на состояние красных клеток крови, как у спортсменов, так и у нетренированных субъектов. Особый акцент делается на роль интенсивных тренировок в повреждении мембраны эритроцитов, и описываются возможные механизмы этих нарушений у спортсменов разных видов спорта, а также пути их восстановления. Отмечаются возможности коррекции нарушений эритроцитов с помощью физической нагрузки при различных патологиях.

**Ключевые слова:** физическая нагрузка, эритроциты, мембрана, оксидативный стресс

**Для цитирования:** Голубева М.Г. Влияние физической нагрузки на функциональное состояние мембран эритроцитов // Спортивная медицина: наука и практика. 2020. Т.10 №2. С.55-64 DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.55

## Influence of exercise on the functional state of erythrocytes membranes

*Maria G. Golubeva*

*Moscow State University, Moscow, Russia*

### ABSTRACT

The article presents the modern data of from national and foreign literature on the problems associated with the influence of the type and intensity of physical activity on the state of red blood cells, both in athletes and in untrained subjects. The article emphasizes the role of intensive training in the damage to the erythrocyte membrane and describes the possible mechanisms of these disorders in athletes of different sports, as well as ways to restore them. The article dwells upon the possibilities to correct red blood cell disorders in various pathologies with physical exercises.

**Key words:** exercise, erythrocytes, membrane, oxidative stress

**For citation:** Golubeva MG. Influence of exercise on the functional state of erythrocytes membranes. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice). 2020;10(2):55-64(In Russ.). DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.55

### 1. Введение

Для спортивной медицины значительный интерес представляют механизмы сохранения клеточного гомеостаза и функционирования клеток в условиях временного его нарушения при физической нагрузке. Однако, если механизмы адаптации организма к физической нагрузке на уровне крупных сосудов, сердца изучены хорошо, то система микроциркуляции, определяющая текучесть крови, остается малоизученной. Особое внимание при этом уделяется эритроцитам, от эффективного функционирования которых зависит реализация адекватной реакции на нагрузку [1, 2]. Клиницистам известно, что основные функции сердечно-сосудистой системы реализуются в области микроциркуляторного русла. Поскольку 98% от общего объема крови составляют эритроциты, становится понятным, что именно им

принадлежит ключевая роль в формировании основных реологических параметров. Основная функция эритроцитов при упражнениях – перенос O<sub>2</sub> из легких в ткани и доставка метаболически продуцируемого CO<sub>2</sub> в легкие для выдоха. Гемоглобин также способствует буферной способности крови, а выброс АТФ и оксида азота (NO) из красных кровяных клеток усиливает вазодилатацию и улучшает приток крови к рабочей мышце. Эти функции требуют достаточного количества эритроцитов в обращении.

На современном этапе развития медицины можно считать установленной тесную связь нарушений в системе крови и сердечно-сосудистой патологией, преобладающей в патологии спорта. Известно, что в отдельных случаях физические нагрузки могут нарушать структуру и функции мембран эритроцитов в результате усиле-

ния физического и химического стресса. Эти нарушения приводят к агрегации, что проявляется нарушением микроциркуляции и, как следствие, изменению метаболизма органов и тканей [3].

## 2. Эритроциты, их строение и функции

Напомним, что собой представляет эритроцит. Как пишет Фред Шифман [4] в монографии по патофизиологии крови – «Эритроцит – это высокоспециализированная клетка, лишенная ядра и цитоплазматических органелл, основная задача которой состоит в транспорте кислорода из легких в ткани и двуокиси углерода – обратно в легкие. Форма двояковогнутого диска обеспечивает наибольшую площадь поверхности газообмена. При диаметре 8 мкм, особенности цитоскелета и структуры мембраны позволяют ему претерпевать значительную деформацию и проходить через капилляры диаметром 2-3 мкм. Такая способность к деформации обеспечивается за счет взаимодействия между белками плазмы и белками мембраны». Открыты эти клетки крови были более 300 лет тому назад. Эритроцит уникален тем, что плазматическая мембрана, его единственный структурный компонент, учитывает множество разнообразных антигенных, транспортных и механических характеристик.

Очень многие исследователи внесли значительный вклад в понимание структурной организации мембраны эритроцита. Ключевыми открытиями при этом были методы выделения мембран (тений); анализ белковых компонентов путем развития гель-электрофореза и масс-спектрометрии; достижения в технологии визуализации; биохимическая, структурная и функциональная характеристика различных белковых компонентов мембраны; определение асимметричного распределения фосфолипидов в мембране и определение характера взаимодействий между различными мембранными белками и между белками и липидами [5].

## 3. Исследование деформируемости эритроцитов у спортсменов разных возрастных групп

При изучении роли эритроцитов в микроциркуляции особое место отводится вопросам деформируемости эритроцитов, поскольку именно с этим связана эффективность движения крови в сосудистом русле и прохождения клеток через капилляры. Как отмечает А.В. Муравьев [6], этот показатель зависит от трех основных факторов: вязко-эластичности мембранного цитоскелета, вязкости цитоплазмы в клетке и соотношения объема и площади поверхности. Важнейшая роль деформируемости в регулировании функции и выживаемости эритроцитов признана уже давно. Именно структурная организация мембраны эритроцита позволяет ей претерпевать большие обратимые деформации, сохраняя при этом свою целостность в течение всего срока пребывания в системе кровообращения. Наличие эритроцитов с пониженной деформируемостью объ-

ясняет снижение продолжительности жизни клетки и, как следствие, гемолитическую анемию при некоторых заболеваниях [7].

При изучении вопросов адаптации организма к мышечным нагрузкам в большинстве случаев объектом выступают молодые спортсмены, и значительно меньше работ посвящено людям среднего и старшего возраста [1]. Разница в деформируемости старых и молодых эритроцитов связана с сигнальной ролью кальция в реализации клеточной функции. При старении эритроцитов повышается их чувствительность к кальцию [6].

В настоящее время используется множество методик для определения «жесткости» мембран эритроцитов, при этом они не вызывают значительного изменения площади поверхностного натяжения. Разработаны как количественные характеристики деформируемости, так и теоретические основы этих процессов. Согласно современной концепции, мембрану эритроцита можно рассматривать как составную структуру, в которой оболочка, состоящая из холестерина и фосфолипидов, прикреплена к эластичной сети скелетных белков через трансмембранные белки [5]. Такие исследования позволяют пролить свет на причины дефекта мембран при генетических заболеваниях, а также таких патологиях, как атеросклероз [8]. В настоящее время хорошо описаны мембранные липиды, мембранные и скелетные белки. Продолжаются исследования процессов деформируемости мембраны эритроцита и видов патологий, зависящих от ее эластичности. Из-за своей простоты и доступности все эти исследования помогают лучше понять функционирование мембран других типов клеток.

Установлено, что повышенная физическая нагрузка, например, упражнения на беговой дорожке, езда на велосипеде, вызывала увеличение количества эритроцитов, уровня гемоглобина и гематокрита, увеличение активности NO-синтазы и продукции NO [9].

Синтезированный эритроцитами NO изменяет текучесть мембраны эритроцитов, а его биодоступность зависит от баланса между его продукцией и поглощением активными формами кислорода. Показано, что максимальные физические нагрузки при увеличении количества эритроцитов, уровня гемоглобина и гематокрита, не вызывали изменений в притоке L-аргинина в эритроциты. Однако активность NO-синтазы и, следовательно, продукция NO, а также уровень циклической ГМФ увеличивались. Отмечается также усиление перекисного окисления липидов и снижение активности супероксиддисмутазы при максимальной нагрузке. Активность каталазы и глутатионпероксидазы при этом не изменяется [9, 10]. Существуют доказательства, что повышенная физическая нагрузка может повышать жесткость эритроцитарной мембраны, изменяя ее текучесть, усиливать агрегацию красных клеток крови, влияя на их функциональную активность. Авторы полагают, что повышение жесткости мембраны эритроцитов при максимальной тренировке может быть частично вызвано развитием



окислительного стресса и появлением активных форм кислорода [11].

Обновление мембран эритроцитов у спортсменов является одним из наиболее важных процессов функционирования системы доставки кислорода в ткани, зависящей от состава и физико-химических свойств мембраны и липопротеиновых комплексов крови [12]. Показано, что у спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта, существует связь между содержанием холестерина, физико-химическими свойствами мембран эритроцитов и липопротеинов высокой плотности (ЛПВП). У лиц, не занимающихся спортом, связь между ЛПВП и мембраной эритроцитов отсутствует [13]. Установлено также, что при регулярных тренировках липидный состав эритроцитов, уровень перекисного окисления липидов и их микрореологические свойства у легкоатлетов сохраняются до 35 летнего возраста на оптимальном уровне [14].

Эритроциты содержат мембранные рецепторы, сопряженные с G-белками, функционально активные аденилатциклазы и фосфодиэстеразы, систему протеинкиназ и фосфатаз [15].

При стимуляции глутаматом и глицином, в эритроцитах здоровых людей были обнаружены N-метил d-аспаратные рецепторы (NMDAR), опосредующие поглощение  $Ca^{2+}$ . Активация этих рецепторов агонистами вызывает переходное  $Ca^{2+}$ -зависимое снижение сродства гемоглобина к кислороду в суспензии эритроцитов. Показано, что высвобождение глутамата, возникающее во время усиленных тренировок, может резко облегчить освобождение  $O_2$  от гемоглобина и улучшить доставку кислорода в тренирующуюся мышцу [16].

Интересно то, что при отсутствии большинства клеточных органелл, и прежде всего ядра и митохондрий, эритроциты сохранили многие элементы сигнальных каскадов. Было высказано предположение о том, что для повышения деформируемости эритроцитов нужна активация аденилатциклазной системы, тогда как для повышения стабильности мембраны клетки требуется стимуляция кальциевого каскада. Вероятно, координация этих двух молекулярных сигнальных систем осуществляется на уровне фосфодиэстераз [17].

#### **4. Причины и механизмы «спортивной анемии» и «спортивного гемолиза»**

В настоящее время существует огромное количество исследований, посвященных изучению самых разных сторон процесса гемолиза [18]. В зависимости от происхождения все варианты течения гемолитической реакции можно отнести к одному из двух основных вариантов: естественному или патологическому. Естественный гемолиз представляет собой непрерывную цепочку химических процессов, в результате которых происходит «физиологическое обновление» состава эритроцитов при условии нормального функционирования структур ретикулоэндотелиальной системы. Есть данные, со-

гласно которым физическая нагрузка может привести к деструкции эритроцитов, а это, в свою очередь, может вызвать анемию, называемую «спортивной анемией» [19, 20]. Такая «спортивная анемия», возникающая за счет внутрисосудистого гемолиза, может наблюдаться у марафонцев. Это не анемия в классическом смысле, потому что спортсмены на самом деле увеличивают общую массу гемоглобина и эритроцитов в кровообращении по сравнению с нетренированными индивидуумами. Небольшое снижение гематокрита путем тренировки обусловлено увеличением объема плазмы. По каким механизмам это происходит до конца не понятно. Несмотря на постоянный эритропоэз, тренировки могут уменьшать массу эритроцитов за счет внутрисосудистого гемолиза, в основном, из стареющих клеток. Это вызвано механическим разрывом красных клеток крови, когда эритроциты проходят через капилляры в сокращающихся мышцах, или путем сжатия эритроцитов, например, в подошвах ног во время бега или в ладонях у тяжелоатлетов. Происходит снижение популяции циркулирующих эритроцитов у спортсменов. Новые молодые эритроциты отличаются лучшей деформируемостью и большим высвобождением кислорода, что, в свою очередь, значительно улучшает подачу кислорода к тканям во время физической нагрузки [21]. Поскольку старение отрицательно влияет на кроветворение и реологические свойства крови, а мембрана эритроцитов более уязвима для окислительного повреждения у пожилых людей, в последнее время для биологической регенерации спортсменов разных возрастов используется криостимуляция всего тела. При этом сравнивали изменения эритроцитов при этом методе у марафонцев и у мужчин без специальной подготовки. Уровни эритроцитов, интерлейкина-3 (ИЛ-3), эритропоэтина (ЭПО), гаптоглобина, билирубина определяли в крови до и после криостимуляции. Установлено, что лечение криостимуляцией, повторяемое через день, не вызывает гемолитических изменений у пожилых мужчин с высокой и низкой физической активностью. Положительная корреляция между ЭПО и билирубином может свидетельствовать, например, о взаимном антиоксидантном действии этих факторов. Поскольку эта процедура не повышает уровень эритроцитов и их гемоглобинизацию можно говорить о том, что она не является формой допинга [22].

Особый интерес представляет собой белок плазмы крови гаптоглобин, относящийся к фракции альфа-2-глобулинов. Связываясь с гемоглобином, они образуют комплекс, который поглощается клетками ретикулоэндотелиальной системы, например, селезенки, и предотвращает стимуляцию им перекисного окисления липидов и образование свободных радикалов. Железо из гемоглобина возвращается в образующиеся эритроциты, т. е. гаптоглобин участвует в обмене железа в организме. Усиленный распад эритроцитов в кровяном русле приводит к увеличению поступления гемоглобина

в кровь и, соответственно, к снижению уровня гаптоглобина, что является важным признаком внутрисосудистого гемолиза. Главная функция гаптоглобина – связать свободный гемоглобин (но не гемоглобин, находящийся внутри эритроцитов), который является токсическим для организма (особенно для почек) [23].

Гемолиз, вызванный физической нагрузкой, можно условно определить как разрыв и разрушение эритроцитов во время физических упражнений [24]. Пациенты с нарушениями эритроцитов могут быть особенно чувствительными к развитию такого гемолиза. Показано, что после бега на короткие, средние, длинные и сверхдлинные дистанции гемолиз, вызванный физической нагрузкой, является обычным явлением, о чем свидетельствует значительное снижение сывороточного или плазменного гаптоглобина и значительное повышение концентрации в плазме (или общее содержание в крови) свободного гемоглобина. Такой гемолиз практически полностью исчезает через 24-48 часов, и степень его тяжести зависит от интенсивности нагрузки. Повышение концентрации железа, снижение концентрации гаптоглобина в сыворотке в результате гемолиза после регулярных тренировок были подтверждены и у спортсменов-дзюдоистов [25, 26]. Из-за увеличения объема плазмы на 10-20%, спортсмены, особенно тренирующиеся на выносливость, имеют более низкие значения гемоглобина и гематокрита – это так называемая анемия разведения. В отличие от этого, 20-недельные тренировки для развития силы поднимают гематокрит. Снижение гемоглобина при тренировках на выносливость именуется псевдоанемией. Увеличение объема плазмы является механизмом адаптации организма на регулярную гемоконцентрацию во время тренировок. У сверхмарафонцев (56 км) на 6-й день после марафона гематологические свидетельства анемии разведения исчезают [27].

Для диагностики «спортивного гемолиза» используют определение параметра среднего объема сферических клеток (СОСК) и среднего корпускулярного объема (СКО). Измерение этих параметров у спортсменов-регбистов при тренировках и в период активного восстановления (погружение ног в холодную воду на 10 мин при 5°C) показало, что у всех спортсменов не выявлялись отличия в СКО и СОСК. Результаты сравнения двух видов восстановления спортсменов (пассивного и активного) показали, что при пассивном восстановлении различие двух показателей было значительным. Авторы полагают, что использование индекса модификации формы эритроцитов (СКО-СОСК) может быть полезным для оценки спортивного гемолиза [28].

Есть мнение, что дефицит железа может быть причиной синдрома переутомления спортсменов. Потери железа могут происходить из-за гемолиза во время выполнения интенсивных тренировок, гематурии, повышенного потоотделения и желудочно-кишечных кровотечений. Показано, что повышенные уровни цитокинов (в частности, интерлейкина-6) увеличивают производство в печени

пептида гепсидина, основная роль которого заключается в защите от токсического действия избытка железа. Он регулирует всасывание железа в тонком кишечнике, освобождение и рециркуляцию ионов железа в системе макрофагов и транспорт железа через плацентарный барьер. Соответственно избыточная продукция гепсидина может объяснить дефицит железа у атлетов [27].

### 5. Физическая нагрузка и оксидативный стресс

Одним из факторов, объясняющих внутрисосудистый гемолиз при упражнениях, является окислительный стресс. Напомним, что «оксидативный» или окислительный стресс – это нарушение обмена веществ и энергии, накопление свободных радикалов, запускающих развитие серьезных заболеваний и психофункционального дискомфорта [2, 8]. Известно, что физические упражнения увеличивают окислительный стресс за счет продукции свободных радикалов, поскольку максимальное потребление кислорода при этом в 10-15 раз превышает потребление кислорода в условиях покоя. Образование большого количества свободных радикалов может быть одной из причин снижения работоспособности у спортсменов, специализирующихся в видах спорта, требующих повышенной выносливости [29]. Клеточные мембраны при оксидативном стрессе становятся главной мишенью для свободных радикалов. Причем мембрана эритроцита оказывается особенно чувствительна к данному негативному воздействию. Установлено, что уровень малонового диальдегида, гидропероксидов липидов и карбонильных белков увеличивается после повышенных аэробных и изометрических упражнений [30], что указывает на широко распространенное окислительное повреждение, связанное с физическими упражнениями. Авторы показали, что одна тренировка у нетренированных мужчин вызывала окислительный стресс в эритроцитах и оказывала влияние на антиоксидантную защиту в этих клетках. Старые эритроциты были более чувствительны к окислительному повреждению, чем клетки среднего возраста и молодые. Обнаружено значительное (иногда в 3 раза) повышение уровня субстанции тиобарбитуровой кислоты (TBARS), как в плазме крови, так и в эритроцитах и их мембранах. Именно увеличение этого показателя и гидропероксидов свидетельствуют о развитии окислительного стресса. Но если во фракциях молодых и среднего возраста эритроцитов эти изменения происходили через час, то в старой фракции повышение уровня гидропероксидов наблюдалось сразу после физической нагрузки. Необходимо отметить, что физические упражнения изменили и характеристики связывания гемоглобина с кислородом в крови добровольцев [31]. Таким образом, повышенная генерация свободных радикалов вызывает переокисление в клеточных мембранах, причем не только эритроцитов, но и в лейкоцитах, нейтрофилах и других фагоцитарных клетках, влияя на клеточные функции. В нормальных физиологических условиях активация

антиоксидантной защиты и устранение активных форм кислорода имеет большое значение для выживания клеток. В отдельных исследованиях было показано, что у бегунов на выносливость повышается антиоксидантная способность крови, и эта активизация защитных сил крови может быть связана с физической активностью [30]. Все эти данные подтверждают важность регулярных упражнений для антиоксидантной защиты крови и свидетельствуют о том, что эритроциты обеспечивают эффективную систему такой защиты от вызванного извне окислительного стресса [31].

Однако, во время максимальной или продолжительной субмаксимальной нагрузки эритроциты могут подвергаться большому повреждению от вызванного извне окислительного стресса. Такие исследования, вероятно, полезны для объяснения изменений в крови не атлетов, проходящих реабилитацию [30]. Физическая нагрузка разной степени интенсивности может использоваться как модель модулятора свободных радикалов и изучения окислительного стресса и изменений физико-химических свойств мембраны эритроцитов. Исследовали конформационные изменения мембранных белков эритроцитов, текучесть мембран и их восприимчивость к дезинтеграции. Для этого использовали велотренажеры с дозированной нагрузкой. Методом электронной парамагнитной резонансной спектроскопии определяли динамику мембраны, исследовали мембранные белки и образование свободных радикалов. Результаты показали наличие слабого окислительного стресса после острой физической нагрузки, что вызывало структурные изменения компонентов белков мембран эритроцитов и изменения в организации мембран (мембранные липиды), которые следовали за перекисным окислением липидов, но не приводили к гемолизу [32, 33].

Антиоксидантная терапия витаминами А, С и Е в течение 2-х месяцев предотвращала индуцированный физической нагрузкой окислительный стресс, а также вредное воздействие упражнений на нетренированных субъектов. Если до терапии у нетренированных субъектов упражнения вызывали повышение осмотической хрупкости и снижение деформируемости эритроцитов, сопровождавшимися признаками внутрисосудистого гемолиза (увеличение концентрации гемоглобина в плазме и снижение уровня гапатоглобулина), то введение антиоксидантных витаминов предотвращало вызванный физической нагрузкой окислительный стресс. До приема препаратов у спортсменов основные характеристики эритроцитов не изменялись, хотя при этом наблюдался повышенный окислительный стресс. Лечение антиоксидантами предотвращало развитие окислительного стресса и у них. Установлено также, что физическая подготовка у спортсменов на длинных и средних дистанциях в течение сезона улучшает показатели антиоксидантных систем при снижении перекисного окисления липидов [19, 34]. Это было подтверждено в экспериментах на крысах. Но авторы отмечают, что полученные

данные нельзя прямо экстраполировать на человека, поскольку существуют структурные отличия между эритроцитами человека и крысы, включая размеры клеток, мембранные белки и липиды, композиции белков и мембранных поверхностей. Эти структурные особенности могут привести к отличиям в деформируемости, агрегации и гемолизу [20, 35]. Образующийся при разрушении гема билирубин также служит защитой от окисления.

Известно, что внутрисосудистый гемолиз является одним из важнейших механизмов разрушения эритроцитов во время и после физической активности [36]. Определенный интерес представляют работы, отмечающие влияние АТФ эритроцитов на процессы гемолиза. Определяли АТФ и свободный гемоглобин в образцах, чтобы оценить вклад гемолиза в высвобождение АТФ. Показано, что гипотонический шок, напряжение сдвига и гипоксия значительно усиливают высвобождение АТФ красными клетками крови, обусловленное активацией каналов, содержащих АТФ. Причем, наблюдалась четкая корреляция между свободным гемоглобином и уровнем АТФ [37]. Авторы отмечают, что ключевую роль в высвобождении АТФ из эритроцитов играет именно гемолиз. Методом люминесцентного анализа было показано, что АТФ выделяется исключительно из лизирующих клеток, а интактные клетки в этом участия не принимают. Авторы полагают, что такой механизм может встречаться *in vivo* и может играть физиологическую и патофизиологическую роль в локальных пуринергических сигналах и регуляции кровотока при физической нагрузке и гипоксии. При этом увеличивается внутрисосудистый гемолиз, в основном, из стареющих клеток, которые механически разрушаются, когда они проходят через капилляры при сокращении мышц. Тренировка при гипоксии вызывает старение эритроцитов, снижает деформируемость при сдвиговом потоке и, таким образом, повышает восприимчивость к разрыву мембраны. Авторы отмечают изменение хрупкости эритроцитов и при ряде заболеваний, таких как талассемия, сфероцитоз и хронические заболевания печени. Таким образом, механизм высвобождения АТФ, включающий лизис стареющих клеток, может играть важную роль при сопоставлении потребности в кислороде во время физических упражнений и гипоксии, когда наблюдается повышенный внутрисосудистый гемолиз [38]. Поскольку данный вид гемолиза встречается у пловцов, велосипедистов и бегунов, при работе со спортсменами обычно используют гемолиз стопы для объяснения спортивной анемии омоложения эритроцитов у спортсменов. Некоторые авторы полагают, что возможными причинами этих и других нарушений является внутримышечное разрушение, осмотический стресс и перекисное окисление липидов мембран, вызванное свободными радикалами, выделяемыми антивирусными лейкоцитами, Внутрисосудистый гемолиз можно даже рассматривать как физиологическое средство для поддержания гема и белков для роста мышц [39].

### 6. Изменения осмотической резистентности эритроцитов при физической нагрузке

При диагностике некоторых болезней и терапии отдельными препаратами необходимо знать, при каких условиях может произойти гемолиз, чтобы вовремя скорректировать лечение, поскольку во многих случаях при отмене препарата нормальный фон крови восстанавливается. Чтобы полностью оценить клиническую картину заболевания в данном случае необходимо определять осмотическую резистентность эритроцитов (ОРЭ), так как именно устойчивость мембраны к различным воздействиям свидетельствует о способности эритроцитов противостоять патогенным воздействиям [18].

Термин «резистентность» (от латинского *resistentia* – устойчивость, сопротивление) означает сопротивляемость какому-либо фактору. Способность эритроцитов препятствовать осмотическому давлению и называется ОРЭ. Таким образом, осмотическая резистентность оценивает степень гемолиза клеток при различной степени осмотического стресса, причем у пожилых людей ОРЭ ниже, а у молодых ОРЭ выше, и ее диапазон шире [40].

Большое количество работ посвящено оценке влияния различной физической нагрузки на ОРЭ [41, 42]. В этих исследованиях использовали разные виды физической нагрузки, например плавание, бег, причем это могли быть как непрерывные упражнения средней интенсивности (УСИ) в течение 60 мин, так и серия упражнений с высокой интенсивностью до истощения (УВИ). Авторы полагают, что во время УСИ лизис происходил в основном за счет старых эритроцитов, с сохранением более крупных клеток и более устойчивых к лизису *in vitro*. Стабильность эритроцитов увеличивалась после УСИ и уменьшалась после УВИ. Таким образом, подготовка высокой интенсивности привела к уменьшению ОРЭ, возможно, связанную с обострением окислительных процессов во время интенсивных упражнений. Хроническая подготовка в течение 18 недель приводила к повышению ОРЭ, возможно путем модуляции содержания мембранного холестерина и липопротеидов низкой и высокой плотности.

Выше было показано, что реакции красных клеток крови на физическую нагрузку у тренированных и нетренированных людей значительно отличаются, и у спортсменов эти реакции были намного слабее или вообще отсутствовали. Все это предполагает, что вызванный упражнениями оксидативный стресс у нетренированных субъектов может способствовать гемолизу. Кроме того, различные травмы могут также быть связаны с факторами, вызывающими гемолиз. Однако и нетравматическая активность, такая как плавание, езда на велосипеде, поднятие тяжестей также могут привести у нетренированных людей к деструкции эритроцитов. При этом могут наблюдаться повышение температуры тела, ацидоз, увеличение катехоламинов, дегидратация и компрессия эритроцитов в капиллярах внутри сокращенных мышц, что также может являться важным ме-

ханизмом в возникновении внутрисосудистого гемолиза. Позднее, в экспериментах А.А. Михайлиса [43], при изучении стрессиндуцированной динамики гемолитической стойкости эритроцитов было показано, что как в эксперименте, так и в клинической практике реакция красных клеток крови носит фазовый характер и не имеет видовой, половой и нозологической специфичности. Эта реакция зависит от силы стрессора. При этом на начальных этапах воздействия, отмечается усиление гемолиза за счет низкостойких форм эритроцитов вследствие их разрушения. Позднее происходит возврат кислотоустойчивости к исходным значениям. Эти функции требуют достаточного количества эритроцитов в обращении.

Отдельная группа исследований посвящена изучению влияния острых и хронических нагрузок на ОРЭ. Было установлено, что у пловцов мужского пола острая тренировка привела к снижению ОРЭ, что может быть связано с обострением окислительных процессов во время интенсивных тренировок, тогда как хроническая тренировка в течение 18 недель привела к повышению ОРЭ, возможно, за счет снижения содержания холестерина в мембране и липопротеидов высокой плотности [44].

### 7. Влияние физической нагрузки на пациентов с различной патологией эритроцитов

Большее количество исследований посвящено изучению влияния физической нагрузки на пациентов с различными заболеваниями. Особое место среди патологий занимает метаболический синдром, так как число пациентов с этим синдромом в последнее время значительно увеличивается. Напомним, что метаболический синдром – это комплексное заболевание, составными частями которого являются гипертония, сахарный диабет и ожирение. Его еще называют «смертельной триадой». В связи с этим хотелось бы более подробно остановиться на исследовании Kim и соавт. [45]. В нем описано влияние 12-недельной комбинированной программы тренировок с отягощениями и аэробными нагрузками на кардиометаболические биомаркеры и гемореологическую функцию эритроцитов у 20 пожилых мужчин (средний возраст:  $68,8 \pm 0,9$  года). Испытуемые были случайным образом разделены на две группы (упражнение [EXP; n=10] и контроль [CON; n=10]). Субъекты EXP выполняли программу тренировок с отягощениями и аэробными упражнениями три раза в неделю в течение 12 недель, а участники CON поддерживали свой обычный образ жизни в течение периода вмешательства. Состав тела оценивали с использованием оборудования для анализа биоэлектрического импеданса. Были проанализированы кардиометаболические биомаркеры (глюкоза, инсулин, оценка модели гомеостаза, инсулинорезистентность (НОМА-IR), функция  $\beta$ -клеток НОМА и лептин) и гемореологические параметры эритроцитов (деформируемость и агрегация эритроцитов). Процент

жира в организме значительно снизился в группе EXP в течение периода вмешательства, но значительно увеличился в группе CON. Инсулин значительно увеличился в группе CON в течение 12-недельного периода, и как инсулин, так и HOMA-IR были значительно выше в группе CON, чем в группе EXP после теста. Деформируемость эритроцитов (RBC EI\_3Pa) и агрегация (RBC AI\_3Pa) значительно улучшились только в группе EXP. Настоящее исследование предполагает, что комбинированные упражнения могут быть полезны для улучшения кардиометаболических биомаркеров и гемореологических показателей эритроцитов у пожилых мужчин с ожирением и могут помочь предотвратить метаболический синдром и сердечнососудистые заболевания.

Особый интерес представляют исследования по влиянию физической нагрузки на развитие оксидативного стресса при серповидноклеточной анемии (СКА) [46]. Известно, что СКА – это класс гемоглобинопатий у людей, который является наиболее распространенным наследственным заболеванием в мире. Это заболевание характеризуется наличием хронического гемолиза. Мы уже отмечали, что регулярные физические упражнения снижают окислительный стресс у здоровых людей, главным образом, за счет повышения эффективности антиоксидантных ферментов. На мышинной модели СКА и у больных СКА также было показано, что регулярная физическая нагрузка может снизить патогенное влияние оксидативного стресса при данной патологии. Обычно у пациентов с СКА обнаруживаются изменения реологии крови, высокий уровень показателей оксидативного стресса и усиление гемолиза с большим количеством сво-

бодного гемоглобина в циркуляции, что снижает биодоступность оксида азота. Сравнивали все эти параметры у больных СКА до и после тренировок. Результаты показали улучшение дыхательной эффективности, снижение свободного гемоглобина в плазме, повышение уровня нитритов в плазме и изменение реологии после тренировок, однако в гематологическом профиле никакого эффекта не наблюдалось. Показатели NO в эритроцитах указывают на повышенную биодоступность NO, которая не влияет на деформируемость эритроцитов. У пациентов повысилось качество жизни. Таким образом, было установлено, что даже физические упражнения небольшой интенсивности могут быть полезны для больных СКА [47].

### 8. Заключение

Таким образом, анализ современной литературы показывает, какая серьезная роль отводится изучению влияния физической нагрузки разной степени интенсивности на функциональное состояние клеток крови, в особенности, эритроцитов. Подобные исследования представляют определенный интерес, как для клиницистов-гематологов, так и для спортивных врачей и тренеров. Реакции клеток крови зависят как от степени спортивной подготовки, так и от возраста спортсменов, что требует индивидуального подхода при тренировках, поскольку понятно, что одни и те же нагрузки у спортсменов и у нетренированных субъектов могут привести к совершенно разным последствиям. Дальнейшее изучение этих проблем может помочь предотвратить как развитие некоторых заболеваний, так и способствовать повышению результатов в спорте высоких достижений.

### Список литературы

1. 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. С.16-29.
2. Голубева М.Г. Стрессогенные нарушения эритроцитов и их коррекция с помощью регуляторных пептидов // Успехи физиологических наук. 2018. №1. С.3-10.
3. Бушуева Н.А., Воробьева Н.А. Характеристика системы гемостаза при физических нагрузках // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия «Медико-биологические науки». 2015. №2. С.62-70.
4. Шифман Ф. Патопфизиология крови. М-СПб.: Невский диалект, 2001. 447с.
5. Mohandas N, Gallagher PC. Red cell membrane: past, present, and future // Blood. 2008. Vol.112, №4. P.3939-3948.
6. Муравьев А.В., Михайлов П.В., Тихомирова И.А. Микроциркуляция и гемореология: точки взаимодействия // Региональное кровообращение и микроциркуляция. 2017. Т.16, №2. С.90-100.
7. Муравьев А.В. Маймистова А.А., Ройтман Е.В., Тихомирова И.А., Чучкин Ф.А. Исследования деформированности эритроцитов в экспериментальной практике // Тромбоз, гемостаз, реология. 2008. Т.36, №4. С.22-27.

### References

1. Mihaylov PV, Muravev AV, Ostroumov RS, Muravev AA. Vozrastnyie osobennosti svoystv krovi u trenirovannyih i netrenirovannyih lits. Bezopasnost zdorovya cheloveka. 2016;1:16-29. (In Russ).
2. Golubeva MG. Stressogenic disorders of red blood cells and their correction using regulatory peptides. Successes Physiology. Science. 2018;49(1):3-10. (In Russ).
3. Bushueva NA, Vorobeve NA. Harakteristika sistemyi gemostaza pri fizicheskikh nagruzkah Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federalnogo universiteta. Seriya «Mediko-biologicheskie nauki». 2015;2:62-70. (In Russ).
4. Shifman F. Pathophysiology of blood. English translation M-SPb. Nevsky dialect. 2001;447. (In Russ).
5. Mohandas N, Gallagher PC. Red cell membrane: past, present, and future. Blood. 2008;2(10):3939-3948.
6. Muravev AV, Mihaylov PV, Tihomirova IA. Mikrot-sirkulyatsiya i gemoreologiya: tochki vzaimodeystviya. Regionalnoe krovoobraschenie i mikrotsirkulyatsiya. 2017;16(2):90-100. (In Russ).
7. Muravyov AV, Maimistova AA, Roitman EV, Tikhomirova IA, Chuchkin FA. Studies of erythrocyte deformity in experimental practice. Thrombosis, hemostasis, rheology. 2008;36(4):22-27. (In Russ).

8. **Da Silva Garrote-Filho M, Bernardino-Neto M, Peha-Silva N.** Influence of Erythrocyte Membrane Stability in Atherosclerosis // *Curr. Atheroscler. Rep.* 2017. Vol.19, №4. P.17- 25.
9. **Chou SL, Huang YC, Fu TC, Hsu CC, Wand JS.** Cycling Exercise Training Alleviates Hypoxia-Impaired Erythrocyte Rheology // *Med.Sci., Sports Exerc.* 2016. Vol.48, №1. P.57- 65.
10. **Martusevich AA, Deryugina AV, Martusevich AK.** Functional state of rat's erythrocytes under different stress conditions // *J. Stress Physiol. and Biochem.* 2016. Vol.12, №3. P.5-11.
11. **Medeiros-Lima DJ, Mendes-Ribeiro AC, Brunini TM, Martins MA, Mury WV, Freire RA, Monteiro WD, Farinatti PTV, Matsuura C.** Erythrocyte nitric oxide availability and oxidative stress following exercise // *Clin Hemorheol Microcirc.* 2017. Vol.65, №3. P.219-228.
12. **Gollasch B, Wu G, Dogan I, Roth M, Gollasch M, Luft FC.** Maximal exercise and erythrocyte epoxy fatty acids: a lipodemics study // *Physiol. Rep.* 2019. Vol.22, №7. e14275.
13. **Осочук С.С., Марцинкевич А.Ф., Осочук А.С.** Физико-химические свойства мембран эритроцитов и липопротеинов высокой плотности спортсменов циклических видов спорта // *Прикл. спорт. Наука.* 2016. Т.3, №1. С.84-89.
14. **Завалишина С.Ю. Мальцева Т.С.** Микрореологические особенности эритроцитов у регулярно тренирующихся кандидатов и мастеров спорта по легкой атлетике первого зрелого возраста // *Вестник новых медицинских технологий.* 2012. Т.19, №2. С.134-135.
15. **Муравьев А.В., Кошелев В.Б., Фадюкова О.Е., Тихомирова И.А., Маймистова А.А., Булаева С.В.** Роль активации аденилатциклазной системы эритроцитов в изменении микрореологических свойств их мембран // *Биологические мембраны.* 2011. Т.28, №3. С.174-180.
16. **Makhro A, Haider T, Wang J, Bogdanov N, Steffen P, Wagner C, Meyer T, Gassmann M, Hecksteden A, Kaestner L, Bogdanova A.** Comparing the impact of an acute exercise bout on Plasma amino acid composition, intraerythrocytic Ca(2+) handling, and red cell function in athletes and untrained subjects // *Cell Calcium.* 2016. Vol.60, №4. P.235-244.
17. **Муравьев А.В., Михайлова С.Г., Тихомирова И.А.** Роль внутриклеточных сигнальных систем в изменении микрореологических свойств эритроцитов // *Биологические мембраны.* 2014. Т.31, №4. С.270-277. DOI:10.7868/s0233475514040069
18. **Голубева М.Г.** Осмотическая резистентность эритроцитов, методы определения и коррекции, значение при различных патологиях // *Успехи современной биологии.* 2019. Т.139, №5. С.446-456. DOI:10.1134/s004213241905003X
19. **Senturk UK, Gunduz F, Kuru O, Atekin MR, Kipmen D, Yalcin O, Bor-Kucukatay M, Yesilkaya A, Bsdkrut OK.** Exercise-induced oxidative stress affects erythrocytes in sedentary rats but not exercise-trained rats // *J. Appl. Physiol.* 2001. Vol.91, P.1999-2005.
20. **Senturk UK, Gunduz F, Kuru O, Kocer G, Ozkaya YG, Yesilkaya A, Bor-Kucukatay M, Uyuklu M, Yalcin O, Baskurt OK.** Exercise-induced oxidative stress leads hemolysis in sedentary but not trained humans // *J. Appl. Physiol.* 2005. Vol.99, №4. P.1434-441.
21. **Mairbaur H.** Red blood cell in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells // *Front Physiol.* 2013. Vol.12, №4. P.332.
22. **Szymura J, Wiecek M, Maciejczyk M, Gradek J, Kantorowicz M.** Unchanged Erythrocyte Profile After Exposure to
8. **Da Silva Garrote-Filho M, Bernardino-Neto M, Peha-Silva N.** Influence of Erythrocyte Membrane Stability in therosclerosis. *Curr Atheroscler. Rep.* 2017;19(4):17-25.
9. **Chou SL, Huang YC, Fu TC, Hsu CC, Wand JS.** Cycling Exercise Training Alleviates Hypoxia-Impaired Erythrocyte Rheology. *Med. Sci Sports Exerc.* 2016;48(1):57-65.
10. **Martusevich AA, Deryugina A V, Martusevich A K.** Functional state of rat's erythrocytes under different stress conditions. *J. Stress Physiol. and Biochem.* 2016;12(3):5-11.
11. **Medeiros-Lima DJ, Mendes-Ribeiro AC, Brunini TM, Martins MA, Mury WV, Freire RA, Monteiro WD, Farinatti PTV, Matsuura C.** Erythrocyte nitric oxide availability and oxidative stress following exercise. *Clin Hemorheol Microcirc.* 2017;65(3):219-228.
12. **Gollasch B, Wu G, Dogan I, Roth M, Gollasch M, Luft FC.** Maximal exercise and erythrocyte epoxy fatty acids: a lipodemics study. *Physiol. Rep.* 2019;22(7):e14275.
13. **Osochuk SS, Martsinkevich AF, Osochuk AS.** Fiziko-himicheskie svoystva membran eritrotsitov i lipoproteinov vyisokoy platnosti sportsmenov tsiklicheskih vidov sporta. *Prinkl. sport. Nauka.* 2016;3(1):84-89. (In Russ).
14. **Zavalishina SYu. Maltseva TS.** Mikroreologicheskie osobennosti eritrotsitov u regularno treniruyuschihysya kandidatov i masterov sporta po legkoy atletike pervogo zrelogo vozrasta. *Vestnik meditsinskih tehnologiy.* 2012;19(2):134-135. (In Russ).
15. **Muravyov AV, Koshelev VB, Fadyukova OE, Tikhomirova IA, Maimistova AA, Bulaeva SV.** The role of activation of the erythrocyte adenylatecyclase system in the change in microreologicalproperties of their membranes. *Biochtmistry (Moscow) Supl. Series A: Membrane and Cell Biology.* 2011;28(3):174-180. (In Russ).
16. **Makhro A, Haider T, Wang J, Bogdanov N, Steffen P, Wagner C, Meyer T, Gassmann M, Hecksteden A, Kaestner L, Bogdanova A.** Comparing the impact of an acute exercise bout on plasma amino acid composition, intraerythrocytic Ca (2+) handling, and red cell function in athletes and untrained subjects. *Cell Calcium.* 2016;60(4):235-44.
17. **Muravyov AV, Mikhailova SG, Tikhomirova IA.** The role of intracellular signaling systems n changes in the micro-rheological properties of red blood cells. *Biochtmistry (Moscow) Supl. Series A: Membrane and Cell Biology.* 2014;31(4):270-277. (In Russ). DOI: 10.7868/s0233475514040069
18. **Golubeva MG.** Osmotic Resistance of Erythrocytes, Methods of Determination and Correction, Value at Different Pathologies. *Biol.Bull.Rev.* 2019;139(5):446-456. (In Russ). DOI:10.1134/s004213241905003X
19. **Senturk UK, Gunduz F, Kuru O, Atekin MR, Kipmen D, Yalcin O, Bor-Kucukatay M, Yesilkaya A, Bsdkrut OK.** Exercise-induced oxidative stress affects erythrocytes in sedentary rats but not exercise-trained rats. *J. Appl. Physiol.* 2001;91:1999-2005.
20. **Senturk UK, Gunduz F, Kuru O, Kocer G, Ozkaya YG, Yesilkaya A, Bor-Kucukatay M, Uyuklu M, Yalcin O, Baskurt OK.** Exercise-induced oxidative stress leads hemolysis in sedentary but not trained humans. *J. Appl. Physiol.* 2005;99(4):1434-1441.
21. **Mairbaur H.** Red blood cell in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. *Front Physiol.* 2013;12(4):332.
22. **Szymura J, Wiecek M, Maciejczyk M, Gradek J, Kantorowicz M, Szygyla Z.** Unchanged Erythrocyte Profile After Exposure to Cryogenic Temperatures in Elder Marathon Runners. *Front Physiol.* 2018;30(9):659.

Cryogenic Temperatures in Elder Marathon Runners. // Front. 2018 Vol.30, №9. P.659.

23. Levy AP, Asleh R, Blum S, Levy NS, Miller-Lotan R, Kalet-Litman S, Anbinder Y, Lache O, Nakhoul FM, Asaf R, Farbstein D, Pollak M, Soloveichik YZ, Strauss M, Alshiek J, Livshits A, Schwartz A, Awad H, Jad K, Goldenstein H. Haptoglobin: basic and clinical aspects // Antioxid Redox Signal. 2010. Vol.12(2), P.293-304.

24. Lippi G, Sanchis-Gomar F. Epidemiological, biological and clinical update on exercise-induced hemolysis // Ann.Transel Med. 2019. Vol.7, №12. P.270.

25. Nishiie-Yano R, Hirayama S, Tamura M, Kanemochi T, Ueno T, Hirayama A, Hori A, Ai T, Hirose N, Miida T. Hemolysis Is Responsible for Elevation of Serum Iron Concentration After Regular Exercises in Judo Athletes // Biol Trace Elem Res. 2019. P.1-7.

26. Terink R, Ten Haaf D, Bongers CWG, Balvers MGJ, Witkamp RF, Mensink M, Eijsvogels MH, Klein Gunnewiek JMT, Hopman MTE. Changes in iron metabolism during prolonged repeated walking exercise in middle-aged men and women // Eur J Appl Physiol. 2018 Vol.118, №11. P.2349-2357

27. Lippi G, Schena F, Salvagno GL, Aloe R, Banfi G, Guidi GC. Foot-strike hemolysis after a 60-km ultramarathon // Blood Transfus. 2012. Vol.10, №3. P.377-383.

28. Banfi G, Melegati G. Effect on sport hemolysis of cold water leg immersion in athletes after training sessions // Lab. Hematol. 2008. Vol.14, №2. P.15-18.

29. Станкевич Л.Г., Земцова И.И. Влияние различных концентраций антиоксидантов на перекисных гемолиз эритроцитов // Вестник Запорожского национального университета. 2012. Т.7, №1. С.183-188.

30. Gwozdziński K, Pieniazek A, Tabaczar S, Jegier A, Brzezczynska J. Investigation of oxidative stress parameters in different lifespan erythrocyte fractions in young untrained men after acute exercise // Exp. Physiol. 2017. Vol.102, №2. P.190-201.

31. Vezzoli A, Dellanoce C, Mrakic-Spota S, Montorsi M, Moretti S, Tonini A, Pratali L, Accinni R. Oxidative Stress Assessment in Response to Ultraendurance Exercise: Thiols Redox Status and ROS Production according to Duration of a Competitive Race // Oxid Med Cell Longev. 2016. Vol.2. P.1-13.

32. Brzezczynska J, Pieniazek A, Gwozdziński L, Gwozdziński K, Jegier A. Structural alterations of erythrocyte membrane components induced by exhaustive exercise // Appl. Physiol. Nutr. Metab. 2008. Vol.33, №6. P.1223-1231.

33. Huang YC, Hsu CC, Wang JS. High-Intensity Interval Training Improves Erythrocyte Osmotic Deformability // Med.Sci. Sports Exerc. 2019. Vol.51, №7. P.1404-1412.

34. Mufoz Marin D, Barrientos G, Alves J, Grijota FJ, Robles MC, Maynar M. Oxidative stress, lipid peroxidation index and antioxidant vitamins in long and middle distance athletes during a sport season // J. Sports Med Phys Fitness. 2018, Vol.58, №12. P.1713-1719.

35. Tuvia S, Moses A, Gulayev N, Levia S, Korenstein R.  $\beta$ -adrenergic agonists regulate cell Membrane fluctuations of human erythrocytes // J. Physiol. 1999. Vol.516, №3. P.781-792.

36. Chang AL, Hoehn RS, Jemigan P. Previous cryopreservation alters the natural history of the red blood cell storage lesion // Shock. 2016. Vol.46. P.89-95.

37. Сидоренко С.В., Лунева О.Г., Новожилова Т.С. Гемолиз и высвобождение АТФ из эритроцитов человека и крысы в условиях гипоксии // Биол. мембраны. 2018. Т.35, №1. С.27-33. DOI:10.7868/s0233475518010036

23. Levy AP, Asleh R, Blum S, Levy NS, Miller-Lotan R, Kalet-Litman S, Anbinder Y, Lache O, Nakhoul FM, Asaf R, Farbstein D, Pollak M, Soloveichik YZ, Strauss M, Alshiek J, Livshits A, Schwartz A, Awad H, Jad K, Goldenstein H. Haptoglobin: basic and clinical aspects. Antioxid Redox Signal. 2010;12(2):293-304.

24. Lippi G, Sanchis-Gomar F. Epidemiological, biological and clinical update on exercise-Induced hemolysis. Ann. Transel Med. 2019;7(12):270.

25. Nishiie-Yano R, Hirayama S, Tamura M, Kanemochi T, Ueno T, Hirayama A, Hori A, Ai T, Hirose N, Miida T. Hemolysis Is Responsible for Elevation of Serum Iron Concentration After Regular Exercises in Judo Athletes. Biol Trace Elem Res. 2019;30:1981-1983.

26. Terink R, Ten Haaf D, Bongers CWG, Balvers MGJ, Witkamp RF, Mensink M, Eijsvogels MH, Klein Gunnewiek JMT, Hopman MTE. Changes in iron metabolism during prolonged repeated walking exercise in middle-aged men and women. Eur J Appl Physiol. 2018;118(11):2349-2357.

27. Lippi G, Schena F, Salvagno GL, Aloe R, Banfi G, Guidi GC. Foot-strike hemolysis after a 60-km ultramarathon. Blood Transfus. 2012;10(3):377-383.

28. Banfi G, Melegati G. Effect on sport hemolysis of cold water leg immersion in athletes after training sessions. Lab. Hematol. 2008;14(2):15-18.

29. Stankewicz LG, Zemtsova II. The influence of different densities of antioxidantson peroxide gemolysis of erythrocytes. Vestnik Zaporozhskogo natsionalnogo universiteta. 2012;7(1):183-188. (In Russ).

30. Gwozdziński K, Pieniazek A, Tabaczar S, Jegier A, Brzezczynska J. Investigation of oxidative stress parameters in different lifespan erythrocyte fractions in young untrained men after acute exercise. Exp. Physiol. 2017;102(2):190-201.

31. Vezzoli A, Dellanoce C, Mrakic-Spota S, Montorsi M, Moretti S, Tonini A, Pratali L, Accinni R. Oxidative Stress Assessment in Response to Ultraendurance Exercise: Thiols Redox Status and ROS Production according to Duration of a Competitive Race. Oxid Med Cell Longev. 2016(2):1-13.

32. Brzezczynska J, Pieniazek A, Gwozdziński L, Gwozdziński K, Jegier A. Structural alterations of erythrocyte membrane components induced by exhaustive exercise. Appl. Physiol. Nutr. Metab. 2008;33(6):1223-1231.

33. Huang YC, Hsu CC, Wang JS. High-Intensity Interval Training Improves Erythrocyte Osmotic Deformability. Med Sci Sports Exerc. 2019;51(7):1404-1412.

34. Munoz Marin D, Barrientos G, Alves J, Grijota FJ, Robles MC, Maynar M. Oxidative stress, lipid peroxidation indexes and antioxidant vitamins in long and middle distance athletes during a sport season. J. Sports Med Phys Fitness. 2018;58(12):1713-1719.

35. Tuvia S, Moses A, Gulayev N, Levia S, Korenstein R.  $\beta$ -adrenergic agonists regulate cell membrane fluctuations of human erythrocytes. J. Physiol. 1999;516(3):781-792.

36. Chang AL, Hoehn RS, Jemigan P. Previous cryopreservation alters the natural history of the red blood cell storage lesion. Shock. 2016;46:89-95.

37. Sidorenko SV, Luneva OG, Novozhilova TS. Hemolysis and ATP release from human and rat red blood cells under hypoxia. Biochimistry (Moscow) Supl.Series A: Membrane and Cell Biology. 2018;35(1):27-33. (In Russ). DOI:10.7868/s0233475518010036

38. Sikora J, Orlov SN, Furuya K, Grygorezyk R. Hemolysis is a primary ATP-release mechanism in human erythrocytes. Blood. 2014;124(13):2150-2157.

38. **Sikora J, Orlov SN, Furuya K, Grygorezyk R.** Hemolysis is a primary ATP-release mechanism in human erythrocytes // *Blood*. 2014. Vol.124. №13. P.2150-2157.
39. **Robinson Y, Cristancho E, Böning D.** Intravascular hemolysis and red cell age in athletes // *Med. Sci. Sport. Exerc.* 2006. Vol.38, №3. P.480-483.
40. **Madden JL, Drakos SG, Stehlik J, McKellar SH, Rondina MT, Weyrich A, Selzman C, ASAIO J.** Baseline red blood cell osmotic fragility does not predict the degree of post-LVAD hemolysis // *ASAIO J.* 2014. Vol.60, №5. P.524-528
41. **Paraiso LF, de Freitas MV, Goncalve-E-Oliveira AF, de Almeida Neto OP, Pereira EA, Netto RCM, Cunha LM, Neto MB, de Agostini GG, Resende ES, Penha-Silva N.** Influence of acute exercise on the human erythrocyte membrane // *Int. J. Sport. Med.* 2014. Vol.35, P.1072-1077.
42. **Paraiso LF, Goncalves-E-Oliveira AF, Cunha LM, de Almeida Neto OP, Pacheco AG, Araujo KBG, Garrote-Filho MS, Neto MB, Penha-Silva N.** Effects of acuter and chronic exercise on the osmotic stability of erythrocyte membrane of competitive swimmers // *PLoS One*. 2017. Vol.12, №2. P.e0171318.
43. **Михайлис А.А.** Концептуальная модель стрессиндуцированной динамики кислотно-гемолитической стойкости эритроцитов // *Современные наукоемкие технологии*. 2010. №10. С.19-23. DOI:10.1007/s11883-017-0653-2
44. **Потапенко Я.А., Кягова А.А., Тихомиров А.М.** Осмотическая устойчивость эритроцитов М.: ГОУВПОГРМУ, 2006. 16с.
45. **Kim SW, Jung WS, Park W, Park HY.** Twelve Weeks of Combined Resistance and Aerobic Exercise Improves Cardiometabolic Biomarkers and Enhances Red Blood Cell Hemoreological Function in Obese Older Men: A Randomized Controlled Trial // *Int. J. Environ Res. Public Health*. 2019. Vol.16, №24. P.5020.
46. **Chirico EN, Faës C, Connes P, Canet-Soulas E, Martin C.** Role of Exercise-Induced Oxidative Stress in Sickle Cell // *Trait and Disease. Sports Med.* 2016. Vol.46, №5. P.629-639.
47. **Grau M, Nader E, Jerke M, Schenk A, Renoux C, Dietz T.** Impact of A Six Week Training Program on Ventilatory Efficiency, Red Blood Cell Rheological Parameters and Red Blood Cell Nitric Oxide Signaling in Young Sickle Cell Anemia Patients: A Pilot Study // *J Clin Med*. 2019. Vol.8, №12. P.2155.
39. **Robinson Y, Cristancho E, Böning D.** Intravascular hemolysis and red cell age in athletes. *Med.Sci. Sport. Exerc.* 2006;38(3):480-483.
40. **Madden J, Drakos SG, Stehlik J, McKellar SH, Rondina MT, Weyrich A, Selzman C.** Baseline red blood cell osmotic fragility does not predict the degree of post-LVAD hemolysis. *ASAIO J.* 2014;60(5):524-528.
41. **Paraiso LF, de Freitas MV, Goncalve-E-Oliveira AF, de Almeida Neto OP, Pereira EA, Netto RCM, Cunha LM, Neto MB, de Agostini GG, Resende ES, Penha-Silva N.** Influence of acute exercise on the human erythrocyte membrane. *Int. J Sports Med.* 2014;35(13):1072-1077.
42. **Paraiso LF, Goncalves-E-Oliveira AF, Cunha LM, de Almeida Neto OP, Pacheco AG, Araujo KBG, Garrote-Filho MS, Neto MB, Penha-Silva N.** Effects of acuter and Chronic exercise on the osmotic stability of erythrocyte membrane of competitive swimmers *PLoS One*. 2017;12(2);e0171318.
43. **Mihaylis AA.** Kontseptualnaya model stressindutsirovannoy dinamiki kislotno-gemoliticheskoy stoykosti eritrotsitov. *Sovremennyye naukoemkie tehnologii*; 2010;10:19-23. (In Russ). DOI: 10.1007/s11883-017-0653-2
44. **Potapenko YaA, Kyagova AA, Tihomirov AM.** Osmoticheskaya ustoychivost eritrotsitov M.: GOUVPOGRMU. 2006, 16p. (In Russ).
45. **Kim SW, Jung WS, Park W, Park HY.** Twelve Weeks of Combined Resistance and Aerobic Exercise Improves Cardiometabolic Biomarkers and Enhances Red Blood Cell Hemoreological Function in Obese Older Men: A Randomised Controlled Trial. *Int.J.Environ Res. Public Health*; 2019;16(24):5020.
46. **Chirico EN, Faës C, Connes P, Canet-Soulas E, Martin C.** Role of Exercise-Induced Oxidative Stress in Sickle Cell *Trait and Disease*. 2016;46(5):629-639.
47. **Grau M Nader E, Jerke M, Schenk A, Renoux C, Dietz T.** Impact of A Six Week Training Program on Ventilatory Efficiency, Red Blood Cell Rheological Parameters and Red Blood Cell Nitric Oxide Signaling in Young Sickle Cell Anemia Patients: A Pilot Study. *J Clin Med*. 2019;8(12):2155.

**Информация об авторе:**

**Голубева Мария Георгиевна**, старший научный сотрудник лаборатории защитных систем крови имени профессора Б.А. Кудряшова ФГБОУ ВО МГУ им. М.В. Ломоносова, к.б.н. ORCID ID: 0000-0002-7630-8293 (+7(495)939-26-08, mgolubeva46@mail.ru)

**Information about the author:**

**Maria G. Golubeva**, PhD (Biology), Senior Researcher of the Laboratory of Protective Blood Systems named after Professor B.A. Kudryachshov of the Moscow State University. ORCID ID: 0000-0002-7630-8293 (+7(495)939-26-08, mgolubeva46@mail.ru)

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки

**Funding:** the study had no sponsorship

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

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

*Поступила в редакцию: 26.02.2019*

*Принята к публикации: 04.05.2020*

*Received: 26 February 2019*

*Accepted: 04 May 2020*



DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.65

УДК 612.115.3-615.273.53

## Использование изокинетического тренажера в практике спортивного врача

*П.С. Плешков<sup>1</sup>, В.Ю. Хайтин<sup>1,2</sup>, Э.Н. Безуглов<sup>3</sup>, С.В. Матвеев<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>АО ФК «Зенит», Санкт-Петербург, Россия*

*<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Министерство здравоохранения РФ, Санкт-Петербург, Россия*

*<sup>3</sup>ФГАУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Министерство здравоохранения РФ, Москва, Россия*

### РЕЗЮМЕ

В обзоре литературы рассмотрены современные тенденции использования изокинетического тренажера (ИКТ) как в тренировочных, так и в лечебно-диагностических целях. Проведен анализ широкого спектра применения, результатов, получаемых при тестировании и тренировках, продемонстрирован прикладной характер использования данного тренажера. Освещены вопросы использования ИКТ в спорте высших достижений. Сделан вывод о широком спектре применения ИКТ как в теоретической, так и практической медицине. Несмотря на некоторые недостатки тренажера (высокая стоимость, необходимость специального обучения персонала, различные результаты тестирования в зависимости от модели), при его наличии врач получает мощнейший инструмент в своей работе, который позволяет вывести ее на новый качественный уровень.

**Ключевые слова:** изокинетический тренажер, тестирование, реабилитация, тренировка

**Для цитирования:** Плешков П.С., Хайтин В.Ю., Безуглов Э.Н., Матвеев С.В. Использование изокинетического тренажера в практике спортивного врача // Спортивная медицина: наука и практика. 2020. Т.10, №2. С.65-72. DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.65

## Application of isokinetic extremity system in sport medicine and rehab practice

*Pavel S. Pleshkov<sup>1</sup>, Vladimir Y. Khaitin<sup>1,2</sup>, Eduard N. Bezuglov<sup>3</sup>, Sergey V. Matveev<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>FC «Zenit», Saint-Petersburg, Russia*

*<sup>2</sup>Pavlov First Saint-Petersburg State Medical University, Saint-Petersburg, Russia*

*<sup>3</sup>Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia*

### ABSTRACT

The literature review discusses current trends in the isokinetic machines (IM) use for both training and diagnostic purposes. The review dwells upon a wide range of IM applications, testing and training results, and demonstrates the applied nature of the IM use. The review addresses the issues IM use in professional sports. We come to the conclusion about a wide range of IM applications in both research and clinical practice. Despite IM disadvantages (high cost, necessity of special staff training, test results variability depending on an IM model), IM is a powerful tool in a health care professional's arsenal which provides a qualitative improvement of clinical practice.

**Key words:** isokinetic machine, functional testing system, rehabilitation, training

**For citation:** Pleshkov PS, Khaitin VY, Bezuglov EN, Matveev SV. Application of isokinetic extremity system in sport medicine and rehab practice. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice). 2020;10(2):65-72(In Russ.) DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.65

### 1. Введение

Современный спорт высоких достижений – это не только скорости, рекорды и победы, это еще и высокий уровень травматизма. Например, среди профессиональных баскетболистов травмы нижних конечностей составляют 63,7% всех травм, причем на долю коленного сустава приходится 21,9% [1], а травмы, связанные с повреждением мышц голени и связок голеностопного сустава, составляют 21,2% [2]. Статистика травм среди футболистов Eredivision (профессиональная футбольная лига Голландии), проведенная в сезоне 2010-2011 годов выявила уровень травматизма в 67%, из них более трети – это травмы нижних конечностей [3]. Уровень травматизма среди профессиональных бегунов на средние и длинные дистанции колеблется от 19,4 до 79,3% [4]. 75,9% профессиональных теннисистов хотя бы раз за свою карьеру получали травму опорно-двигательного аппарата. [5]. Факторы, ведущие к травмам, могут быть как внешние (уровень тренировочной нагрузки, игровые столкновения, состояние тренировочной поверхности, время года), так и внутренние (возраст спортсмена, перенесенные травмы в прошлом, биомеханика суставов и пр.)

Учитывая высокую коммерциализацию спорта, особенно игровых видов, экономические и конкурентные последствия отсутствия из-за травмы даже одного ключевого игрока в команде, перед медицинским штабом команды стоит важная задача по скорейшему возвращению в строй спортсмена, которую необходимо решать, используя все имеющиеся в его распоряжении методы и средства. Одним из таких методов является изокинетический тренажер (ИКТ).

### 2. История метода

Впервые механизм для определения силы концентрического мышечного сокращения был представлен в 1950 году. Непосредственно сам тренажер был сконструирован и запатентован в 1974 году компанией Cybex (США). В 1981 году была представлена новая модель Cybex II с возможностью печати результатов исследования для дальнейшего анализа. Компьютерное обеспечение для этой системы было разработано компанией Computer Sports Medicine International (CSMi). В 1982 году компания Chattenx представила тренажер Kin-Com с возможностью выполнения и контроля эксцентрического мышечного сокращения, а в 1989 году она же выпустила тренажер с креслом, раскладывающимся в горизонтальную плоскость и мобильным динамометром, что стало золотым стандартом для изокинетических тренажеров в дальнейшем. В 1992 году компанией Cybex был представлен тренажер Cybex 6000 с системой непрерывного пассивного движения, а в 1995 году был представлен тренажер CybexNorm, с одиночным креслом, мобильным динамометром и встроенной компьютерной системой, который сохраняет свой дизайн до настоящего времени, лишь изменяя программное обеспечение. В 2000 году

компания Biodex (США) представила двухместный тренажер с возможностью ограничения объема движений, что значительно повысило безопасность исследования. На сегодняшний день основными компаниями-производителями ИКТ являются Cybex (HumacNorm, USA), Biodex (Biodex 4, USA), Kin-Com (125AP, USA), IsoMed (IsoMed 2000, Germany).

Изокинетический динамометр может быть использован для измерения трехвидов мышечных сокращений – изометрических, эксцентрических изокинетических и концентрических изокинетических сокращений. В течение изометрического сокращения резистивный динамометрический моментравняется мышечному крутящему моменту, таким образом не происходит движения сустава, и вся длина мышц остается постоянной. Во время концентрического изокинетического сокращения активные мышечные группы сокращаются; во время эксцентрического изокинетического сокращения активные мышечные группы удлиняются, при этом в обоих типах сокращения коленный сустав движется с постоянной угловой скоростью.

За последнее десятилетие опубликовано большое количество работ, посвященных использованию ИКТ. Все эти работы условно можно разделить на несколько групп.

### 3. Современное состояние вопроса

Первая группа – это работы, в которых сравнивается влияние различных видов тренировочной нагрузки на определенные группы мышц и определяется их эффективность.

Cannell et al. (2001) выполнили 12-ти недельное исследование по сравнению эффективности снижения болевого синдрома двух тренировочных протоколов пациентам с коленом прыгуна. Первый протокол был основан на выполнении глубоких приседов, второй на выполнении сгибания-разгибания колена на ИКТ [6]. В результате было выявлено, что эти два протокола примерно одинаковы эффективны в вопросе снижения болевого синдрома и возвращения в спорт, но более целесообразным было бы использовать их в комплексной терапии. Gogucu и Токау в своей работе проводили сравнение эффективности трех типов тренировок (силовая, кардиотренировка и плиометрическая тренировка) на рост силы мышц передней и задней поверхности бедра [7]. Силовая тренировка проводилась с использованием ИКТ Cybex 6000. Результатом работы был вывод о значительной эффективности силовой тренировки на ИКТ по сравнению с другими типами тренировок. Brito et al. (2014) в клинике Aspetar (Доха) исследовали влияние плиометрических упражнений на силу мышц, а также скорость и высоту прыжка, при этом сила мышц оценивалась с помощью ИКТ. Они отметили незначительный прирост силы в группе, в которой применялись плиометрические упражнения, что, впрочем, не доказывает прямую связь и не является достоверным ввиду малого

количества испытуемых [8]. Группа авторов во главе с Vinicius Jardim Oliano (2017) проводила исследование, в ходе которого выявила положительное влияние применения программы FIFA11+ (комплекс из 11 упражнений, рекомендованный международной федерацией футбола, как профилактика травм) на силу мышц, пиковую мощность и соотношение квадрицепс/бицепс бедра [9]. Rinaldo et al. (2018) определили, в том числе и с помощью ИКТ, что тренировочная программа, состоящая из трех серий повторений, ненамного эффективней программы из одной серии [10]. Hall et al. (2018) изучили влияние силовой тренировки и проприцептивной тренировки пациентов с хронической нестабильностью голеностопного сустава. Силовая работа в концентрическом и эксцентрическом режимах выполнялась на ИКТ «HumacNorm». В результате было выявлено значительное уменьшение симптомов нестабильности при проведении 20-минутной тренировки, 3 раза в неделю, на протяжении 6 недель [11]. Núñez с коллегами (2018) сравнивали эффективность эксцентрической тренировки спортсменов в двух группах – выполнявших присед и выпад назад, на силу мышц и выносливость. Ими был сделан вывод о росте силы в обеих группах, также, как и отсутствие эффекта на рост выносливости [12].

Вторая группа публикаций – анализ результатов тестирования значительной выборки спортсменов одного вида спорта, с целью определения нормативных значений для тех или иных мышечных групп, а также сравнения результатов тестирования спортсменов различных видов спорта. Сюда же можно отнести работы по определению надежности техники изометрического тестирования. В частности, Risberg et al. (2018), выполнили работу по сравнению силы мышц передней и задней поверхностей бедра, а также их соотношения у профессиональных гандболисток [13]. Zvijac et al. (2014) провели исследование по определению нормативной базы показателей мышечной силы передней и задней поверхностей бедра у молодых профессиональных игроков в американский футбол [14]. Maly et al. (2019) провели работу по сравнению максимальной мощности работы мышц-разгибателей и мышц-сгибателей, а также соотношения этих мышц у представителей футбола, флорбола и людей, не занимающихся спортом. В результате было выявлено доминирование спортсменов-футболистов практически во всех показателях [15]. Costa Silva et al. (2015) проанализировал уровень двусторонней асимметрии и мышечного дисбаланса у футболистов разного амплуа (защитники, полузащитники, нападающие) в возрасте до 20 лет. Не считая статистически незначимых различий в силе мышц-разгибателей коленного сустава у защитников, выявить взаимосвязь между позицией на футбольном поле и показателями силы и мощности мышц не удалось [16]. Ana Rodrigues et al. (2017) в своей работе проводили исследование соотношения мышц антагонистов бедра на различных углах сгибания у профессиональных игроков в футбол (женщины). Получен-

ные результаты показали соотношение агонистов-антагонистов бедра на уровне 60%, что свидетельствует о мышечном дисбалансе, который исследователи связывают со спецификой данного вида спорта [17]. Struzik и Pietraszewski (2019) проанализировали связь между соотношением мышц передней и задней групп бедра и результатами дроп-теста на разных высотах. Было выявлено, что на высотах 45 и 60 сантиметров нет значимой взаимосвязи, а мощность прыжков на высотах 15 и 30 сантиметров прямо пропорциональна индексу соотношения Q:H [18]. Группа исследователей во главе с Törpel (2017) провели работу по определению достоверности исследований силы мышц сгибателей и разгибателей коленного и локтевого суставов, при работе с ИКТ VTE Primus RS [19], а Habets et al. (2018) коленного и плечевого суставов [20]. В ходе этих работ было отмечено, что самый высокий уровень достоверности полученных результатов при работе с плечевым суставом, а самая низкая – с коленным. D'Alessandro et al. (2005) в своей работе определяли является ли «хоп-тест» альтернативой тестированию на ИКТ в вопросе функционального состояния мышц и пришел к выводу, что нет никакой взаимосвязи в показателях силового и прыжкового тестов [21]. Оценку надежности изокинетического тестирования у баскетболистов-юниоров проводили Carvalho et al. (2011). В ходе работы были сформированы выводы о более высокой достоверности результатов при проведении ИКТ с предварительной ознакомительной сессией [22]. McQuoid et al. (2007) выполнили исследование по определению погрешности в результатах измерений при тестировании мышц бедренного, коленного и голеностопного суставов на обеих конечностях. Была выявлена высокая достоверность результатов во всех мышечных группах, в большей степени на доминирующей ноге [23]. Bergamin et al. (2017) в своей работе сделал упор на достоверность не только ИКТ, но и изометрического тестов, при тестировании пожилых людей. Была доказана высокая достоверность обоих тестов, как среди мужчин, так и среди женщин [24]. Hussain et al. (20016) проводили исследования, основными целями которого было создание нормативной базы силы мышц, участвующих в подошвенном и тыльном сгибании стопы у здоровых мужчин и женщин [25]. Abrams et al. (2014) в своей работе изучали уровень нейромышечного контроля после пластики ПКС в зависимости от типа аутографта. В результате они пришли к выводу, что наиболее приближенным к дооперационному состоянию по степени нейромышечного контроля является группа с аутографтом из мышц задней поверхности бедра [26]. Pontaga и Zidens (2014) опубликовали работу в которой искали связь между асимметрией силовых показателей мышц доминантной и недоминантной руки у профессиональных гандболисток. Была отмечена положительная корреляция между большей изокинетической силой мышц внутренних вращателей плеча и силой броска доминантной рукой по сравнению с недоминантной [27]. Hwai-Ting

Lin с коллегами (2015) исследовали изменения в силовом соотношении мышц агонистов-антагонистов плеча, сравнивая игроков в бейсбол с простыми участниками исследования. У профессиональных бейсболистов была отмечена значимая нагрузка на плечевой сустав, особенно на определенные группы мышц, в ущерб другим мышечным группам, что может приводить к риску травматизма плечевого сустава, по сравнению с контрольной группой [28]. Zabka (2011) в составе научной группы составили нормативную базу игроков футбольного клуба, используя такие показатели как максимальная мощность, средняя работа и средняя мощность [29]. Whinton et al. (2018) сравнили результаты изокинетического тестирования на двух ИКТ с результатами полученными на ИКТ Humac Norm, признанным «золотым стандартом» тестирования, в режиме слепого тестирования и выяснили, что ИКТ 1080 Quantum максимально приближен по точности результатов [30]. Группа ученых под руководством Kocahan (2018) выявили значимое влияние силы мышц туловища на силу мышц верхних и нижних конечностей [31].

Третья группа – работы по использованию ИКТ в программах реабилитации после операций либо при различных патологиях ОДА. Yong-Nao Pua et al. (2008) из университета Сиднея представили достаточно фундаментальную работу о важности использования ИКТ в программе реабилитации после пластики ПКС для контроля дефицита мышечной силы с последующей коррективной реабилитационной программы. Однако при этом они призывают основываться не только на результаты изокинетического тестирования, но и использовать другие методы диагностики [32]. Portes et al. (2007) сравнили максимальную мощность работы и соотношение силы мышц передней и задней поверхностей бедра у бегунов-стайеров с нестабильностью коленного сустава (слабость передней крестообразной связки) и здоровых спортсменов [33]. В ходе проведенной работы было выявлено отсутствие влияния слабой крестообразной связки на максимальную силу мышц или соотношение мышц передней и задней поверхности бедра. Sueyoshi et al. (2017) изучили корреляцию между прыжковым и изокинетическим тестом и выявили ее высокую степень. Кроме того, ими было выявлено отсутствие связи между силой мышц и результатами прыжкового теста у пациентов с различными типами трансплантата ПКС [34]. Johnson et al. проводили исследования среди пациентов, перенесших пластику передней крестообразной связки для оценки влияния нейромышечных факторов на асимметрию мышц квадрицепса бедра. Среди критериев оценки, в том числе, была сила мышц разгибателей колена, которая оценивалась с помощью ИКТ. Результаты, полученные этой рабочей группой, свидетельствуют о наличии структурных, функциональных и физических нарушений, даже на поздних этапах реабилитации [35]. Thomas et al. (2013) использовали ИКТ для выполнения работы в группе пациентов, перенесших пластику ПКС.

Ими были протестированы все группы мышц нижней конечности и сделан вывод о значимом различии в силе мышц и пиковой мощности между здоровой и оперированной конечностями, особенно в мышцах голени [36]. David et al. (2013) проводили изолированное изокинетическое тестирование мышц вращателей стопы среди пациентов с хронической нестабильностью голеностопного сустава. Ими было выявлено значительно более выраженные различия между силой мышц (в соотношении инверсия/эверсия) на ноге с нестабильностью голеностопного сустава, по сравнению со здоровой ногой. В то же время соотношение мышц сгибателей-разгибателей стопы были в пределах нормы, на основании чего был сделан вывод о большом значении мышц, отвечающих за внутреннее и наружное сгибание для стабильности сустава [37]. Arslan et al. (2014) с помощью ИКТ провели работу по анализу функционального состояния голеностопного сустава у пациентов, перенесших оперативное вмешательство открытым доступом при разрыве ахиллова сухожилия, с ранней послеоперационной мобилизацией, спустя два года после операции. Было выявлено, что в случае проведения данной операции и реабилитации по программе ранней мобилизации сустава не определяется разница в силе мышц голени при плантарной флексии и дорсофлексии [38]. Worms et al. (2016) изучили взаимосвязь между изокинетическим тестированием и Y-balance тестом у непрофессиональных спортсменов. Ими была доказана отсутствие связи между результатами этих тестов [39]. В то же время Myers et al. (2018) в своей работе определили низкую корреляцию между показателями ИКТ и результатами Y-balance теста у спортсменов-профессионалов после пластики передней крестообразной связки, но не исключили возможности использования данных тестов в комплексе, для принятия решения о возвращении в спорт [40]. Lepley и Palmieri-Smith (2016) в своей работе исследовали влияние соотношения силы мышц бедра до и после пластики передней крестообразной связки и пришли к выводу, что есть прямая связь между силовыми показателями до и после операции [41]. Shambaugh et al. (2017) использовали ИКТ в своей работе по сравнению сроков восстановления после оперативного и консервативного лечения разрывов проксимального отдела двуглавой мышцы бедра [42]. Maffiuletti с коллегами (2007) исследовали воспроизводимость результатов тестирования силы мышц сгибателей-разгибателей бедра на ИКТ Con-Trex [43]. Abdelmohsen (2019) сравнивал силу мышц бедра доминантной и недоминантной конечности и не нашел статистически значимых различий [44].

Четвертая группа – исследования, которые носят, в большей степени, прикладной характер. Maly (2015) выполнил исследование по определению различий в силе мышц бедра левой и правой конечностей у 13-летних подростков, не занимающихся спортом, с использованием Cybex Humac Norm и пришел к выводу, что нет значимых различий, как между мышцами

передней, так и задней поверхности бедра [45]. Hong et al. (2016) изучали влияние кинезиотейпирования на изменение мышечной функции у пациентов с травмой коленного сустава. Было определено значимое различие в пиковой мощности и общем объеме работы при сгибании после применения кинезиотейпирования, что может свидетельствовать об улучшении нейромышечного контроля после применения кинезиотейпирования [46]. Группа ученых во главе с Dauty исследовали (2016) группу профессиональных футболистов на предмет прогнозирования травм мышц задней поверхности бедра на основании результатов изокинетического тестирования. Ими были изучены результаты 350 тестов и проведено сравнение с уровнем травматизма мышц задней поверхности бедра. Был сделан вывод, что изокинетическое соотношение квадрицепс/бицепс бедра может быть с достаточно высокой степенью точности использован для прогнозирования риска травматизации в соревновательный период [47]. Nakamura et al. (2014) в своей работе о влиянии активной растяжки на

силу мышц, доказали, что мышечные группы, которые перед исследованием подвергались растяжке демонстрировали меньшую силу по сравнению с интактными мышцами [48]. Wang и его коллеги (2016) доказали высокую корреляцию между силой квадрицепса, соотношением силы мышц квадрицепс/хамстринг и динамическим и статическим балансом на разных углах сгиба коленного сустава [49].

#### 4. Вывод

Данная работа позволяет сделать вывод о достаточно широком спектре применения изокинетического тренажера (ИКТ) как в теоретической, так и практической медицине. И, несмотря на некоторые минусы тренажера (высокая стоимость, необходимость проведения качественного и глубокого обучения персонала, различные результаты тестирования в зависимости от модели), при его наличии врач получает мощнейший инструмент в своей работе, который позволяет вывести ее на новый качественный уровень.

#### Список литературы

1. Andreoli CV, Chiaramonti BC, Buriel E, Pochini AC, Ejnisman B, Cohen M. Epidemiology of sports injuries in basketball: integrative systematic review // *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2018.Vol.4, №1. e000468.
2. Rodas G, Bove T, Caparrós T, Langohr K, Medina D, Hamilton B, Sugimoto D, Casals M. Ankle Sprain Versus Muscle Strain Injury in Professional Men's Basketball: A 9-Year Prospective Follow-up Study // *Orthop J Sports Med.* 2019.Vol.7, №6. 2325967119849035
3. Stubbe JH, van Beijsterveldt AM, van der Knaap S, Stege J, Verhagen EA, van Mechelen W, Backx FJG. Injuries in professional male soccer players in the Netherlands: a prospective cohort study // *J Athl Train.* 2015.Vol.50, №2. P.211-216.
4. Van Gent RN, Siem D, van Middelkoop M, van Os AG, Bierma-Zeinstra SM, Koes BW. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review // *Br J Sports Med.* 2007. Vol.41, №8. P.469-480.
5. Humphrey JA, Humphrey PP, Greenwood AS, Anderson JL, Markus HS, Ajuied A. Musculoskeletal injuries in real tennis // *Open Access J Sports Med.* 2019.Vol.23, №10. P.81-86.
6. Cannell LJ, Taunton JE, Clement DB, Smith C, Khan KM. A randomized clinical trial of the efficacy of drop squats or leg extension/leg curl exercises to treat clinically diagnosed jumper's knee in athletes // *Br J Sports Med.* 2001. Vol.35, №1.P.60-64.
7. Gorucu A, Tokay B. The effect of different type of exercises on the isokinetic strength of quadriceps and hamstring muscles // *Turk J Sport Exe.* 2017.Vol.19, №1. P.31-38.
8. Brito J, Vasconcellos F, Oliveira J, Krustup P, Rebelo A. Short-term performance effects of three different low-volume strength-training programmes in college male soccer players // *J Hum Kinet.* 2014.Vol.40. P.121-128.
9. Oliano VJ, Teixeira LP, Lara S, Balk RS, Fagundes SG. Effect of FIFA 11+ in addition to conventional handball training on balance and isokinetic strength // *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum.* 2017. Vol.19, №4. P.406-415.

#### References

1. Andreoli CV, Chiaramonti BC, Buriel E, Pochini AC, Ejnisman B, Cohen M. Epidemiology of sports injuries in basketball: integrative systematic review. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2018;4(1):e000468
2. Rodas G, Bove T, Caparrós T, Langohr K, Medina D, Hamilton B, Sugimoto D, Casals M. Ankle Sprain Versus Muscle Strain Injury in Professional Men's Basketball: A 9-Year Prospective Follow-up Study. *Orthop J Sports Med.* 2019;7(6):2325967119849035.
3. Stubbe JH, van Beijsterveldt AM, van der Knaap S, Stege J, Verhagen EA, van Mechelen W, Backx FJG. Injuries in professional male soccer players in the Netherlands: a prospective cohort study. *J Athl Train.* 2015;50(2):211-216.
4. Van Gent RN, Siem D, van Middelkoop M, van Os AG, Bierma-Zeinstra SM, Koes BW. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review. *Br J Sports Med.* 2007;41(8):469-480.
5. Humphrey JA, Humphrey PP, Greenwood AS, Anderson JL, Markus HS, Ajuied A. Musculoskeletal injuries in real tennis. *Open Access J Sports Med.* 2019;23(10):81-86.
6. Cannell LJ, Taunton JE, Clement DB, Smith C, Khan KM. A randomized clinical trial of the efficacy of drop squats or leg extension/leg curl exercises to treat clinically diagnosed jumper's knee in athletes. *Br J Sports Med.* 2001;35(1):60-64.
7. Gorucu A, Tokay B. The effect of different type of exercises on the isokinetic strength of quadriceps and hamstring muscles. *Turk J Sport Exe.* 2017;19(1):31-38.
8. Brito J, Vasconcellos F, Oliveira J, Krustup P, Rebelo A. Short-term performance effects of three different low-volume strength-training programmes in college male soccer players. *J Hum Kinet.* 2014;40:121-128.
9. Oliano VJ, Teixeira LP, Lara S, Balk RS, Fagundes SG. Effect of FIFA 11+ in addition to conventional handball training on balance and isokinetic strength. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum.* 2017;19(4):406-415.

10. **Rinaldo M A, Jacinto JL, Pacagnelli FL, Shigaki L, Ribeiro AS, Balvedi MCW, Altimari LR, da Silva DK, de Andrade WB, da Silva RA, Aguiar AF.** Effects of training volume on lower-body muscle strength in untrained young men: a contralateral control study // *Journal of Physical Education*. 2018. Vol.24, №3. e008318.
11. **Hall EA, Chomistek AK, Kingma JJ, Docherty CL.** Balance and Strength Training Protocols to Improve Chronic Ankle Instability Deficits, Part I: Assessing Clinical Outcome Measures // *J Athl Train*. 2018. Vol.53, №6. P.568-577.
12. **Núñez FJ, Santalla A, Carrasquilla I, Asian JA, Reina JI.** The effects of unilateral and bilateral eccentric overload training on hypertrophy, muscle power and COD performance, and its determinants, in team sport players // *PLoS One*. 2018. Vol.13, №3. e0193841.
13. **Risberg MA, Steffen K, Nilstad A, Myklebust G, Kristianslud E, Moltubakk MM, Krosshaug T.** Normative quadriceps and hamstring muscle strength values for female, healthy, elite handball and football players // *J Strength Cond Res*. 2018. Vol.32, №8. P.2314-2323.
14. **Zvijac JE, Toriscelli TA, Merrick WS, Papp DF, Kiebzak GM.** Isokinetic concentric quadriceps and hamstring normative data for elite collegiate American football players participating in the NFL Scouting Combine // *J Strength Cond Res*. 2014. Vol.28, №4. P.875-883.
15. **Maly T, Mala L, Bujnovsky D, Hank M, Zahalka F.** Morphological and Isokinetic Strength Differences: Bilateral and Ipsilateral Variation by Different Sport Activity // *Open Med (Wars)*. 2019. Vol.14. P.207-216.
16. **Costa Silva JR, Daniele D, Juliano Dal P, de la Rocha FC.** Bilateral asymmetry of knee and ankle isokinetic torque in soccer player's U20 category // *Rev Bras Cineantropom Des Hum*. 2015. Vol.17, №2. P.195-204.
17. **Rodrigues AC, Vieira NA, Marche AL, Santana JE, Vaz MA, Cunha SA.** Knee isokinetic torque imbalance in female futsal players // *Rev Bras Med Esporte*. 2017. Vol.23, №5. P.352-356.
18. **Struzik A, Pietraszewski B.** Relationships between Hamstrings-to-Quadriceps Ratio and Variables Describing Countermovement and Drop Jumps // *Appl Bionics Biomech*. 2019:4505481
19. **Törpel A, Becker T, Thiers A, Hamacher D, Schega L.** Intersession Reliability of Isokinetic Strength Testing in Knee and Elbow Extension and Flexion Using the BTE PrimusRS // *J Sport Rehabil*. 2017. Vol.26, №4. P.1-14.
20. **Habets B, Staal JB, Tijssen M, van Cingel R.** Intrarater reliability of the Humac NORM isokinetic dynamometer for strength measurements of the knee and shoulder muscles // *BMC Res Notes*. 2018. Vol.11, №1. P.15.
21. **D'Alessandro RL, Silveira EA, dos Anjos MT, da Silva AA, da Fonseca ST.** Analysis on the association between isokinetic dynamometry of the knee's articulation and one-leg horizontal jump, hop test, in volleyball athletes // *Rev Bras Med Esporte*. 2005. Vol.11, №5. P.271-275.
22. **Carvalho HM, Silva MJ, Ronque ER, Gonçalves RS, Philippaerts RM, Malina RM.** Assessment of reliability in isokinetic testing among adolescent basketball players // *Medicina (Kaunas)*. 2011. Vol.47, №8. P.446-452.
23. **McQuoid KA, Edmonds J, MacPhail C, McGibbon C.** Reliability of Lower-Extremity Dynamometry Testing of the Ankle, Knee and Hip // *Med Sci Sports Exe*. 2007. Vol.39, №5. P.257.
10. **Rinaldo M A, Jacinto JL, Pacagnelli FL, Shigaki L, Ribeiro AS, Balvedi MCW, Altimari LR, da Silva DK, de Andrade WB, da Silva RA, Aguiar AF.** Effects of training volume on lower-body muscle strength in untrained young men: a contralateral control study. *Journal of Physical Education*. 2018;24(3):e008318.
11. **Hall EA, Chomistek AK, Kingma JJ, Docherty CL.** Balance- and Strength-Training Protocols to Improve Chronic Ankle Instability Deficits, Part I: Assessing Clinical Outcome Measures. *J Athl Train*. 2018;53(6):568-577.
12. **Núñez FJ, Santalla A, Carrasquilla I, Asian JA, Reina JI.** The effects of unilateral and bilateral eccentric overload training on hypertrophy, muscle power and COD performance, and its determinants, in team sport players. *PLoS One*. 2018;13(3):e0193841.
13. **Risberg MA, Steffen K, Nilstad A, Myklebust G, Kristianslud E, Moltubakk MM, Krosshaug T.** Normative quadriceps and hamstring muscle strength values for female, healthy, elite handball and football players. *J Strength Cond Res*. 2018;32(8):2314-2323.
14. **Zvijac JE, Toriscelli TA, Merrick WS, Papp DF, Kiebzak GM.** Isokinetic concentric quadriceps and hamstring normative data for elite collegiate American football players participating in the NFL Scouting Combine. *J Strength Cond Res*. 2014;28(4):875-883.
15. **Maly T, Mala L, Bujnovsky D, Hank M, Zahalka F.** Morphological and Isokinetic Strength Differences: Bilateral and Ipsilateral Variation by Different Sport Activity. *Open Med (Wars)*. 2019;14:207-216.
16. **Costa Silva JR, Daniele D, Juliano Dal P, de la Rocha FC.** Bilateral asymmetry of knee and ankle isokinetic torque in soccer player's U20 category. *Rev Bras Cineantropom Des Hum*. 2015;17(2):195-204.
17. **Rodrigues AC, Vieira NA, Marche AL, Santana JE, Vaz MA, Cunha SA.** Knee isokinetic torque imbalance in female futsal players. *Rev Bras Med Esporte*. 2017;23(5):352-356.
18. **Struzik A, Pietraszewski B.** Relationships between Hamstrings-to-Quadriceps Ratio and Variables Describing Countermovement and Drop Jumps. *Appl Bionics Biomech*. 2019:4505481.
19. **Törpel A, Becker T, Thiers A, Hamacher D, Schega L.** Intersession Reliability of Isokinetic Strength Testing in Knee and Elbow Extension and Flexion Using the BTE PrimusRS. *J Sport Rehabil*. 2017;26(4):1-14.
20. **Habets B, Staal JB, Tijssen M, van Cingel R.** Intrarater reliability of the Humac NORM isokinetic dynamometer for strength measurements of the knee and shoulder muscles. *BMC Res Notes*. 2018;11(1):15.
21. **D'Alessandro RL, Paolinelli SEA, dos Anjos MT, da Silva AA, da Fonseca ST.** Analysis on the association between isokinetic dynamometry of the knee's articulation and one-leg horizontal jump, hop test, in volleyball athletes. *Rev Bras Med Esporte*. 2005;11(5):271-275.
22. **Carvalho HM, Silva MJ, Ronque ER, Gonçalves RS, Philippaerts RM, Malina RM.** Assessment of reliability in isokinetic testing among adolescent basketball players. *Medicina (Kaunas)*. 2011;47(8):446-52.
23. **McQuoid KA, Edmonds JB, MacPhail CM, McGibbon CA.** Reliability of Lower-Extremity Dynamometry Testing of the Ankle, Knee and Hip. *Med Sci Sports Exe*. 2007;39(1):257.

24. **Bergamin M, Gobbo S, Bullo V, Vendramin B, Duregon F, Frizziero A, Di Blasio A, Cugusi L, Zaccaria M, Ermolao A.** Reliability of a device for the knee and ankle isometric and isokinetic strength testing in older adults // *Muscles Ligaments Tendons J.* 2017. Vol.7, №2. P.323-330.
25. **Hussain SJ, Frey-Law L.** 3D strength surfaces for ankle plantar- and dorsi-flexion in healthy adults: an isometric and isokinetic dynamometry study // *J Foot Ankle Res.* 2016. Vol.9. P.43.
26. **Abrams GD, Harris JD, Gupta AK, McCormick FM, Bush-Joseph CA, Verma N, Cole B, Bach B.** Functional Performance Testing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction A Systematic Review // *Orthop J Sports Med.* 2014. Vol.2, №1. 2325967113518305.
27. **Pontaga I, Zidens J.** Shoulder rotator muscle dynamometry characteristics: side asymmetry and correlations with ball-throwing speed in adolescent handball players // *J Hum Kinet.* 2014. Vol.42. P.41-50.
28. **Lin HT, Ko HT, Lee KC, Chen YC, Wang DC.** The changes in shoulder rotation strength ratio for various shoulder positions and speeds in the scapular plane between baseball players and non-players // *J Phys Ther Sci.* 2015. Vol.27, №5. P.1559-1563.
29. **Zabka FF, Valente HG, Pacheco AM.** Isokinetic Evaluation of Knee Extensor and Flexor Muscles in Professional Soccer Players // *Rev Bras Med Esporte.* 2011. Vol.17, №3. P.189-192.
30. **Whinton AK, Thompson KMA, Power GA, Burr JF.** Testing a novel isokinetic dynamometer constructed using a 1080 Quantum // *PLoS One.* 2018. Vol.13, №7. e0201179.
31. **Kocahan T, Akinoğlu B.** Determination of the relationship between core endurance and isokinetic muscle strength of elite athletes // *J Exerc Rehabil.* 2018. Vol.14, №3. P.413-418.
32. **Pua YH, Bryant AL, Steele JR, Newton RU, Wrigley TW.** Isokinetic Dynamometry in Anterior Cruciate Ligament Injury and Reconstruction // *Ann Acad Med Singapore.* 2008. Vol.37, №4. P.330-340.
33. **Portes EM, Portes LA, Botelho VG, Souza Pinto Sd.** Isokinetic torque peak and hamstrings/quadriceps ratios in endurance athletes with anterior cruciate ligament laxity // *Clinics.* 2007. Vol.62, №2. P.127-132.
34. **Sueyoshi T, Nakahata A, Emoto G, Yuasa T.** Single-Leg Hop Test Performance and Isokinetic Knee Strength After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Athletes // *Orthop J Sports Med.* 2017. Vol.5, №11. 2325967117739811.
35. **Johnson AK, Palmieri-Smith RM, Lepley LK.** Contribution of Neuromuscular Factors to Quadriceps Asymmetry After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction // *J Athl Train.* 2018. Vol.53, №4. P.347-354.
36. **Thomas AC, Villwock M, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM.** Lower Extremity Muscle Strength After Anterior Cruciate Ligament Injury and Reconstruction // *J Athl Train.* 2013. Vol.48, №5. P.610-620.
37. **David P, Halimi M, Mora I, Doutrelot PL, Petitjean M.** Isokinetic testing of evertor and invertor muscles in patients with chronic ankle instability // *J Appl Biomech.* 2013. Vol.29, №6. P.696-704.
38. **Arslan A, Çepni SK, Sahinkaya T, May C, Mutlu H.** Functional outcomes of repair of Achilles tendon using a biological open surgical method // *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2014. Vol.48, №5. P.563-569.
39. **Borms D, Maenhout A, Cools AM.** Upper Quadrant Field Tests and Isokinetic Upper Limb Strength in Overhead Athletes // *J Athl Train.* 2016. Vol.51, №10. P.789-796.
40. **Myers H, Christopherson Z, Butler RJ.** Relationship between the lower quarter y-balance test scores and isokinetic

strength testing in patient's status post ACL reconstruction // Int J Sports Phys Ther. 2018. Vol.13, №2. P.152-159.

41. **Lepley LK, Palmieri-Smith RM.** Pre-operative quadriceps activation is related to post-operative activation, not strength, in patients post-ACL reconstruction // Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2016. Vol.24, №1. P.236-246.

42. **Shambaugh DC, Olsen JR, Lacerte E, Kellum E, Miller SL.** A Comparison of Nonoperative and Operative Treatment of Complete Proximal Hamstring Ruptures // Orthop J Sports Med. 2017. Vol.5, №11. 2325967117738551.

43. **Maffiuletti NA, Bizzini M, Desbrosses K, Babault K, Munzinger U.** Reliability of knee extension and flexion measurements using the ConTrex isokinetic dynamometer // Clinical physiology and functional imaging. 2007. Vol.27, №6. P.346-353.

44. **Abdelmohsen AM.** Leg Dominance Effect on Isokinetic Muscle Strength of Hip Joint // J Chiropr Med. 2019. Vol.18, №1. P.27-32.

45. **Maly T, Zahalka F, Mala L, Cech P.** The bilateral strength and power asymmetries in untrained boys // Open Med (Wars). 2015. Vol.10, №1. P.224-232.

46. **Hong SK, Shim JM, Kim SJ, Namkoong S, Roh HL.** Effect of kinesio taping on the isokinetic muscle function in football athletes with a knee injury // J Phys Ther Sci. 2016. Vol. 28. P.218-222.

47. **Dauty M, Menu P, Fouasson-Chailloux A, Ferréol S, Dubois C.** Prediction of hamstring injury in professional soccer players by isokinetic measurements // Muscles Ligaments Tendons J. 2016. Vol.6, №1. P.116-23.

48. **Nakamura K, Kodama T, Mukaino Y.** Effects of Active Individual Muscle Stretching on Muscle Function // J Phys Ther Sci. 2014. Vol.26, №3. P.341-344.

49. **Wang H, Ji Z, Jiang G, Liu W, Jiao X.** Correlation among proprioception, muscle strength, and balance // J Phys Ther Sci. 2016. Vol.28, №12. P.3468-3472.

strength testing in patient's status post ACL reconstruction. Int J Sports Phys Ther. 2018;13(2):152-159.

41. **Lepley LK, Palmieri-Smith RM.** Pre-operative quadriceps activation is related to post-operative activation, not strength, in patients post-ACL reconstruction. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2016;24(1):236-246.

42. **Shambaugh DC, Olsen JR, Lacerte E, Kellum E, Miller SL.** A Comparison of Nonoperative and Operative Treatment of Complete Proximal Hamstring Ruptures. Orthop J Sports Med. 2017;5(11):2325967117738551.

43. **Maffiuletti NA, Bizzini M, Desbrosses K, Babault K, Munzinger U.** Reliability of knee extension and flexion measurements using the ConTrex isokinetic dynamometer. Clinical physiology and functional imaging. 2007;27(6):346-353.

44. **Abdelmohsen AM.** Leg Dominance Effect on Isokinetic Muscle Strength of Hip Joint. J Chiropr Med. 2019;18(1):27-32.

45. **Maly T, Zahalka F, Mala L, Cech P.** The bilateral strength and power asymmetries in untrained boys. Open Med (Wars). 2015;10(1):224-232.

46. **Hong SK, Shim JM, Kim SJ, Namkoong S, Roh HL.** Effect of kinesio taping on the isokinetic muscle function in football athletes with a knee injury. J Phys Ther Sci. 2016;28:218-222.

47. **Dauty M, Menu P, Fouasson-Chailloux A, Ferréol S, Dubois C.** Prediction of hamstring injury in professional soccer players by isokinetic measurements. Muscles Ligaments Tendons J. 2016;6(1):116-23.

48. **Nakamura K, Kodama T, Mukaino Y.** Effects of Active Individual Muscle Stretching on Muscle Function. J Phys Ther Sci. 2014;26(3):341-344.

49. **Wang H, Ji Z, Jiang G, Liu W, Jiao X.** Correlation among proprioception, muscle strength, and balance. J Phys Ther Sci. 2016;28(12):3468-3472.

#### Информация об авторах:

**Плешков Павел Сергеевич**, врач-физиотерапевт основного состава команды ФК «Зенит». ORCIDID:0000-0002-0875-2165

**Хайтин Владимир Юрьевич**, аспирант кафедры физических методов лечения и спортивной медицины ФГБОУВО Первый СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова Минздрава России, врач по спортивной медицине основного состава команды ФК «Зенит». ORCID ID: 0000-0002-9154-5174 (+7(931)000-02-08, khaitinvladimir@gmail.com)

**Безуглов Эдуард Николаевич**, ассистент кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). ORCID ID: 0000-0003-3828-0506

**Матвеев Сергей Владимирович**, профессор кафедры физических методов лечения и спортивной медицины ФГБОУВО Первый СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова Минздрава России, д.м.н. ORCIDID: 0000-0001-5698-7850

#### Information about the authors:

**Pavel S. Pleshkov**, M.D., Physiotherapist of the FC «Zenit». ORCID ID: 0000-0002-0875-2165

**Vladimir Y. Khaitin**, M.D., Postgraduate Student of the Department of Physical Methods of Treatment and Sports Medicine of the Pavlov First Saint-Petersburg State Medical University, Sports Medicine Physician of the FC «Zenit». ORCID ID: 0000-0002-9154-5174 (+7(931)000-02-08, khaitinvladimir@gmail.com)

**Eduard N. Bezuglov**, M.D., Assistant Lecturer of the Department of Sport Medicine and Medical Rehabilitation of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University). ORCID ID: 0000-0003-3828-0506

**Sergey V. Matveev**, M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Professor of the Department of Physical Methods of Treatment and Sports Medicine of the Pavlov First Saint-Petersburg State Medical University. ORCID ID: 0000-0001-5698-7850

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

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

Поступила в редакцию: 01.12.2019

Принята к публикации: 05.02.2020

Received: 01 December 2019

Accepted: 05 February 2020



DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.73

УДК: 612.176.4:796.83

## Функциональная «стоимость» технико-тактической деятельности в футболе

*Д.В. Голубев, Ю.А. Щедрина*

*ФГБОУ ВО Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта, Министерство спорта РФ, Санкт-Петербург, Россия*

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** изучить объективные и субъективные параметры функциональной «стоимости» технико-тактической деятельности (TRIMP, усл. ед., RPE, балл) и сопоставить их с экспертной оценкой технико-тактической подготовленности юных футболистов-профессионалов (EXPERT, балл). **Материалы и методы:** Тестировали 30 обучающихся профессиональной футбольной академии (средний возраст – 16,4±1,2 лет), используя спортивную технологию PolarTeamPro фирмы Polar (Финляндия). Профессиональные футбольные тренеры (n=6, лицензия А-С) после каждой официальной игры выставляли экспертную оценку реализации технико-тактической подготовленности игроками в баллах от 1-10. **Результаты:** выявлена линейная взаимосвязь физиологического показателя «тренировочный импульс» (TRIMP) и экспертной оценки тренеров технико-тактической подготовленности. Установлено, что субъективная информация от спортсменов-игроков в виде метода RPE является удобным экспресс-методом получения обратной связи, однако не имеет высокой сопряженности с технико-тактической подготовленностью. Дисперсионный анализ установил снижение функциональных затрат в официальных матчах относительно тренировочных сессий. **Выводы:** сопряженное мониторирование субъективных (RPE) и объективных (TRIMP) параметров функциональной «стоимости» в практической деятельности наиболее эффективно.

**Ключевые слова:** футбол, мониторинг, сердечно-сосудистая система, TRIMP, RPE.

**Для цитирования:** Голубев Д.В., Щедрина Ю.А. Функциональная «стоимость» технико-тактической деятельности в футболе // Спортивная медицина: наука и практика. 2020. Т.10, №2. С.73-80. DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.73

## Functional «cost» of technical and tactical activities in football

*Denis V. Golubev, Julia A. Shchedrina*

*Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, Saint-Petersburg, Russia*

### ABSTRACT

**Objective:** to study the objective and subjective parameters of the functional “cost” of technical and tactical activities (TRIMP, standard units, RPE, score) and compare them with the expert assessment of technical and tactical readiness of young professional football players (EXPERT, score). **Materials and methods:** 30 students of the professional football academy (mean age 16.4±1.2 years) were tested with Polar Team Pro sports technology from Polar (Finland). The professional football coaches (n=6, license A-C) after each official game scored (from 1-10).an expert assessment of the implementation of the players technical and tactical readiness. **Results:** a linear relationship between the physiological indicator “training impulse” (TRIMP) and the expert assessment of coaches of technical and tactical readiness were found. Were revealed that RPE subjective information from athletes-players is a convenient express method of receiving feedback, but it does not demonstrate a high correlation with technical and tactical readiness. The variance analysis found a decrease in functional costs in official matches relative to training sessions. **Conclusion:** the combined monitoring of subjective (RPE) and objective (TRIMP) parameters of functional “cost” is the most effective in practice.

**Keywords:** football, monitoring, cardiovascular system, TRIMP, RPE.

**For citation:** Golubev DV, Shchedrina JA. Functional «cost» of technical and tactical activities in football. Sportivnaya meditsina: nauka I praktika (Sports medicine: research and practice). 2020;10(2):73-80(InRuss.). DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.73

**1. Введение**

Игровая деятельность в футболе представлена критическими действиями и нелинейными движениями: быть первым к мячу, создание/прекращение возможности забить гол, силовые единоборства при введении/отборе мяча и т.д. Данный технический уровень подготовленности футболистов реализуется в различных тактических моделях для эффективного развития спортсменов и достижения соревновательного результата. Однако, с точки зрения физической нагрузки данная деятельность несет существенные функциональные затраты [1-6].

Цель исследования: изучить объективные и субъективные параметры функциональной «стоимости» (TRIMP, усл. ед., RPE, балл) и сопоставить их с экспертной оценкой технико-тактической подготовленности юных футболистов-профессионалов

**2. Материалы и методы**

Анализировали соревновательный мезоцикл, состоящий из 6 микроциклов. Каждый микроцикл был представлен пятью тренировочными сессиями, официальным матчем и выходным днем. Тестировали 30 обучающихся профессиональной футбольной академии (средний возраст – 16,4±1,2 лет; средний рост – рост 176,3±4,2 см; средний вес – 70,9±3,2 кг), используя спортивную технологию PolarTeamPro фирмы Polar (Финляндия), которая включает: мониторы сердечного ритма с грудными ремнями, фиксируемыми в области грудной клетки, ДОК-станцию для быстрой синхронизации данных, приложение (PolarTeamProapp) и онлайн PolarTeam (Pro веб-сервис) (рис. 1).



Рис. 1. Спортивная технология PolarTeamPro  
 Fig. 1. Polar Team Pro sports technology

Регистрировали: модифицированный расчётный показатель «тренировочный импульс» (TRIMP – Training Impuls), предложенный Edvards [7], характеризующий функциональную «стоимость» технико-тактической деятельности. Данный параметр рассчитывается суммой продолжительности (минуты) физической нагрузки, проведенной в индивидуальных пульсовых зонах (50-60, 60-70, 70-80, 80-90 и 90-100%), умноженной на весовой коэффициент, распределенный по каждой зоне (1 = 50-

60%, 2 = 60-70%, 3 = 70-80%, 4 = 80-90% и 5 = 90-100%). Для определения субъективного ощущения тяжести физической нагрузки использовали методику Борга (Rating of Perceived Exertion Scale, Borg Scale®-RPE), предложенную профессором Стокгольмского университета Гуннаром Боргом (Gunnar Borg) [8]. Для экспресс-сбора данных методика была конвертирована в google форму (табл. 1).

Таблица 1

**Шкала Борга**

Table 1

**Borg Scale**

Баллы / Point	Степень нагрузки / Workload
0	Никаких усилий / Nothing at all
0,5	Чрезвычайно слабые / Extremely light
1	Очень слабые / Very light
2	Относительно слабые / Light
3	Умеренные / Moderate
4	Отчасти тяжелые / Somewhat hard
5-6	Тяжелые / Hard
7-9	Очень тяжелые / Very hard
10	Чрезвычайно тяжелые – на пределе возможностей / Very, very hard – Maximum exertion

Данные каждого игрока собирали через 30 минут после завершения каждой тренировочной сессии и официальных матчей (после 15-минутного восстановления и 10-15-минутного разбора игры с главным тренером). Период в 25-30 минут пассивного восстановления позволял при регистрации получить показатели, отражающие суммарные функциональные нагрузки за всю нагрузочную сессию.

Анкетирование проводили с целью оценки уровня технико-тактической подготовленности юных футболистов профессиональными футбольными тренерами (n – количество тренеров), имеющими лицензии Российского футбольного союза: «А» (n=2) – дает право работать в качестве футбольного тренера в клубах Российской Футбольной Премьер Лиги (РФПЛ), «В» (n=2) – дает право работать в качестве главного футбольного тренера в клубах 2-го дивизиона и дублирующих составов клубов РФПЛ; «С» (n=2) – дает право работать в качестве тренера по футболу в детско-юношеских командах, любительских клубах, в клубах 1 и 2 дивизионов и в молодежных составах клубов РФПЛ [9]. В зависимости от количества эффективно выполненных действий в одной сессии выставлялись баллы: 1-2 действия – «технический арсенал в игре низкий и нет понимания тактической модели», 3-4 – технико-тактическая составляющая «очень низкая», 5-6 баллов – «удовлетворительная», 7-8 – «хорошая», 9-10 – «отличная». Значения функциональной «стоимости» технико-тактической деятельности (TRIMP), субъек-

ективная оценка тяжести физической нагрузки (RPE) и экспертная оценка тренеров технико-тактической подготовленности футболистов (EXPERT) представлены в таблицах 2 и 3. Метод корреляционного анализа был реализован в рамках линейной модели. Результаты представлены средним арифметическим и стандартным отклонением (M±SD). Дисперсионный анализ был использован для выявления отличий между анализируемыми показателями в игре и тренировочных сессиях. Использовались статистические прикладные программы «STATISTICA 12.0» и «Microsoft Office Excel 2017».

### 3. Результаты и их обсуждения

Показатель «тренировочный импульс» (TRIMP, усл. ед.) является ведущим объективным маркером количественного измерения функциональной нагрузки в командных видах спорта [10]. Наше исследование выявило тесную связь TRIMP с экспертной оценкой деятельности юных футболистов на поле. Графический линейный тренд нарастает относительно каждой тренировки и максимально близок к модели технико-тактической подготовленности футболиста (рис. 2).

Показатели функциональной «стоимости» технико-тактической подготовленности (TRIMP, RPE) и экспертной оценки в тренировочных сессиях юных футболистов-профессионалов, (M±SD, n=30)  
Индикаторы функциональной «стоимости» технико-тактической подготовленности (TRIMP, RPE) и экспертной оценки в тренировочных сессиях юных профессиональных футболистов, (M±SD, n=30)

Таблица 2

Table 2

Номер тренировочной сессии / Training session number	TRIMP, усл.ед. / standart units	RPE, балл / point	EXPERT, балл / point
1	590,1±235,9*	5,5±3,6*	6±2*
2	729,3±230,2*	4±3,1	7,6±1,8*
3	589±235,4	4,1±3,8*	7,3±1,6*
4	561,5±175,2*	5,3±2,7	8,3±1,2
5	530,6±271,8	4,5±3,5*	8,5±0,5*
6	453±161,8	4,6±3,1	7,3±1,2
7	656,3±209,3	4,6±3,2*	6,3±2,2
8	677±280,9*	6,5±3,2	6,3±2,2*
9	666,1±243,2*	3,16±3,1	7,5±1,2*
10	703,3±140,8*	4,3±3,7*	7,5±1,5
11	723,3±136,1	4,3±3,4	6,3±2,1
12	797,8±150,1	5,5±3,2	8±1,1*
13	600,3±150,1	3,8±2,1*	7,3±0,5
14	637±105,5	6,1±2,6*	6,8±1,9
15	506,8±329,8*	4,8±2,6	6,1±2,3*
16	640±242,1	4,5±3,9	7,1±1,8
17	536,1±199,7*	4,5±3,6*	6,6±1,8
18	717,3±224,1*	2,3±3,5*	7,5±2,1*
19	613±204,4	4,6±2,5	7±0,5*
20	625,5±293,1*	3,8±3,7	8,6±2,1
21	498±248,1*	3±3,4*	6,6±0,8
22	615,6±345,3*	4±2	8±1,1*
23	565,6±171,3*	4±3,2	8,3±0,8
24	605,5±268,5	5,5±4,1*	8±1,6
25	589,1±343,1*	2,5±3,5	7,3±0,8*
26	713,1±321,1	4,8±2,8	8±1,9
27	610±157,2	3,5±3,7	7,5±1,3
28	759,1±70,4*	4,1±2,4	7,5±1,5*
29	728,8±162,1	3,8±3,4*	8±1,3
30	644,5±268,7*	4,5±3,3*	7,1±1,7

Примечание: \* – достоверность различий p<0,05 между показателями функциональной стоимости (TRIMP, RPE) в тренировочных сессиях относительно первой сессии

Note: \* –significant differences p<0.05 between functional cost indicators (TRIMP, RPE) in training sessions relative to the first session

Изучение результатов метода-RPEне показало достоверных связей с экспертной оценкой профессиональных тренеров в официальных матчах и тренировочных сессиях. Снижение тренда субъективного

параметра тяжести нагрузки (RPE) не повлияло на качество реализации арсенала технических и тактических действий футболистами, что прослеживается в рисунке 2.

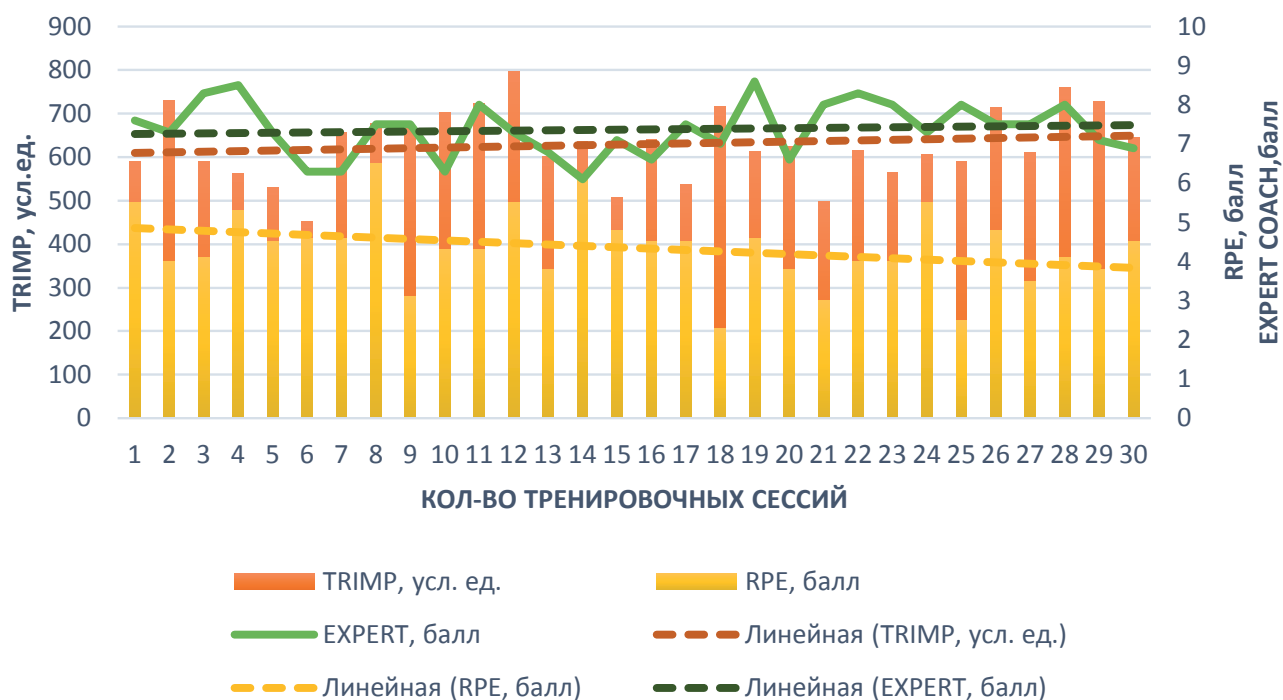


Рис. 2. Линейная модель корреляционной взаимосвязи показателей функциональной «стоимости» (TRIMP, усл. ед.; RPE, балл) и экспертной оценки реализации технико-тактической подготовленности игроками в тренировочных сессиях (EXPERT, балл).

Fig. 2. Linear model of correlation between functional «cost» indicators (TRIMP, st. un.; RPE, score) and expert assessment of the implementation of technical and tactical readiness of players in training sessions (EXPERT, point).

Таблица 3

**Показатели функциональной «стоимости» (TRIMP, RPE) и экспертной оценки тренеров (EXPERT) в официальных матчах юных футболистов, (M±SD, n=30)**

Table 3

**Indicators of functional «cost» (TRIMP, RPE) and expert assessment of coaches (EXPERT) in official matches of young players, (M±SD, n=30)**

Номер официального матча / The number of an official match	TRIMP, усл.ед. /st. un.	RPE, балл / point	EXPERT, балл / point
1	651,7±198,5*	4,6±2,9	6,6±1,5*
2	637,5±121,7*	5,2±3,2	7,6±1,6*
3	682,5±206,7	4,1±2,9	7±2,2
4	606,8±25,4*	4,1±2,7*	7,7±1,2*
5	459,6±255,8	3,4±2,9	7,6±1,6
6	649,2±251,2*	4,4±3,1*	7,9±1,2*

Примечание: \* – достоверность различий p<0,05 между показателями функциональной стоимости (TRIMP, RPE) в официальных матчах относительно первой игры

Note: \* – reliability of differences p<0.05 between functional cost indicators (TRIMP, RPE) in official matches relative to the first game

Игра – является финальным результатом недельного микроцикла [11]. Результаты исследования процесса официальных матчей выявили большое количество достоверных значений (табл. 3).

Значительное снижение показателей функциональной «стоимости» (TRIMP, RPE) относительно нарастаю-

щей успешности технико-тактической деятельности в официальных матчах демонстрируют тренды на рисунке 3. Стоит отметить, снижение линейного тренда физиологического параметра «тренировочный импульс» (TRIMP) и субъективного ощущения тяжести выполняемых нагрузок (RPE) на фоне роста экспертной оценки (EXPERT).

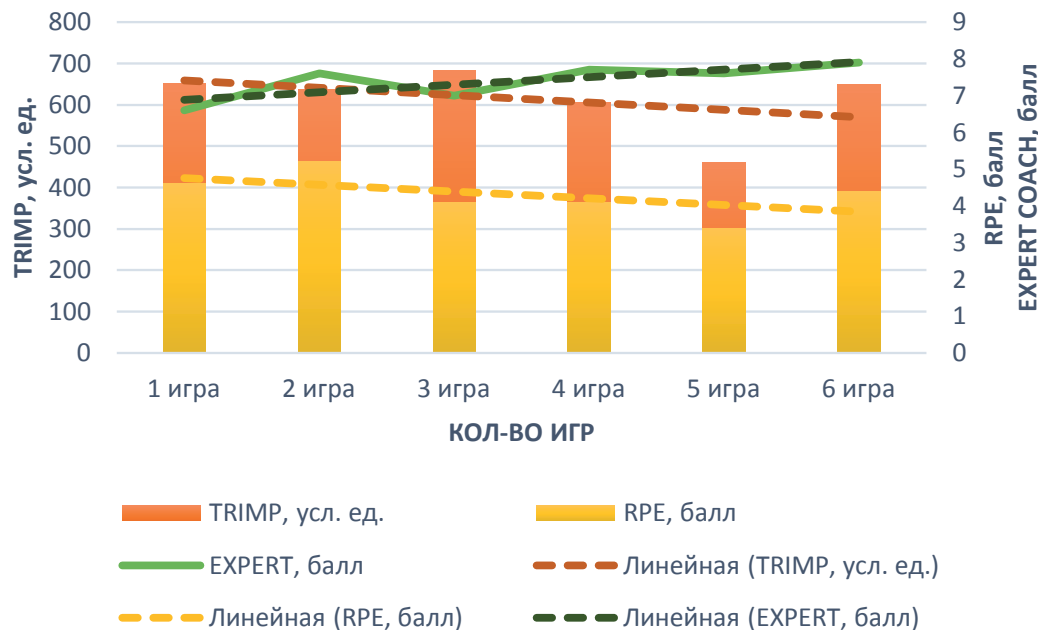


Рис. 3. Линейная модель корреляционной взаимосвязи показателей функциональной «стоимости» (TRIMP, усл. ед.; RPE, балл) и экспертной оценки реализации технико-тактической подготовленности игроками (EXPERT, балл) в официальных матчах

Fig. 3. Linear model of correlation between indicators of functional «cost» (TRIMP, st. un.; RPE, score) and expert assessment of the implementation of technical and tactical readiness of players (EXPERT, point) in official matches

Ящичные диаграммы показали различия функциональной «стоимости» технико-тактической деятельности футболистов (TRIMP, усл. ед.) в тренировочных

сессиях и официальных матчах. Рис. 4 демонстрирует преобладание функциональных затрат в тренировочных нагрузках над игровыми (табл. 4).

Таблица 4

Дисперсионный анализ параметров функциональной «стоимости» технико-тактической деятельности (TRIMP, усл. ед., RPE, балл) относительно экспертной оценки тренера (EXPERT, балл)

Table 4

Variance analysis of parameters of the functional «cost» of technical and tactical activities (TRIMP, st. un., RPE, point) relative to the expert assessment of the trainer (EXPERT, point)

Переменная / Variable	Анализ дисперсии отмеченные эффекты значимы при p>0,05 Analysis of Variance Marked effects are significant at p>0,05							F	P
	SS-эффект / SS-Effect	Df-эффект / Df-Effect	Ms-эффект / MS-Effect	SS-ошибка / SS-Error	Df-ошибка / Df-Error	MS-ошибка / MS-Error			
TRIMP, усл. ед. / st. un.	369712,3	7	194866,2	505509098	217	22977,7	9,3809	0,00017	
RPE, балл / point	61,1852	7	8,7407	2156,9750	217	9,9399	0,8794	0,5236	

Известно, что функционирование системы кровообращения отражает ее адапционный потенциал [12]. Сопоставляя данные официальных матчей и тренировочных сессий, удалось установить повышение степени адаптации сердечно-сосудистой системы к со-

ревновательной физической нагрузке, что согласуется с данными Наймушена А.Г. (2011) [13] и связывается с оптимальностью адапционного потенциала и ростом индивидуальных функциональных резервов физиологической системы.

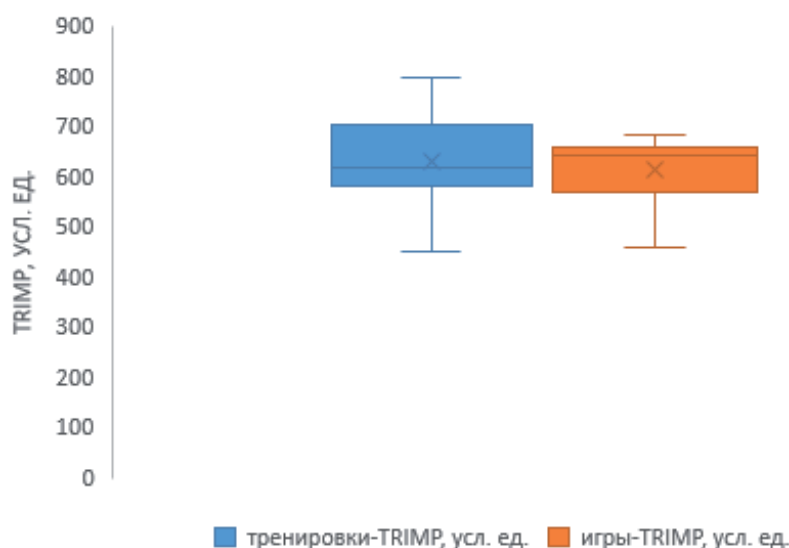


Рис. 4. Физиологический показатель «Тренировочный импульс» (TRIMP, усл. ед.) в тренировочных сессиях и официальных матчах  
 Fig. 4. Physiological indicator «Training impulse» (TRIMP, st. un.) in training sessions and official matches

Графические данные (рис. 5) показателя субъективного ощущения тяжести физической нагрузки (RPE, балл) между тренировочными сессиями и официальными

ми играми сопоставимы. Дисперсионный расчёт, представленный в таблице 4, выявил уровень значимости ( $p=0,523581$ ), доказывающий отсутствие различий.

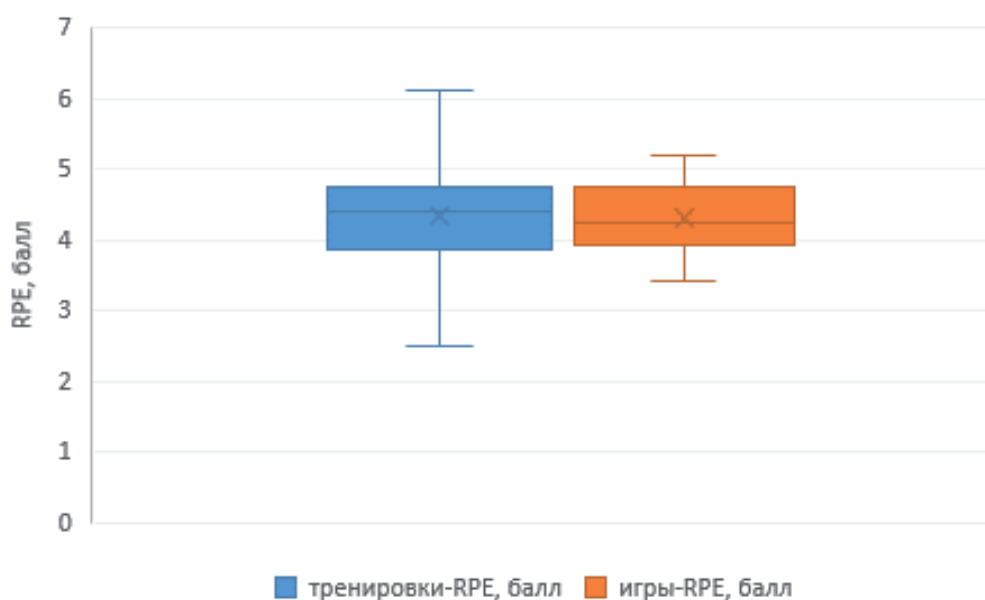


Рис. 5. Показатель субъективной оценки тяжести физической нагрузки (RPE, балл) в тренировочных сессиях и официальных матчах  
 Fig. 5. Indicator of subjective rating of perceived exertion (RPE, points) in training sessions and official matches

#### 4. Выводы

1. Выявлена линейная корреляционная зависимость между физиологической расчётной характеристикой «тренировочный импульс» (TRIMP) и экспертной оценкой профессиональных тренеров (EXPERT).

2. Метод-RPE является действенным и полезным инструментом в «полевых» условиях для тренера, но не имеет высокой значимости в оценки успешно-

сти технико-тактической подготовленности футболистов.

3. Установлено снижение функциональных затрат в официальных матчах по сравнению с тренировочными сессиями. Полагаем, что это результат корректно выстроенного тренировочного процесса, опирающегося на объективные данные функционального мониторинга состояния спортсменов.

### Список литературы

1. **Akenhead R, Nassis GP.** Training load and player monitoring in high-level football: current practice and perceptions // *International journal of sports physiology and performance.* 2016. Vol.11, №5. С.587-593.
2. **Dugbley A.** Technical and tactical training of students in a university // *In the World of Scientific Discoveries / V Mire Nauchnykh Otkrytiy.* 2015, Vol.61, №1.1. P.501-516.
3. **Carling C.** Analysis of physical activity profiles when running with the ball in a professional soccer team // *Journal of sports sciences.* 2010. Vol.28, №3. P.319-326.
4. **Псюнок А. А., Муготлев М. А., Силантьев М. Н., Гасанова Р. А.** Особенности variability сердечного ритма у футболистов 14-16 лет // *Теория и практика физической культуры.* 2020. №1. С.31-34
5. **Афоншин В. А., Драндров Г. Л., Коновалов И. Е.** Обучение юных футболистов технике ведения мяча и обводки с применением интерактивного тренажерного комплекса // *Теория и практика физической культуры.* 2018. №10. С.27-30
6. **Brito A, Silva P, Garganta J, Roriz P, Duarte R.** Effects of pitch surface and playing position on external load activity profiles and technical demands of young soccer players in match play // *International Journal of Performance Analysis in Sport.* 2017. Vol.17, №6. P.902-918
7. **Edwards S, Edwards SJ, Edwards S, Edwards GK.** High performance training and racing // *The Heart Rate Monitor Book.* 1993. P.113-123.
8. **Borg GA.** Psychophysical bases of perceived exertion // *Med. Sci. Sport Exercise.* 1982. Vol.14, №5, P.377-381.
9. Российский Футбольный Союз // официальный сайт «РФС». [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://rfs.ru/>
10. **Graham SR, Cormack S, Parfitt G, Eston R.** Relationships between model estimates and actual match-performance indices in Professional Australian Footballers during an in-season macrocycle // *International journal of sports physiology and performance.* 2018. Vol.13, №3. P.339-346.
11. **Izzo R, D'Isanto T, Raiola G, Cejudo A.** The role of fatigue in football matches, performance model analysis and evaluation during quarters using live global position system technology at 50 HZ // *Sport Science.* 2020. Vol.13, №1. P.30-35
12. **Баевский Р.М. Иванов Д.Г., Чирейкин Л.В.** Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем: Методические рекомендации, 2002. 53с.
13. **Наймушина А. Г.** Адаптационный потенциал системы кровообращения и высшей нервной деятельности у субъективно здоровых лиц при хроническом стрессе: Автореф. докт.дис., Курган, 2011, 262 с.

#### Информация об авторах:

**Голубев Денис Вячеславович**, аспирант кафедры физиологии ФГБОУ ВО Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта Министерства спорта РФ. ORCID ID: 0000-0003-0570-8211 (+7(911)810-66-48, [dengolubev@inbox.ru](mailto:dengolubev@inbox.ru))

**Щедрина Юлия Александровна**, профессор кафедры физиологии ФГБОУ ВО Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта Министерства спорта РФ, проф., д.б.н. ORCID ID: 0000-0001-5267-1314

#### Information about the authors:

**Denis V. Golubev**, Post-graduate Student of the Department of Physiology of the Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health. ORCID ID: 0000-0003-0570-8211 (+7(911)810-66-48, [dengolubev@inbox.ru](mailto:dengolubev@inbox.ru))

### References

1. **Akenhead R, Nassis GP.** Training load and player monitoring in high-level football: current practice and perceptions. *International journal of sports physiology and performance.* 2016;11(5):587-593.
2. **Dugbley A.** Technical and tactical training of students in a university. *In the World of Scientific Discoveries.* 2015;61(1.1):501-516.
3. **Carling C.** Analysis of physical activity profiles when running with the ball in a professional soccer team. *Journal of sports sciences.* 2010;28(3):319-326.
4. **Psyunok AA, Mugotlev MA, Silant'ev MN, Gasanova RA.** Peculiarities of Heart Rate Variability in 14-16-year-old football players. *Theory and Practice of Physical Culture.* 2020;1:31-34.
5. **Afon'shin VA, Drandrov GL, Konovalov IE.** Coaching of young football players on ball control techniques with the use of interactive training complex. *Theory and Practice of Physical Culture.* 2018;10:27-30.
6. **Brito A, Silva P, Garganta J, Roriz P, Duarte R.** Effects of pitch surface and playing position on external load activity profiles and technical demands of young soccer players in match play. *International Journal of Performance Analysis in Sport.* 2017;17(6):902-918.
7. **Edwards S, Edwards SJ, Edwards S, Edwards GK.** High performance training and racing. *The Heart Rate Monitor Book.* 1993;12(2):113-123.
8. **Borg GAV.** Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sport Exercise.* 1982;14(5):377-381.
9. Russian Football Union (2020). Available at: <https://rfs.ru/> (accessed 20 May 2020).
10. **Graham SR, Cormack S, Parfitt G, Eston R.** Relationships between model estimates and actual match-performance indices in Professional Australian Footballers during an in-season macrocycle. *International journal of sports physiology and performance.* 2018;13(3):339-346.
11. **Izzo R, D'Isanto T, Raiola G, Cejudo A.** The role of fatigue in football matches, performance model analysis and evaluation during quarters using live global position system technology at 50 HZ. *Sport Science.* 2020;13(1):30-35.
12. **Baevskiy RM, Ivanov DG, Chireykin LV.** Analiz variab'nosti serdechnogo ritma pri ispol'zovanii razlichnykh elektrokardiograficheskikh sistem: Metodicheskie rekomendatsii, 2002. 53 p. Russian.
13. **Naymushina A.G.** Adaptatsionnyy potentsial sistemy krovoobrashcheniya i vysshey nervnoy deyatel'nosti u sub'ektivno zdorovykh lits pri khronicheskom stresse: Avtoref. dok. dis. Kurgan, 2011. 262 p. Russian.

**Yulia A. Shchedrina**, D.Sc. (Biology), Prof., Professor of the Department of Physiology of the Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health. ORCID ID: 0000-0001-5267-1314

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки

**Funding:** the study had no sponsorship

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

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

*Поступила в редакцию: 21.03.2020*

*Статья принята к публикации: 05.06.2020*

*Accepted: 21 May 2020*

*Received: 05 June 2020*



DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.81

УДК: 612.829.3

## Вариабельность ритма сердца спортсменов игровых видов спорта, получающих высшее образование, в начале тренировочного сезона

*П.Н. Чайников, В.Г. Черкасова, С.В. Муравьев, А.М. Кулеш*

*ФГБОУ ВО Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера,  
Министерство здравоохранения РФ, Пермь, Россия*

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** изучить особенности показателей variability ритма сердца у спортсменов игровых видов спорта, получающих высшее образование, в начале тренировочного сезона. **Материалы и методы:** в исследовании обобщены результаты 141 участника. Основная группа состояла из 61 спортсмена (22,7±1,3 года), из которых мужчин – 31 (22,3±1,3 года), женщин – 30 (23,1±2,1 года). Контрольную группу формировали студенты, не занимающиеся спортом, 80 человек (23,6±1,5 года), мужчин – 34 (23,7±1,5 года), женщин – 46 (23,6±1,5 года). Variability ритма сердца оценивалась посредством регистрации кардиоинтервалограммы в фоновой записи покоя в течение 5 минут, а также в условиях активной ортостатической пробы. Производился спектральный анализ волновой структуры сердечного ритма, регистрировались HF, LF, VLF-компоненты, отношение LF/HF, сумма мощности всех волн – TP, определялись комплексные показатели – индекс вегетативного равновесия и коэффициент 30:15. **Результаты:** показан более высокий уровень общей мощности спектра, активности и реактивности парасимпатического звена регуляции в основной группе. Обнаружены более высокие значения спектральных показателей, а также К30:15 в условиях активной ортостатической пробы в группе спортсменов. Показатели ВРС мужчин-спортсменов выше, как в покое, так и в условиях ортостаза. Показатели ВРС спортсменов достоверно отличались лишь в условиях ортостаза, демонстрируя более высокий уровень регуляции. **Выводы:** в начале тренировочного сезона определялся высокий уровень регуляционных показателей в функциональном состоянии спортсменов-игровиков как мужского, так и женского пола. Разнообразие достоверных отличий ВРС в исследуемых группах может применяться в практике для динамического наблюдения изменений процессов регуляции в тренировочном цикле.

**Ключевые слова:** ритм сердца, variability, спортсмены, функциональное состояние, адаптация.

**Для цитирования:** Чайников П.Н., Черкасова В.Г., Муравьев С.В., Кулеш А.М. Variability ритма сердца спортсменов игровых видов спорта, получающих высшее образование, в начале тренировочного сезона // Спортивная медицина: наука и практика. 2020. Т.10, №2. С.81-90. DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.81

## Heart rate variability in university students engaged in competitive sports at the beginning of a training season

*Pavel N. Chainikov, Vera G. Cherkasova, Sergey V. Muraviev, Anna M. Kulesh*

*Academician Ye.A.Vagner Perm State Medical University, Perm, Russia*

### ABSTRACT

**Objective:** to study heart rate variability in university students engaged in competitive sports at the beginning of a training season. **Materials and Methods:** the study summarizes the results of 141 participants. The study group consisted of 61 athletes (22.7±1.3 years), 31 men (22.3±1.3 years) and 30 women (23.1±2.1 years). The control group included 80 students not involved in sports (23.6±1.5 years), 34 men (23.7±1.5 years) and 46 women (23.6±1.5 years). Heart rate variability was assessed by a cardiointervalogram registration in the background recording of rest for 5 minutes, as well as during an active orthostatic test. A spectral analysis of heart rate wave structure included registration HF, LF, VLF-components, LF/HF ration, and the total power of all waves – TP; complex indices were determined, namely the index of vegetative balance (AMO/SD index) and C30:15 coefficient. **Results:** we found higher level total spectrum power, parasympathetic activity and reactivity regulation in the study group. We revealed higher spectral indices, as well as C30:15 during active orthostatic tests in the group of athletes. HRV indices of male athletes are higher, both at rest and in orthostasis. HRV indices of female athletes significantly differed only in orthostasis, demonstrating a higher level of regulation. **Conclusions:** at the beginning of a training season, we found high level of regulatory indices in the functional state of competitive athletes, both male and female. A variety of significant differences in HRV in the studied groups can be used for a dynamic monitoring of changes in regulatory processes during the training cycle.

**Key words:** heart rhythm, variability, athletes, functional state, adaptation

**For citation:** Chainikov PN, Cherkasova VG, Muraviev SV, Kulesh AM. Heart rate variability in university students engaged in competitive sports at the beginning of a training season. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice). 2020;10(2):81-90 (In Russ.) DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.81

### 1. Введение

Современный этап развития спорта напрямую связан и, в определенной мере, зависит от многочисленного зрительского интереса и популярности. Безусловно, зрелищность спортивного события во многом определяется профессионализмом спортсменов – высоким уровнем их технической, тактической и, разумеется, физической подготовленности. Успешность спортивной деятельности в условиях конкуренции напрямую связана с высоким уровнем функционального состояния организма спортсмена [1, 2]. В течение спортивной подготовки происходит постоянное изменение регуляторных механизмов адаптации к различным нагрузочным и стрессовым факторам, что обуславливает необходимость оценки функционального состояния точными, быстрыми и «чувствительными» диагностическими методами в динамике тренировочного, соревновательного и восстановительного процессов [2-4].

Концепция общего функционального состояния базируется на тесной связи друг с другом основных директивных (управляющих) систем. Так, центральная нервная система совместно с эндокринной и иммунной системами регулирует функциональную активность организма в целом. Вегетативная нервная система, обеспечивающая адаптационную регуляцию, во многом определяет согласованность и, как итог, эффективность деятельности директивных систем организма спортсмена [5, 6]. Исход воздействия стрессовых факторов на организм зависит от уровня функционального состояния вегетативной нервной системы. В случаях должного уровня развития вегетативной регуляции ожидаемый итог стрессового воздействия – эустресс, который, в свою очередь, повышает функциональные резервы и обеспечивает работу адаптационных систем на новом, более высоком уровне [7-9].

Адаптационные изменения процессов регуляции определяются эффективностью экономизации и мобилизации функций в покое и при нагрузке, соответственно, обеспечивая тем самым изменчивость или вариабельность регулирования в зависимости от предлагаемых фоновых условий деятельности [10-12]. Известно, что модель регуляции организма в целом базируется на хорошо изученных механизмах регуляции синусового узла сердца. Выделяют два основных контура: автономный и центральный. Автономный контур регуляции формируют сами клетки синусового узла сердца, а также парасимпатический отдел вегетативной нервной системы. Центральный контур состоит из трех уровней и обеспечивает внутрисистемное управление, гормонально-вегетативный гомеостаз, а также взаимодействие организма с внешней средой [12]. Таким образом, оценка функционирования каждого контура регуляции позволяет всесторонне определить состояние адаптации и резервов, как в настоящий момент времени, так и в прогностическом аспекте. Одним из широко изученных и применяемых методом диагностики регуляци-

онных процессов является регистрация вариабельности ритма сердца [13,14].

В нашей работе обобщены результаты изучения спектральных и комплексных показателей вариабельности ритма сердца у спортсменов игровых видов спорта, получающих высшее образование, в сравнении со сверстниками не спортсменами. Бесспорно, спортсмены-студенты очной формы, помимо учебной нагрузки испытывают на себе и спортивную, что, с одной стороны, предъявляет более высокие требования к системе адаптации, а с другой стороны, формирует её особенности [15, 16]. По результатам литературного обзора мы пришли к выводу о недостаточной изученности особенностей вариабельности ритма сердца спортсменов-игровиков при её практической значимости, что и определяет актуальность настоящей работы.

Цель исследования – изучить особенности отдельных показателей вариабельности сердечного ритма у спортсменов игровых видов спорта, получающих высшее образование, в начале тренировочного сезона в сравнительной характеристике с показателями сверстников, не занимающихся спортом.

### 2. Материалы и методы исследования

В исследовании обобщены результаты 141 участника, средний возраст которых составил  $23,2 \pm 1,7$  года. Основную группу формировали спортсмены, получающие высшее образование, общим количеством 61 участник ( $22,7 \pm 1,3$  года), мужчин – 31 ( $22,3 \pm 1,3$  года), женщин – 30 ( $23,1 \pm 2,1$  года). Контрольная группа была сформирована студентами, не занимающимися спортом, в составе 80 человек ( $23,6 \pm 1,5$  года), мужчин – 34 ( $23,7 \pm 1,5$  года), женщин – 46 ( $23,6 \pm 1,5$  года). Все участники исследования – студенты старших курсов очной формы, обучающиеся по программам высшего основного или последипломного образования (магистранты, аспиранты). На момент исследования все испытуемые не предъявляли жалоб на состояние здоровья, а факт отсутствия актуальных заболеваний подтверждался клиническим осмотром и анализом медицинской документации. Согласно критериям включения, спортсмены основной группы были сопоставимы по уровню мастерства (1 взрослый разряд, кандидаты в мастера спорта) и физической нагрузки – от 5 до 7 тренировок в неделю продолжительностью от 1,5 до 2,5 часов в течение последнего месяца. Исследование проводилось в начале спортивного сезона и учебного года.

Вариабельность ритма сердца (ВРС) оценивалась посредством регистрации кардиоинтервалограммы после десятиминутного отдыха в фоновой записи покоя (Ф) в течение 5 минут, после чего выполнялась активная ортостатическая проба (АОП) в положении стоя в течение 5 минут с регистрацией ЭКГ сигнала. Вегетативных нарушений в виде ортостатической гипотензии, предсинкопальных и синкопальных состояний зарегистрировано не было. Автоматический анализ кардиоинтервалограммы проводился с использованием программного обеспе-

чения «Поли-Спектр-8» (ООО «Нейрософт», г. Иваново) математическими методами и спектральным анализом. Изучались следующие спектральные показатели ВРС. Сумма мощности всех волн ТР (мс<sup>2</sup>) или общий спектр мощности, HF-компонент (мс<sup>2</sup>) – высокочастотные колебания, отражающие модулирующее влияние парасимпатического отдела нервной системы на активность синусового узла, LF-компонент (мс<sup>2</sup>) – низкочастотные колебания, отражающие активность симпатического звена регуляции, VLF-компонент (мс<sup>2</sup>), медленные или очень низкочастотные волны отражают работу самого медленного уровня системы регуляции – надсегментарного или энергометаболического. Также оценивалось отношение значений низкочастотной и высокочастотной составляющих ритма LF/HF, отражающее преобладание в регуляции ритма сердца активность симпатических влияний над парасимпатическими. Изучался индекс вегетативного равновесия (ИВР) – комплексный показатель, характеризующий баланс симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. При анализе ВРС в активной ортостатической

пробе определялся коэффициент 30:15 – параметр, отражающий реактивность парасимпатического звена ВНС.

Статистическая обработка данных выполнена с использованием непараметрических статистических данных при помощи программного пакета Statistica 8.0 для Windows XP. Основные данные представлены в виде медианы (Me, второго квартиля Q<sub>2</sub>), первого и третьего квартилей (Q<sub>1</sub> и Q<sub>3</sub> соответственно). Различия количественных характеристик признаков несвязанных выборок оценивались с использованием критерия Манн-Уитни (U-критерия), различия считались достоверными при уровне p<0,05, высоко достоверными – p<0,01.

### 3. Результаты исследования и их обсуждение

При сравнительной оценке показателей variability сердечного ритма в состоянии относительного покоя фоновой записи установлены некоторые особенности вегетативной регуляции у спортсменов и лиц, не занимающихся спортом (табл. 1).

**Показатели variability ритма сердца в покое у спортсменов игровых видов спорта и лиц, не занимающихся спортом**

Таблица 1

**Indexes of heart rhythm variability at rest in game sports athletes and persons who are not involved in sports**

Table 1

Признак / Sign of comparison	Спортсмены, n=61 / Group of athletes, n=61	Не спортсмены, n=80 / Group of non-athletes, n=80	P
ИВР, усл.ед. / Vegetative balance index, con.units	70,95 [42,70;117,10]	89,70 [56,70;140,25]	0,097328
ТР, мс <sup>2</sup> / Total power, мс <sup>2</sup>	4906,0 [2215,0;7497,0]	3253,50 [2016,50;5627,50]	0,095962
VLF, мс <sup>2</sup> / Very low frequency, мс <sup>2</sup>	1236,0 [776,0;2260,0]	1094,00 [603,50;1836,50]	0,158993
LF, мс <sup>2</sup> / Low frequency, мс <sup>2</sup>	1171,0 [613,0;2080,0]	744,50 [507,50;1377,00]	0,04800*
HF, мс <sup>2</sup> / High frequency, мс <sup>2</sup>	1609,0 [742,0;2759,0]	1150,0 [544,50;2275,50]	0,125224
LF / HF	0,82 [0,44;1,21]	0,78 [0,43;1,34]	0,969242

Примечание: \*p<0,05, статистически значимые отличия  
Note: \*p<0.05, significant difference

У спортсменов, как и у лиц, не занимающихся спортом, наблюдалось преобладание парасимпатического звена регуляции в покое, о чем свидетельствуют высокие значения быстрых колебаний HF-компонента в общем спектре. Интересным фактом, на наш взгляд, является достоверное увеличение показателей LF-компонента фоновой записи покоя ВРС у спортсменов, что может быть интерпретировано как усиление симпатической регуляции у спортсменов в состоянии относительного покоя. Однако подобная интерпретация будет ошибоч-

ной, так как увеличение LF-компонента происходило на фоне увеличения общей мощности спектра (ТР). Кроме того, значения LF-компонента не превышали значения HF-компонента, следовательно, вегетативная регуляция в состоянии относительного покоя у спортсменов осуществлялась по ваготоническому типу. Значение индекса LF/HF в основной группе указывает на преобладание парасимпатического звена регуляции и соответствует индексу спортсменов высокой спортивной квалификации.

Анализируя сумму мощности всех волн TP, можно заключить, что у спортсменов наблюдалась тенденция к увеличению общей мощности спектра в сравнении с не спортсменами (4906,0 и 3253,50 мс<sup>2</sup> соответственно), однако, различия были не достоверны (p=0,0959). Общая мощность спектра у спортсменов соответствовала норме в межсоревновательном периоде от 3000 мс<sup>2</sup> у низкоквалифицированных спортсменов до 19000 и более мс<sup>2</sup> – у элитных. У лиц, не занимающихся спортом, общая мощность спектра составляла 3253,50 мс<sup>2</sup> и соответствовала международным стандартам (TP=3,466±1018 мс<sup>2</sup>).

Показатели ВРС в активной ортостатической пробе представлены в таблице 2.

У спортсменов в условиях АОП относительно фоновой записи наблюдалось снижение спектральных показателей TP, VLF и HF и относительный подъем LF-компонента (рис. 1).

По мнению Н.И. Шлык у спортсменов с умеренным преобладанием автономной регуляции ритма сердца в условиях АОП отмечается снижение спектральных показателей – TP, HF, LF, VLF. Подобная реакция на ортостатическое воздействие рассматривается как оптимальная и свидетельствует о высоких функциональных и адаптивных возможностях организма спортсмена. В нашем исследовании, мы зарегистрировали незначительное повышение лишь LF-компонента на фоне общего снижения спектральных показателей в АОП. Мы предполагаем, что

незначительное увеличение симпатического компонента регуляции в АОП не является парадоксальной реакцией, а лишь свидетельствует об адекватной реакции ВНС на начало тренировочного процесса, является приспособительным механизмом регуляции.

В контрольной группе наблюдался адекватный тип реакции на АОП со снижением спектральных компонентов ВРС (рис.2).

Высокоинформативными показателями ВРС в активной ортостатической пробе являются индекс вегетативного равновесия и коэффициент 30:15, характеризующий реактивность парасимпатического отдела ВНС. Низкие значения К30:15 свидетельствуют о недостаточности вагальных влияний и низком функциональном состоянии. Нормальной реакцией на АОП следует считать ту реакцию, при которой К30:15 находится в диапазоне от 1,25 до 1,75 условных единиц (Михайлов В.М., 2002). В нашем исследовании показана нормальная реакция на АОП при К30:15=1,27 усл.ед. в группе спортсменов, в отличие от не тренированных лиц, у которых К30:15 составил 1,19 усл.ед. (p=0,0075). Можно заключить, что у лиц, не занимающихся спортом, несмотря на адекватный тип реакции, наблюдается недостаточность вагальных влияний, что характеризует функциональное состояние как неоптимальное. У спортсменов, напротив, наблюдался оптимальный уровень функционального состояния и процессов регуляции, подтверждающийся высокими значениями спектрального анализа ВРС.

Таблица 2

**Показатели вариабельности ритма сердца в условиях активной ортостатической пробы у спортсменов игровых видов спорта и лиц, не занимающихся спортом**

Table 2

**Heart rate variability indicators in active orthostatic test in game sports athletes and persons, who are not involved in sports**

Признак / Sign of comparison	Спортсмены, n=61 / Group of athletes, n=61	Не спортсмены, n=80 / Group of non-athletes, n=80	P
ИВР, усл.ед. / Vegetative balance index, con.units	109,10 [75,20;219,70]	215,90 [132,55;313,30]	0,000059*
TP, мс <sup>2</sup> / Total power, мс <sup>2</sup>	2721,50 [1542,00;5073,00]	1637,50 [1012,50;2626,50]	0,000065*
VLF, мс <sup>2</sup> / Very low frequency, мс <sup>2</sup>	1058,50 [681,00;2201,00]	668,00 [333,50;1345,00]	0,000322*
LF, мс <sup>2</sup> / Low frequency, мс <sup>2</sup>	1223,00 [648,00;1827,00]	602,00 [398,00;1011,00]	0,000040*
HF, мс <sup>2</sup> / High frequency, мс <sup>2</sup>	337,00 [172,00;684,00]	195,00 [87,00;407,50]	0,004848*
ИВР, усл.ед. / Vegetative balance index, con.units	3,84 [2,08;5,49]	3,63 [2,57;6,31]	0,538784
К 30/15 / Coefficient 30/15	1,27 [1,19;1,40]	1,19 [1,12;1,31]	0,007524*

Примечание: \*p<0,05, статистически значимые отличия  
 Note: \*p<0.05, significant difference

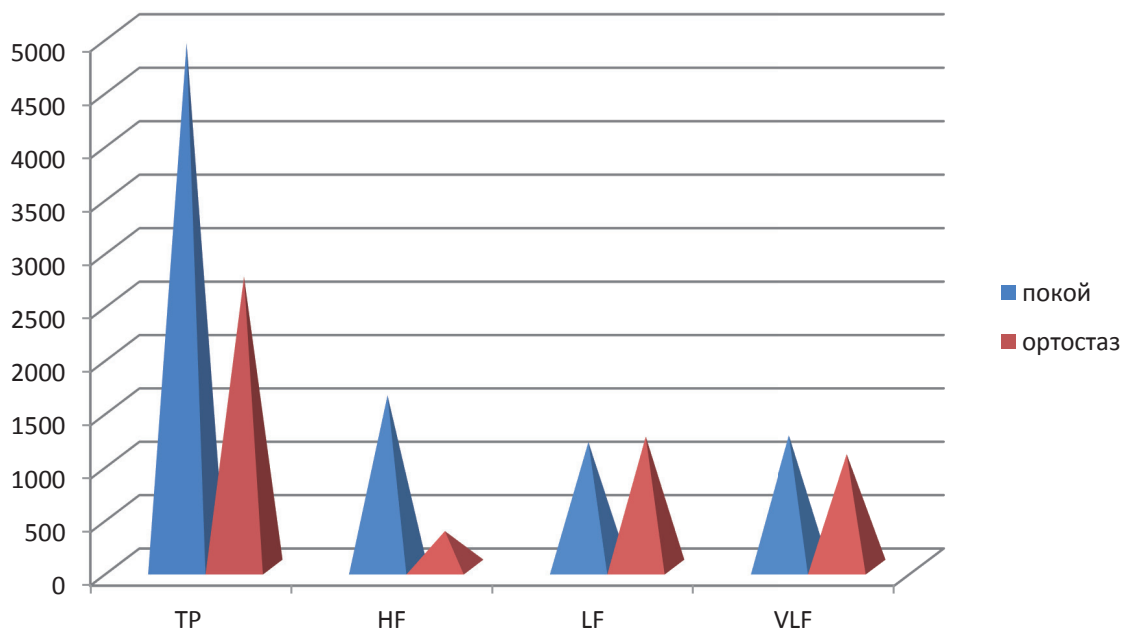


Рис.1. Спектральные показатели variability ритма сердца у спортсменов в покое и в условиях активной ортостатической пробы  
Pic.1. Spectral indicators of heart rate variability of athletes at rest and in conditions of active orthostatic test

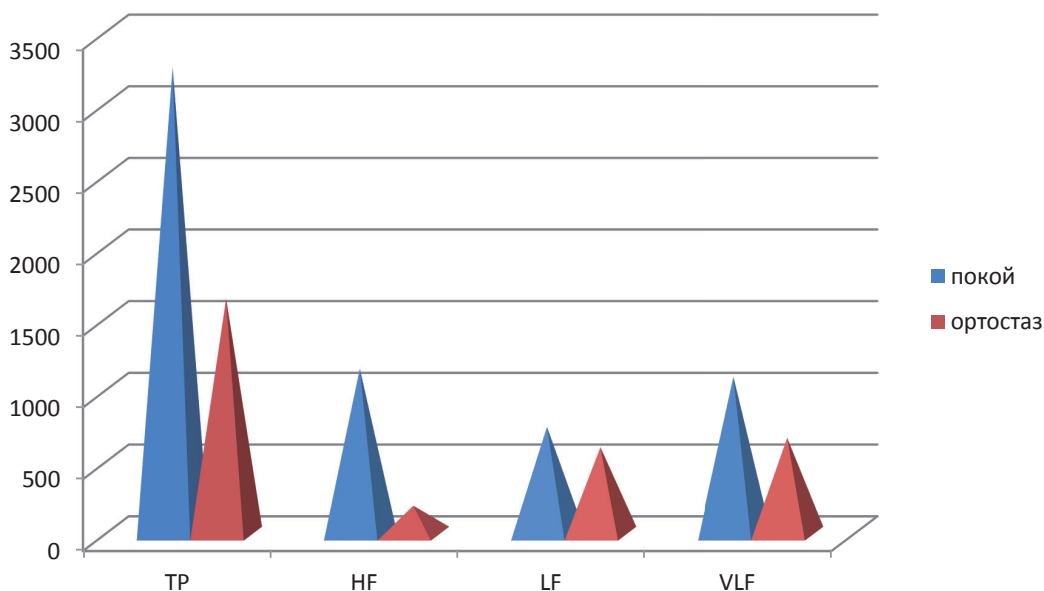


Рис. 2. Спектральные показатели variability ритма сердца у лиц, не занимающихся спортом, в покое и в условиях активной ортостатической пробы  
Pic. 2. Spectral indicators of heart rate variability of persons who are not involved in sports, at rest and in conditions of an active orthostatic test

Таким образом, в группе спортсменов установлена тенденция в преобладании парасимпатической регуляции в покое, усиление реактивности парасимпатического звена ВНС в условиях активного ортостаза и высокий уровень функционального состояния организма в целом.

При сравнении показателей ВРС мужчин спортсменов и не занимающихся спортом, обнаружены существенные различия, представленные в таблице 3.

Мужчины-спортсмены обладали достоверно более высокими показателями вегетативной регуляции в состоянии относительного покоя и в условиях АОП, выражающиеся низким значением ИВР, высокими показателями TP, HF, LF, VLF-компонентов.

Интересными и важными являются данные, полученные при сравнительном анализе показателей ВРС спортсменов и не спортсменов (табл. 4).

**Показатели вариабельности ритма сердца мужчин: спортсменов и лиц, не занимающихся спортом  
в фоновой записи покоя и в условиях активной ортостатической пробы**

Таблица 3

**Heart rate variability in men: athletes and persons who are not involved in  
sports at the rest background recording and in active orthostatic test**

Table 3

Признак / Sign of comparison	Спортсмены, n=31 / Group of athletes, n=31	Неспортсмены, n=34 / Group of non-athletes, n=34	P
ИВРпокой, усл.ед. / Vegetative balance index in rest, con.units	56,40 [33,40;75,90]	80,65 [47,80;121,10]	0,023466*
ИВРортостаз, усл.ед. / Vegetative balance index in orthostasis, con.units	103,80 [69,00;219,70]	187,10 [109,90;312,40]	0,008783*
TP покой, мс <sup>2</sup> / Total power in rest, мс <sup>2</sup>	6481,00 [4889,00;9401,00]	3501,00 [2069,00;6660,00]	0,010041*
TP ортостаз, мс <sup>2</sup> / Total power in orthostasis, мс <sup>2</sup>	2861,00 [1542,00;6121,00]	1759,00 [1134,00;2861,00]	0,004191*
VLF покой, мс <sup>2</sup> / Very low frequency in rest, мс <sup>2</sup>	1964,00 [1115,00;3942,00]	1461,50 [755,00;2249,00]	0,054320
VLF ортостаз, мс <sup>2</sup> / Very low frequency in orthostasis, мс <sup>2</sup>	1490,00 [681,00;2461,00]	732,00 [337,00;1343,00]	0,003776*
LF покой, мс <sup>2</sup> / Low frequency in rest, мс <sup>2</sup>	1926,00 [967,00;2466,00]	780,50 [600,00;1420,00]	0,004744*
LF ортостаз, мс <sup>2</sup> / Low frequency in orthostasis, мс <sup>2</sup>	1276,00 [648,00;1969,00]	640,00 [489,00;1256,00]	0,007516*
HF покой, мс <sup>2</sup> / High frequency in rest, мс <sup>2</sup>	2077,00 [1188,00;4439,00]	879,50 [429,00;2315,00]	0,009304*
HF ортостаз, мс <sup>2</sup> / High frequency in orthostasis, мс <sup>2</sup>	369,00 [192,00;716,00]	177,50 [117,00;466,00]	0,021894*
LF/HF покой, мс <sup>2</sup> / LF/HF in rest, мс <sup>2</sup>	0,80 [0,45;1,21]	1,06 [0,59;1,51]	0,219335
LF/HF ортостаз, мс <sup>2</sup> / LF/HF in orthostasis, мс <sup>2</sup>	3,67 [2,08;5,32]	4,30 [2,40;10,11]	0,411650
K30/15 / Coefficient 30/15	1,26 [1,19;1,40]	1,19 [1,12;1,37]	0,096448

Примечание: \*p<0,05, статистически значимые отличия

Note: \*p<0.05, significant difference

Показатели вариабельности ритма сердца у женщин: спортсменок и лиц, не занимающихся спортом в фоновой записи покоя и в условиях активной ортостатической пробы

Таблица 4

Indicators of heart rate variability in women: athletes and persons who are not involved in sports at the rest background recording and in active orthostatic test

Table 4

Признак / Sign of comparison	Спортсмены, n=34 / Group of athletes, n=34	Неспортсмены, n=46 / Group of non-athletes, n=46	P
ИВРпокой, усл.ед. / Vegetative balance index in rest, con.units	108,30 [58,10;193,10]	92,45 [66,70;145,20]	0,475951
ИВРортостаз, усл.ед. / Vegetative balance index in orthostasis, con.units	126,10 [94,70;224,20]	222,95 [146,30;314,20]	0,004906*
TP покой, мс <sup>2</sup> / Total power in rest, мс <sup>2</sup>	2652,00 [1527,00;4201,00]	3253,50 [1964,00;4883,00]	0,189825
TP ортостаз, мс <sup>2</sup> / Total power in orthostasis, мс <sup>2</sup>	2581,00 [1481,00;3709,00]	1509,00 [946,00;2514,00]	0,006964*
VLF покой, мс <sup>2</sup> / Very low frequency in rest, мс <sup>2</sup>	961,00 [375,00;1134,00]	788,50 [557,00;1707,00]	0,592911
VLF ортостаз, мс <sup>2</sup> / Very low frequency in orthostasis, мс <sup>2</sup>	928,00 [679,00;1920,00]	629,00 [324,00;1347,00]	0,035145*
LF покой, мс <sup>2</sup> / Low frequency in rest, мс <sup>2</sup>	683,00 [385,00;1174,00]	703,50 [477,00;1235,00]	0,524479
LF ортостаз, мс <sup>2</sup> / Low frequency in orthostasis, мс <sup>2</sup>	1167,00 [617,00;1774,00]	573,00 [354,00;865,00]	0,003415*
HF покой, мс <sup>2</sup> / High frequency in rest, мс <sup>2</sup>	774,00 [385,00;1737,00]	1216,50 [678,00;2200,00]	0,221701
HF ортостаз, мс <sup>2</sup> / High frequency in orthostasis, мс <sup>2</sup>	301,00 [121,00;631,00]	201,50 [70,00;396,00]	0,076826
LF/HF покой, мс <sup>2</sup> / LF/HF in rest, мс <sup>2</sup>	0,87 [0,44;1,30]	0,57 [0,41;0,99]	0,444943
LF/HF ортостаз, мс <sup>2</sup> / LF/HF in orthostasis, мс <sup>2</sup>	4,16 [1,96;5,77]	3,63 [2,71;5,30]	0,893672
K30/15 / Coefficient 30/15	1,27 [1,17;1,42]	1,19 [1,11;1,31]	0,041554*

Примечание: \*p<0,05, статистически значимые отличия

Note: \*p<0.05, significant difference

В состоянии относительного покоя достоверных различий в показателях ВРС выявлено не было. Однако прослеживалась тенденция в усилении симпатической регуляции в покое у спортсменок, о чем свидетельствует ИВР и отношение LF/HF. Возможно, подобная тенденция обусловлена началом спортивного сезона и «вработыванием» организма в тренировочный процесс. Можно предположить, что физическая нагрузка, предъявляемая спортсменкам, является чрезмерной, о чем свидетельствует преобладание колебаний надсегментарного VLF-компонента в общем спектре ритма. Анализ регуляторных систем в условиях АОП позволяет заключить о высоком уровне активности регуляторных систем в основной группе. В условиях АОП спортсменки демонстрировали более высокие показатели общего спектра мощности, а также колебаний VLF и LF. Коэффициент 30:15 был выше у спортсменок (1,27 усл.ед.) и соответствовал нормальной реакции на АОП. У не спортсменок, напротив, К30:15 (1,19 усл.ед.) соответствовал сниженной реакции в ответ на АОП. Таким образом, в контрольной группе наблюдалась вагусная недостаточность, свидетельствующая о неоптимальном функциональном состоянии.

#### Список литературы

1. **Иорданская Ф.А.** Функциональная подготовленность волейболистов: диагностика, механизмы адаптации, коррекция симптомов дезадаптации. Подготовка женских и мужских команд к соревнованиям. М.: Спорт, 2016. 176 с.
2. **Чайников П.Н., Черкасова В.Г., Кулеш А.М.** Когнитивные функции и умственная работоспособность спортсменов игровых видов спорта // Спортивная медицина: наука и практика. 2017. Т.7, №1. С.79-85. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2017.1.79
3. **Leicht AS, Halliday A, Sinclair WH, D'Auria S, Buchheit M, Kenny G, Stanley J.** Heart Rate Variability Responses to Acute and Repeated Postexercise Sauna in Trained Cyclists // Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2018. Vol.43, №7, P.704-10.
4. **Rabbani A, KaramiBaseri M, Reisi J, Manuel Clemente F, Kargarfard M.** Monitoring Collegiate Soccer Players During a Congested Match Schedule: Heart Rate Variability Versus Subjective Wellness Measures // Physiology & Behavior. 2018. Vol.194. P.527-31.
5. **Черкасова В.Г., Чайников П.Н., Муравьев С.В., Кулеш А.М., Соломатина Н.В.** Клиническая эффективность лекарственного препарата цитофлавин в оптимизации вегетативной регуляции у волейболистов мужского пола// Профилактическая медицина. 2018. Т.21, №3. С.74-78. DOI: 10.17116/profmed201821374
6. **Гаврилова Е.А.** Ритмокардиография в спорте. Издательство СЗГМУ им. И.И. Мечникова, 2014. 164 с.
7. **Ortega E, Wang CJK.** Pre-performance Physiological State: Heart Rate Variability as a Predictor of Shooting

Таким образом, установленное многообразие достоверных отличий и особенностей показателей вариабельности ритма сердца у спортсменов игровых видов спорта в начале тренировочного сезона применимо в практической деятельности для оценки функционального состояния организма.

#### 4. Выводы

1. В начале тренировочного сезона у спортсменов игровых видов спорта, получающих высшее образование, установлена высокая активность и реактивность парасимпатического звена регуляции, что свидетельствует об оптимальном функциональном состоянии адаптационных систем;
2. У спортсменов мужского пола показано преобладание вагальных влияний в покое, а также высокая реактивность парасимпатического контура регуляции в условиях активной ортостатической пробы, в отличие от мужчин, не занимающихся спортом;
3. Вегетативная регуляция женщин, как спортсменок, так и не занимающихся спортом, существенно не отличается и осуществляется по парасимпатическому типу в состоянии покоя. В условиях активной ортостатической пробы спортсменки демонстрировали достоверно более высокую реактивность парасимпатического отдела ВНС.

#### References

1. **Jordanian FA.** Functional preparedness of volleyball players: diagnosis, adaptation mechanisms, correction of disadaptation symptoms. Preparation of women's and men's teams for the competition. Moscow, Sport, 2016. 176 p. Russian.
2. **Chainikov PN, Cherkasova VG, Kulesh AM.** Cognitive functions and mental performance of athletes playing sports. Sports Medicine: Science and Practice. 2017;7(1):79-85 (In Russ). DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2017.1.79
3. **Leicht AS, Halliday A, Sinclair WH, D'Auria S, Buchheit M, Kenny G, Stanley J.** Heart Rate Variability Responses to Acute and Repeated Postexercise Sauna in Trained Cyclists. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2018;43(7):704-10.
4. **Rabbani A, KaramiBaseri M, Reisi J, Manuel Clemente F, Kargarfard M.** Monitoring Collegiate Soccer Players During a Congested Match Schedule: Heart Rate Variability Versus Subjective Wellness Measures. Physiology & Behavior. 2018;194:527-31.
5. **Cherkasova VG, Chainikov PN, Muravyev SV, Kulesh AM, Solomatina NV.** Clinical efficacy of Cytoflavin in optimizing the autonomic regulation of male volley players. The Russian Journal of Preventive Medicine. 2018;21(3):74-78 (In Russ). DOI: 10.17116/profmed201821374
6. **Gavrilova EA.** Rhythmocardiography in sports. Izdatelstvo SZGMU imeni I.I. Mechnikova, 2014, 164 p. (In Russ).
7. **Ortega E, Wang CJK.** Pre-performance Physiological State: Heart Rate Variability as a Predictor of Shooting Performance. Applied Psychophysiology Biofeedback. 2018;43(1):75-85.



Performance // Applied Psychophysiology Biofeedback. 2018. Vol.43, №1. P.75-85.

8. **Omerbegovic M.** Linear Short-Term Heart Rate Variability Parameters of Subjects Tobacco Cigarette Smokers and Subjects Nonsmokers in Preoperative Period // Clinical Trial. 2017. Vol.71, №1. P.12-15.

9. **Михайлов В.М.** Вариабельность ритма сердца (новый взгляд на старую парадигму). Иваново, 2017. 516 с.

10. **Jiménez Morgan S, Arturo Molina Mora J.** Effect of Heart Rate Variability Biofeedback on Sport Performance, a Systematic Review // Applied Psychophysiology Biofeedback. 2017. Vol.42, №3. P.235-45.

11. **Hayano J, Yuda E.** Pitfalls of Assessment of Autonomic Function by Heart Rate Variability // Journal of Physiological Anthropology. 2019. Vol.38, №1. P.3.

12. **Шлык Н.И.** Вариабельность сердечного ритма в покое и ортостазе при разных диапазонах значений MxDMn у лыжниц-гонщиц в тренировочном процессе // Наука и спорт: современные тенденции. 2020. Т.8, №1. С.83-96. DOI: 10.36028/2308-8826-2019-8-1-83-96

13. **Kiss O, Sydó N, Vargha P, Vágó H, Czibalmos C, Édes E, Zima E, Apponyi G, Merkely G, Sydó T, Becker D, Allison TG, Merkely B.** Detailed Heart Rate Variability Analysis in Athletes. Clinical Autonomic Research. 2016. Vol.26, №4. P.245-52.

14. **Möller C, Maarten van Dijk R, Wolf F, Keck M, Potschka H.** Impact of Repeated Kindled Seizures on Heart Rate Rhythms, Heart Rate Variability, and Locomotor Activity in Rats // Epilepsy Behavior. 2019. Vol.92. P.36-44.

15. **Colzato LS, Jongkees BG, de Wit M, van der Molen MJW, Steenbergen L.** Variable Heart Rate and a Flexible Mind: Higher Resting-State Heart Rate Variability Predicts Better Task-Switching // Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience. 2018. Vol.18, №4. P.730-38.

16. **Вецлер М.В., Черкасова В.Г., Ковалев М.А., Муравьев С.В., Чайников П.Н.** Аффективные и диссомнические расстройства у студентов вузов в зависимости от спортивной деятельности // Сибирское медицинское обозрение. 2019. №1. С.63-74. DOI: 10.20333/2500136-2019-1-63-74

8. **Omerbegovic M.** Linear Short-Term Heart Rate Variability Parameters of Subjects Tobacco Cigarette Smokers and Subjects Nonsmokers in Preoperative Period. Clinical Trial. 2017;71(1):12-15.

9. **Mikhailov VM.** Heart rate variability (a new look at an old paradigm). Ivanovo, 2017. 516 p. Russian.

10. **Jiménez Morgan S, Arturo Molina Mora J.** Effect of Heart Rate Variability Biofeedback on Sport Performance, a Systematic Review. Applied Psychophysiology Biofeedback. 2017;42(3):235-45.

11. **Hayano J, Yuda E.** Pitfalls of Assessment of Autonomic Function by Heart Rate Variability. Journal of Physiological Anthropology. 2019;38(1):3.

12. **Shlyk NI.** Heart rate variability at rest and during an orthostatic challenge at different ranges of MxDMn values in female skiers in the training process. Science and sport: current trends. 2019;8(1):83-96 (In Russ). DOI: 10.36028/2308-8826-2019-8-1-83-96

13. **Kiss O, Sydó N, Vargha P, Vágó H, Czibalmos C, Édes E, Zima E, Apponyi G, Merkely G, Sydó T, Becker D, Allison TG, Merkely B.** Detailed Heart Rate Variability Analysis in Athletes. Clinical Autonomic Research. 2016;26(4):245-52.

14. **Möller C, Maarten van Dijk R, Wolf F, Keck M, Potschka H.** Impact of Repeated Kindled Seizures on Heart Rate Rhythms, Heart Rate Variability, and Locomotor Activity in Rats. Epilepsy Behavior. 2019;92:36-44.

15. **Colzato LS, Jongkees BG, de Wit M, van der Molen MJW, Steenbergen L.** Variable Heart Rate and a Flexible Mind: Higher Resting-State Heart Rate Variability Predicts Better Task-Switching. Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience. 2018;18(4):730-38.

16. **Vetsler MV, Cherkasova VG, Kovalev MA, Muravyev SV, Chainikov PN.** Affective disorders and dyssomnias in university students depending on sports activities. Siberian Medical Review.2019;(1):63-74 (In Russ). DOI: 10.20333/2500136-2019-1-63-74

#### Информация об авторах:

**Чайников Павел Николаевич**, доцент кафедры медицинской реабилитации, спортивной медицины, физической культуры и здоровья ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера Минздрава России, к.м.н. ORCIDID: 0000-0002-3158-2969 (+7(905)862-46-64, chainikov.p.n@gmail.com)

**Черкасова Вера Георгиевна**, заведующая кафедрой медицинской реабилитации, спортивной медицины, физической культуры и здоровья ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера Минздрава России, профессор, д.м.н.; ORCIDID: 0000-0002-7372-6457

**Муравьев Сергей Владимирович**, доцент кафедры медицинской реабилитации, спортивной медицины, физической культуры и здоровья ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера Минздрава России, к.м.н.; ORCIDID: 0000-0002-8924-8912

**Кулеш Анна Михайловна**, доцент кафедры медицинской реабилитации, спортивной медицины, физической культуры и здоровья ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера Минздрава России, к.м.н. ORCIDID: 0000-0002-8991-0531

#### Information about the authors:

**Pavel N. Chainikov**, Ph.D. (Medicine), Associate Professor of the Department of Medical Rehabilitation, Sports Medicine, Physical Culture and Health of the Academician Ye.A. Vagner Perm State Medical University. ORCIDID: 0000-0002-3158-2969 (+7(905)862-46-64, chainikov.p.n@gmail.com)

**Vera G. Cherkasova**, M.D., Prof., Head of the Department of Medical Rehabilitation, Sports Medicine, Physical Culture and Health of the Academician Ye.A. Vagner Perm State Medical University. ORCID ID: 0000-0002-7372-6457

**Sergey V. Muraviev**, Ph.D. (Medicine), Associate Professor of the Department of Medical Rehabilitation, Sports Medicine, Physical Culture and Health of the Academician Ye.A. Vagner Perm State Medical University. ORCID ID: 0000-0002-8924-8912

**Anna M. Kulesh**, Ph.D. (Medicine), Associate Professor of the Department of Medical Rehabilitation, Sports Medicine, Physical Culture and Health of the Academician Ye.A. Vagner Perm State Medical University. ORCID ID: 0000-0002-8991-0531

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

*Поступила в редакцию: 15.03.2020*

*Принята к публикации: 22.06.2020*

*Received: 15 March 2020*

*Accepted: 22 June 2020*

### Серия «Библиотека журнала «Спортивная медицина: наука и практика»



#### Тесты с дозируемой физической нагрузкой в спортивной медицине

Ландырь А.П., Ачкасов Е.Е., Медведев И.Б.

В книге даются рекомендации по проведению тестов с дозированной субмаксимальной и максимальной физической нагрузкой на велоэргометрах, движущейся дорожке, гребном эргометре и при выполнении степ-теста для спортсменов разных видов спорта и разного уровня спортивного мастерства, а также занимающихся оздоровительной физической культурой. Приводятся примеры расчета и оценки определяемых функциональных показателей и даются практические рекомендации по проведению заключительной оценки результатов выполненного теста.

Книга рассчитана на спортивных врачей, тренеров и спортсменов для получения информации об особенностях адаптации организма к дозированным физическим нагрузкам и лучшего понимания результатов проведенного обследования.

Книгу можно заказать на сайте издательства «Спорт»: <http://www.olimpypress.ru/>