



# Спортивная Медицина:

наука и практика



*Sports  
Medicine:*

*research and practice*

T. 16 №1

2026



# КЛИНИКА ЛУЖНИКИ

спортивная медицина

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

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

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





СЕЧЕНОВСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



КЛИНИКА ЛУЖНИКИ  
спортивная медицина

#### УЧРЕДИТЕЛИ:

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

# Спортивная медицина: наука и практика

## научно-практический журнал

#### ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

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

#### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

#### ЗАМЕСТИТЕЛИ

##### ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

**Медведев И.Б.** — проф., д.м.н.

#### НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР

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

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Оганесян А.С.** — проф., д.б.н.

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

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

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

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

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

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

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

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

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



СЕЧЕНОВСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



КЛИНИКА ЛУЖНИКИ  
СПОРТИВНАЯ МЕДИЦИНА

## Founded by:

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

# Sports Medicine: Research and Practice

research and practical journal

## FOCUS AND SCOPE

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

## EDITOR-IN-CHIEF

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

## ASSOCIATE EDITORS

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

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

## SCIENTIFIC EDITOR

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

## EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## РУБРИКИ ЖУРНАЛА:

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

## ВИДЫ ПУБЛИКУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ:

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

## Издатель:

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

## Заведующий редакцией:

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

## Редакция:

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

## Типография:

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

## Сайт:

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

Подписано в печать 20.06.2026  
Формат 60x90/8  
Тираж 1000 экз.  
Цена договорная

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

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

Плата за публикацию статей в журнале с аспирантов не взимается.

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

Журнал издается с 2011 года

Периодичность — 4 выпуска в год

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» — 90998

© Спортивная медицина: наука и практика, оформление, 2026

## СОДЕРЖАНИЕ

### Заболевания спортсменов

**Комолятова В.Н., Макаров Л.М., Аюбян А.Г., Беспорточный Д.А.**  
Алгоритм обследования спортсменов с удлинением интервала QT на стандартной электрокардиограмме ..... 5

### Физиология и биохимия спорта

**Дикунец М.А., Дудко Г.А., Архиткин А.А., Крючков А.С., Абалян А.Г.**  
Оценка точности измерения лактата в крови спортсменов с использованием трех портативных анализаторов ..... 12

**Мякинченко Е.Б., Волков М.В., Крючков А.С., Мисина С.С.**  
Показатели телосложения, физической подготовленности и кинематических характеристик техники бега у биатлонистов высокого класса с различной дистанционной скоростью в сезоне ..... 24

**Исаева Е.Е., Даутова А.З., Науразбаева Э.А., Ахъямова А.И., Шамратова В.Г.**  
Особенности взаимодействия компонентов кислородного транспорта у юношей в зависимости от физической активности и полиморфизма гена ACE ..... 33

### Спортивная травматология

**Юрий А.В., Орлов Б.Б., Шпагин К.Ю., Кащенко В.А., Коптеев Н.Р., Буданов Д.С., Карлов Т.Д.**  
Хроническая паховая боль у спортсменов. Трудности терминологии. Литературный обзор ..... 43

**Безуглов Э.Н., Гринченко А.П., Малякин Г.И., Хайтин В.Ю., Бутовский М.С., Виноградов М., Гончаров Е.Н., Ветошкин А.А.**  
Согласованность МРТ-диагностики острых повреждений мышц нижних конечностей в профессиональном футболе: роль радиологов в реализации корректного протокола реабилитации. .... 50

**Чупа И.В., Ачкасов Е.Е., Николенко В.Н., Гридин Л.А., Куршев В.В., Медведева А.И.**  
Морфо-антропометрические особенности стоп у бегунов на длинные дистанции. .... 59

### Реабилитация

**Фарид Рахман, Мухаммад Шамиль Муваффах, Ризки Фебрианша, Мухаммад Райхан Ишад, Азлияна Азизан**  
Оценка гибкости мышц задней группы бедра: сравнительное исследование бегунов по пересеченной местности и шоссе ..... 67

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

Scopus

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА  
eLIBRARY.RU

ULRICHSWEB™  
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

РУКОНТ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ РЕСУРС

INFOBASE INDEX

Crossref

SIS  
Scientific Indexing Services

INDEX COPERNICUS  
INTERNATIONAL

**FEATURED TOPICS:**

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

**TYPES OF PUBLISHED MATERIALS:**

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

**Publisher:**

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

**Deputy editor:**

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

**Editorial Office:**

2-9, Bolshaya Pirogovskaya str., Moscow, 119435, Russia

**Printed by**

Publishing House Triada, Ltd.  
9, office 514, Tchaikovsky ave., Tver, 170034, Russia

**Websites:**

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

Signed for printing: 20 June 2026  
60x90/8 Format  
1000 Copies

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

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

There is no publication fee for postgraduate students.

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

Published since 2011

4 issues per year

«Russian Press» catalog index — 90998

© Sports medicine: research and practice, layout, 2026

**CONTENTS**

**Sports diseases**

*Vera N. Komoliatova, Leonid M. Makarov, Akopyan, Dmitrii A. Besportochnii*  
The algorithm of examination athletes with prolongation QT interval in ECG . . . . . 5

**Sports physiology and biochemistry**

*Marina A. Dikunets, Grigory A. Dudko, Alexander A. Arkhipkin, Andrey S. Kryuchkov, Avak G. Abalyan*  
Assessment of blood lactate measurement accuracy in athletes using three portable analyzers . . . . . 12

*Evgeny B. Myakinchenko, Maksim V. Volkov, Andrey S. Kriuchkov, Svetlana S. Missina*  
Indicators of physique, physical fitness and kinematic characteristics of running technique in high-class biathlete with various distance speeds in the season . . . . . 24

*Ekaterina E. Isaeva, Albina Z. Dautova, Emilia A. Naurazbaeva, Alina I. Akhyamova, Valentina G. Shamratova*  
Peculiarities of interaction of oxygen transport components in young men depending on physical activity and ACE gene polymorphism . . . . . 33

**Sports traumatology**

*Aleksey V. Yuri, Bogdan B. Orlov, Konstantin Yu. Shpagin, Viktor A. Kashchenko, Nikita R. Kopteyev, Dmitry S. Budanov, Timofey D. Karlov*  
Chronic groin pain in athletes. terminology challenges. A literature review . . . . . 43

*Eduard N. Bezuglov, Alesya P. Grinchenko, Georgy I. Malyakin, Vladimir Yu. Khaitin, Mikhail S. Butovsky, Mikhail Vinogradov, Evgeny N. Goncharov, Alexander A. Vetoshkin*  
Consistency of MRI diagnosis of acute lower limb muscle injuries in professional football: The role of radiologists in implementing an accurate rehabilitation protocol . . . . . 50

*Ilya V. Chupa, Evgeniy E. Achkasov, Vladimir N. Nikolenko, Leonid A. Gridin, Vladislav V. Kurshev, Anna I. Medvedeva*  
Morpho-anthropometric characteristics of the feet in long-distance runners . . . . . 59

**Rehabilitation**

*Farid Rahman, Muhammad Shamil Muwaffaq, Rizqy Febriansyah, Muhammad Raihan Ishad, Azliyana Azizan*  
Posterior thigh muscles flexibility profiling: A comparative study of trail and road runners . . . . 67

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



I N T E R N A T I O N A L



## Алгоритм обследования спортсменов с удлинением интервала QT на стандартной электрокардиограмме

Комолятова В.Н.<sup>1,2,\*</sup>, Макаров Л.М.<sup>1,2</sup>, Акоюн А.Г.<sup>1,3</sup>, Беспорточный Д.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр детей и подростков Федерального медико-биологического агентства», Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

<sup>3</sup> Медико-биологический университет инноваций и непрерывного образования ФМБЦ им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** разработка алгоритма обследования юных спортсменов с удлинением интервала QT на стандартной ЭКГ.

**Материалы и методы.** На основе анализа литературы и собственного опыта разработан алгоритм обследования спортсменов с удлинением интервала QT на ЭКГ.

**Результаты.** Предложен алгоритм обследования, включающий последовательное обследование и допуск к спорту спортсменов с удлинением интервала QT (QTc на ЭКГ более 460 мс) с целью дифференциальной диагностики причин для его удлинения.

**Заключение.** Предложенный алгоритм обследования спортсменов с удлинением интервала QT на ЭКГ может применяться с целью дифференциальной диагностики синдрома удлиненного интервала QT и вторичного удлинения, вызванного перетренированностью. Его использование позволит оптимизировать стоимость обследования и избежать необоснованных дорогостоящих обследований у спортсменов с вторичным или стресс-индуцированным удлинением интервала QT.

**Ключевые слова:** спортсмены, удлинение интервала QT, алгоритм обследования

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

**Финансирование:** исследование проведено в рамках выполнения государственного задания: рег. № 125050605765–8 «Развитие персонализированного подхода в ведении несовершеннолетних спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации», шифр «Дети в спорте –25/27».

**Для цитирования:** Комолятова В.Н., Макаров Л.М., Акоюн А.Г., Беспорточный Д.А. Алгоритм обследования спортсменов с удлинением интервала QT на стандартной электрокардиограмме. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2026;16(1):5–11. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.3>

Поступила в редакцию: 19.12.2025

Принята к публикации: 05.02.2026

Online first: 13.02.2026

Опубликована: 20.06.2026

\* Автор, ответственный за переписку

# The algorithm of examination athletes with prolongation QT interval in ECG

Vera N. Komoliatova<sup>1,2,\*</sup>, Leonid M. Makarov<sup>1,2</sup>, Akopyan<sup>1,3</sup>, Dmitrii A. Besportochnii<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Scientific and Clinical Center for Children and Adolescents, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Institution of State Research Center of Russian Federation - FMBC after A.I. Burnazyan of FMBA of Russia, Moscow, Russia

## ABSTRACT

**The aim of the study:** to develop the algorithm for the examination of the young athletes with prolongation of the QT interval on a standard ECG.

**Materials and methods:** based on the analysis of literature and our own experience, an algorithm for examining athletes with a prolongation of the QT interval on an ECG has been developed.

**Results.** the algorithm of examination includes sequential examination and sport admission of the athletes with prolongation of QT interval (QTc on an ECG more than 460 ms) in order to differentiate diagnosis of its prolongation.

**Conclusion.** The proposed algorithm for examining athletes with QT prolongation on an ECG can be used for the differential diagnosis of long QT syndrome and secondary prolongation caused by overtraining. Its use will optimize the cost of the examination and avoid unjustified expensive examinations in athletes with secondary or stress-induced prolongation of the QT interval.

**Keywords:** athletes, long QT interval, algorithm of examination

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

**Funding:** The scientific research was carried out on the basis of fulfillment of the State task: "Development of a personalized approach in the management of young athletes of sports teams of the Russian Federation" (code "Children in sports -25/27"). Registration number. No. 125050605765-8

**For citation:** Komoliatova V.N., Makarov L.M., Akopyan A.G, Besportochnii D.A. The algorithm of examination athletes with prolongation QT interval in ECG. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2026;16(1):5–11. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.3>

**Received:** 19 December 2025

**Accepted:** 05 February 2026

**Online first:** 13 April 2026

**Published:** 20 June 2026

\*Corresponding author

## 1. Введение

Интервал QT является одним из наиболее важных параметров оценки электрокардиограммы (ЭКГ) юных спортсменов, так как его патологическое удлинение может рассматриваться как маркер риска опасных желудочковых аритмий, что требует обязательного дообследования для уточнения причин изменения [1]. Удлинение интервала QT встречается среди российских спортсменов достаточно часто. До 45% временных или постоянных отводов от занятий спортом по сердечно-сосудистым заболеваниям приходится на удлинение интервала QT, что составляет 4% среди всех спортсменов, проходящих углубленное медицинское обследование [2]. Частота выявления первичного, генетически подтвержденного синдрома удлиненного интервала QT (СУИQT) остается невысокой и составляет около 0,4% среди высокотренированных российских юных спортсменов [2]. В исследовании Basavarajaiah и соавт. с участием элитных спортсменов распространенность удлинения интервала QT также составила 0,4% [3]

Значительно чаще причинами для удлинения интервала QT и отводов от занятий спортом становятся вторичные факторы, выявление и устранение которых позволяет его нормализовать и снизить риск развития опасных аритмий [4]. В то же время важность

корректной диагностики и своевременность выявления первичного, генетически обусловленного, синдрома удлиненного интервала QT трудно переоценить. Вовремя не выявленный СУИQT может привести к трагическим последствиям, а ошибочно поставленный диагноз — необоснованно ограничить занятия спортом. Поэтому необходимо использовать четкий алгоритм обследования, что позволит провести дифференциально-диагностический поиск между вторичным удлинением интервала QT, которое может быть обусловлено в том числе и интенсивными физическим нагрузками.

**Цель исследования:** разработка алгоритма обследования юных спортсменов с удлинением интервала QT на стандартной электрокардиограмме.

## 2. Материалы и методы

В исследовании были суммированы данные литературы и результаты собственного длительного опыта (более 15 лет) обследования юных спортсменов уровня высшего спортивного мастерства, проходящих регулярно углубленное медицинское обследование на базе ФНКЦ детей и подростков ФМБА России и ведения больных с синдромом удлиненного интервала QT. По состоянию на март 2026 года в Центре синкопальных состояний и сердечных аритмий у детей и подростков наблюдается более 250 детей с этим заболеванием.

Поиск литературы проводился с глубиной поиска 10 лет в базах международного и российского цитирования (PubMed, Scopus, Web of Science, РИНЦ, Cyberleninka) с использованием сочетаний слов «удлинение интервала QT у юных элитных спортсменов» и «синдром удлиненного интервала QT и спорт». В результате поиска было обнаружено 134 статьи, из которых были исключены материалы, посвященные поиску оптимальных формул для коррекции интервала QT по ЧСС (QTc), анализу течения синдрома удлиненного интервала QT у детей, в том числе занимающихся спортом, оценке влияния различных медикаментозных препаратов на величину интервала QT у детей. Таким образом, после детального анализа было отобрано 29 статей, которые в основном являлись обзорами по проблеме удлинения интервала QT у спортсменов.

### 3. Результаты

Разработанный алгоритм обследования спортсменов с удлиненным интервалом QT включает в себя тщательно собранный анамнез с обязательным акцентом на выявлении случаев внезапной смерти в семье среди молодых родственников в возрасте до 50 лет и наличием у них синкопальных состояний (рис. 1). Необходимо также выяснять факт синкопальных состояний у самого спортсмена, подробно прояснять обстоятельства, при которых он теряет сознание. Особого внимания должны заслуживать эпизоды потери сознания, возникающие на фоне физических нагрузок, при контакте с водой, на фоне резких звуков, так как именно эти провоцирующие факторы могут указывать на наличие СУИQT [5].

С учетом того, что удлинение интервала QT может быть обусловлено интенсивными физическими нагрузками, необходимо уточнить у спортсмена в какой фазе тренировочного цикла он находится (проводятся ли усиленные тренировки перед ответственными соревнованиями или соревнования уже закончились, какой объем тренировок в настоящий момент, как давно были спортивные сборы и так далее), как давно у спортсмена был отдых от тренировок (в течение не менее одной недели). Собирая анамнез, требуется уточнить, принимает ли спортсмен какую-либо лекарственную терапию, так как некоторые препараты, которые используются в лечении других заболеваний, могут удлинять интервал QT на ЭКГ. Подробный список этих препаратов можно найти на сайте [www.crediblemeds.org](http://www.crediblemeds.org).

После осмотра всем спортсменам проводится стандартная 12-канальная ЭКГ в положении лежа на спине после 5-минутного отдыха (клиноположение) с оценкой стандартных показателей: частота сердечных сокращений (ЧСС), продолжительность интервала QT (в мс) — интервал от начала зубца Q до окончания зубца T, при этом зубец U из анализа исключается.

Величина интервала QT определяется методом наклона или тангенциальным методом во II стандартном

или V5 отведениях, далее рассчитывается скорректированный интервал QT (QTc) по общепризнанной формуле Базетта ( $QTc \text{ (мс)} = QT \text{ (мс)} / \sqrt{R-R \text{ (сек)}}$ ). В случае изменения частоты сердечных сокращений, что встречается при выраженной дыхательной аритмии, рассчитывается средний интервал QTc на основе анализа трех последовательных сердечных циклов [6]. Для детей нормальным значением интервала QTc на стандартной ЭКГ считается значение от 360 до 440 мс [7]. Для взрослых мужчин используются значения свыше 450 мс, у женщин — более 460 мс [4, 6]. Согласно международным критериям по оценке интервала QT у элитных спортсменов, продолжительность интервала QTc у лиц мужского пола — не выше 470 мс, у девушек — 480 мс на стандартной ЭКГ покоя [8]. У детей-спортсменов за удлинение интервала QT принята цифра 460 мс [9].

В случае выявления брадикардии на ЭКГ (ЧСС менее 60 уд/мин) рекомендуется использовать умеренные аэробные нагрузки для повышения ЧСС, так как при использовании формулы Базетта для оценки скорректированного интервала QT на фоне низкой ЧСС можно получить ложно отрицательный результат [8]. С этой целью может быть использован кистевой эспандер. Проводится проба по следующей методике: не меняя положения тела спортсмен доминантной рукой в течение 20–30 секунд ритмично сжимает кистевой эспандер с сопротивлением 20 кг до увеличения ЧСС более 60 уд/мин, после чего вновь регистрируется 12-канальная ЭКГ [10]. Увеличение интервала QTc более 460 мс при этой пробе свидетельствует об удлинении интервала QT. Еще одна проба, которая используется дополнительно для выявления удлинения — снятие ЭКГ в ранний период ортостаза. Спортсмену предлагается встать, сразу после изменения положения тела с горизонтального на вертикальное, после стабилизации изолинии, снимается ЭКГ, где, как и в горизонтальном положении, оценивается ЧСС, интервал QT и QTc [11]. Увеличение интервала QTc более 500 мс в ранний период ортостаза свидетельствует об удлинении интервала QT. После подтверждения удлинения интервала QT на этих пробах спортсмен временно отводится от занятий спортом до результатов дообследования.

В качестве обследований первой линии используется эхокардиография (ЭхоКГ), нагрузочное тестирование с оценкой интервала QT на четвертой минуте восстановления, холтеровское мониторирование с автоматическим анализом интервала QT. Проведение ЭхоКГ необходимо для оценки размеров сердца, сократительной способности, массы миокарда, так как существуют данные, демонстрирующие, что удлинение интервала QT на ЭКГ может сопутствовать кардиомиопатиям и клапанным порокам сердца [12–15]. В случае подозрения на наличие каких-либо структурных заболеваний сердца спортсмен направляется на проведение магнитно-резонансной томографии сердца с контрастированием, и по его результатам решается вопрос о необходимости

продолжения обследования, лечения и возвращения в спорт.

Нагрузочное тестирование проводится на велоэргометре в вертикальном положении по протоколу PWC 170. Начальная нагрузка составляет 1–1,5 Вт/кг

с последующим ступенчатым увеличением на 25 Вт каждые две минуты при частоте вращения педалей 60 об/мин до достижения ЧСС 170 уд/мин. После прекращения нагрузки следует короткий период восстановления в течение трех минут и далее две минуты полного отдыха:

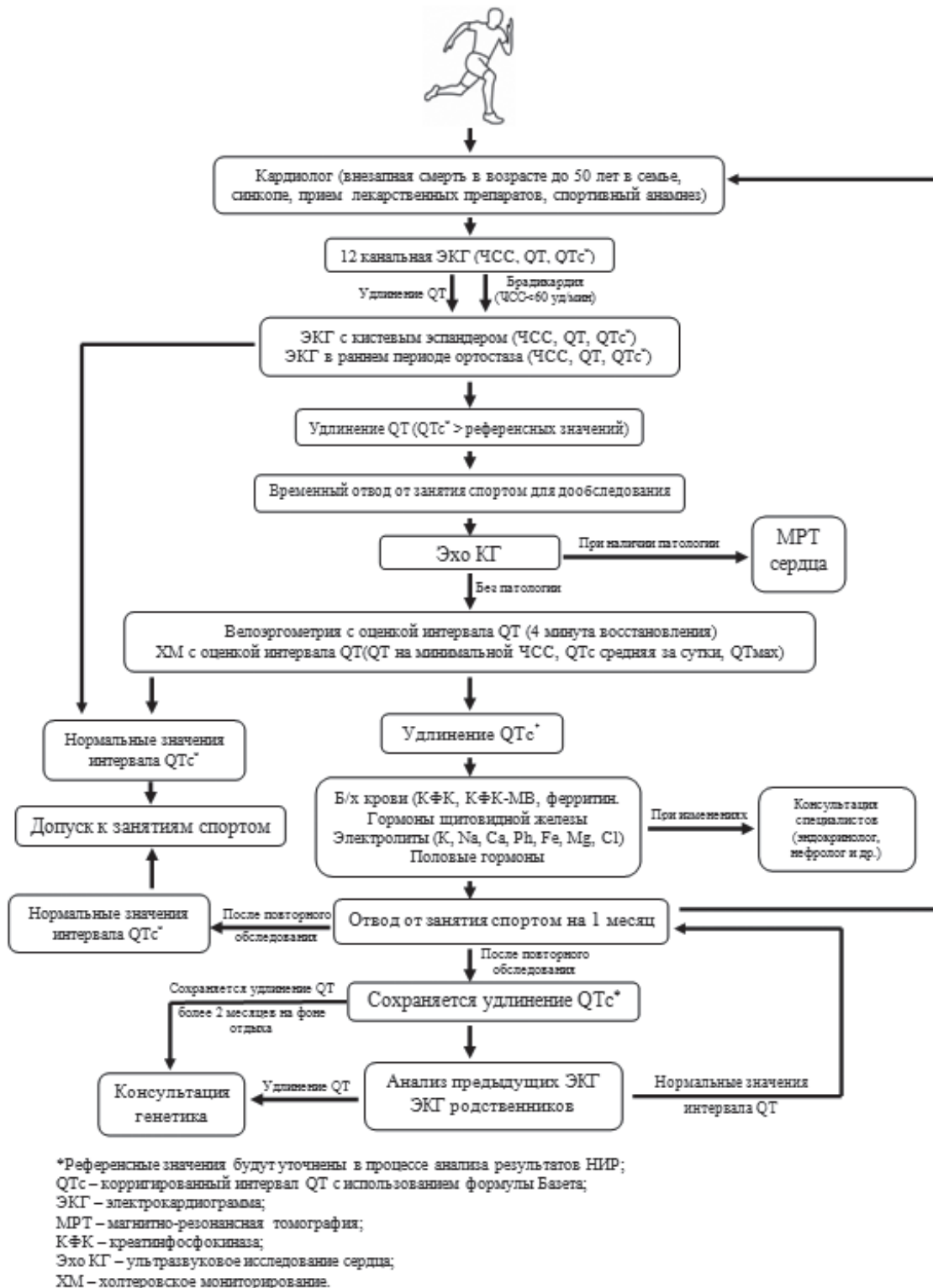


Рис. 1. Алгоритм обследования спортсменов с удлинением интервала QT на ЭКГ покоя  
 Fig. 1. The algorithm of examination athletes with prolongation QT interval in ECG

ЧСС и интервалы QT, QTc определяются на четвертой минуте в период восстановления. Увеличение интервала QTc более 480 мс входит в критерии постановки диагноза синдрома удлиненного интервала QT [16].

Всем спортсменам с удлинением интервала QT на стандартной ЭКГ проводится холтеровское мониторирование (ХМ) с анализом интервала QT, вручную или мануально оценивается продолжительность интервала QT на минимальной ЧСС, значение которого не должно превышать 530 мс [17]. Автоматический анализ интервала QT при ХМ оценивает среднюю продолжительность интервала QTc за сутки, максимальную продолжительность интервала QT, процент удлинения интервала QT более 450 мс в течение суток. Средняя продолжительность интервала QTc за сутки у детей-спортсменов не должна превышать 460 мс, максимальная продолжительность интервала QT у спортсменов может достигать 530 мс, а процент удлинения интервала QTc более 450 мс не выше 65% [18, 19]. В качестве дополнительного критерия может быть использован метод «QT динамики», отражающий адаптацию интервала QT к изменениям ЧСС. Он оценивается с использованием уравнения линейной зависимости между интервалами QT и RR. Для спортсменов характерна гипoadaptация интервала QT [20]. Помимо оценки интервала QT необходимо исключить наличие эпизодов желудочковой тахикардии и эпизодов альтернации зубца Т — последовательного чередования изменения амплитуды и/или полярности зубца Т в соседних сокращениях.

После проведения всего комплекса обследований первой линии проводится анализ результатов. В случае нормальной продолжительности интервала QT при дополнительных тестах (ЭКГ-пробы, велоэргометрия, холтеровское мониторирование) удлинение интервала QT на стандартной ЭКГ расценивается как транзитное и спортсмену разрешается вернуться к занятиям спортом. При подтверждении на этих исследованиях удлинения QT необходимо исключить его вторичные причины. Проводится анализ электролитов крови (калий, натрий, магний, кальций, фосфор, железо), снижение которых может приводить к удлинению интервала QT, также как и снижение уровня гормонов щитовидной железы. При выявлении изменений в этих тестах и необходимости спортсмен может быть направлен к другим специалистам (эндокринолог, нефролог и др.) для дальнейшего обследования, коррекции выявленных изменений и решения вопроса о допуске к спорту. На факт перетренированности может указывать значительное повышение уровня общей креатинфосфокиназы в крови. Также это состояние сопровождается выраженными снижениями показателей вариабельности ритма сердца, определяемыми при проведении ХМ.

При отсутствии данных о вторичном характере удлинения интервала QT рекомендуется отвести спортсмена от занятий спортом с последующим повторным обследованием. Существует данные, убедительно

доказывающие, что после четырех месяцев отдыха у спортсменов без первичного, генетически обусловленного СУИQT, отмечается существенное укорочение этого интервала на ЭКГ [21]. Иногда для полной нормализации ЭКГ бывает достаточно отдыха длительностью 1–2 месяца.

При сохранении удлинения интервала QT после отдыха проводится анализ предыдущих электрокардиограмм спортсмена, анализ интервала QT на ЭКГ ближайших родственников и при стабильном характере удлинения интервала QT или наличии удлинения интервала QT на семейных электрокардиограммах спортсменов направляется на консультацию к генетику и проведение молекулярно-генетического обследования для выявления мутаций в генах, отвечающих за развитие СУИQT. До результатов молекулярно-генетического обследования спортсменов отводится от занятий спортом.

#### 4. Обсуждение

Одной из основных причин для отвода от занятий спортом с целью дообследования является сердечно-сосудистая патология. [2, 22]. В настоящий момент в мире не существует алгоритмов диагностики спортсменов с удлиненным интервалом QT. В 2022 году был опубликован обзор по обследованию спортсменов с удлинением интервала QT, но в нем не предложен четкий алгоритм обследования, а при удлинении интервала QT его авторы рекомендуют сразу проведение молекулярно-генетического обследования [23]. Такой подход нельзя назвать оправданным не только потому, что исследование достаточно дорогое, но и потому, что часто в проведении его нет необходимости, так как интервал QT может значительно укорачиваться после периода detrенинга [21].

В целом у спортсменов, в том числе юных, интервал QT длиннее, что может быть обусловлено большей массой миокарда у интенсивно занимающихся спортом атлетов [24]. Предложенные для спортсменов нормативные параметры продолжительности интервала QT (у лиц мужского пола QTc не выше 470 мс, женского — 480 мс на стандартной ЭКГ покоя) [8] могут перекрывать критерии диагностики синдрома удлиненного интервала QT [16], так удлинение QTc более 460 мс дает 1 балл в критерии постановки диагноза, а от 470 до 480 мс — 2 балла. Поэтому необходимо использование полного алгоритма обследования, что позволит не пропустить синдром удлиненного интервала QT, вовремя назначить терапию и решить вопрос с возможностью продолжения занятий спортом. Использование дополнительных параметров ЭКГ, таких как увеличение продолжительности интервала QTc более 500 мс в ранний период ортостаза и более 460 мс в пробе с кистевым эспандером, на популяции больных с СУИQT можно считать высоко чувствительными и специфичными для этой группы больных [10, 11]. Их использование позволит лучше выявлять спортсменов с удлинением интервала QT и проводить дифференциально-диагностический поиск причин для этого

удлинения: поэтому их включение в алгоритм обследования можно считать целесообразным.

### 5. Заключение

Предложенный алгоритм обследования спортсменов с удлинением интервала QT на ЭКГ может применяться

#### Вклад авторов:

**Комолятова Вера Николаевна** — разработка концепции, написание текста статьи, редактирование, утверждение финальной версии статьи.

**Макаров Леонид Михайлович** — разработка концепции редактирование, утверждение финальной версии.

**Акопян Ануш Григорьевна** — обзор литературы, написание текста статьи, редактирование.

**Беспорточный Дмитрий Алексеевич** — написание текста статьи, оформление рисунков.

### Список литературы / References

1. Zeppilli P, Biffi A, Cammarano M, Corrado D, Castelletti S, Cavarretta E, Cecchi F, et al. Italian Cardiological Guidelines (COCIS) for Competitive Sport Eligibility in athletes with heart disease: update 2024. *Minerva Med.* 2024;115(5):533–564. <https://doi.org/10.23736/s0026-4806.24.09519-3>
2. Макаров Л.М., Комолятова В.Н., Аксенова Н.В. Анализ причин отводов от занятий спортом юных элитных спортсменов. *Рос. вестн. перинатол и педиатр* 2020;65(6):65–71. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-6-65-71>
3. Basavarajaiah S, Wilson M, Whyte G, Shah A, Behr E, Sharma S. Prevalence and significance of an isolated long QT interval in elite athletes. *Eur. Heart J.* 2007;28(23):2944–2949. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehm404>
4. Юнисова А.С., Смоленский А.В. Приобретенное удлинение интервала QT у спортсменов. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2021;11(4):17–25. <https://doi.org/10.47529/22232524.2021.4.3>
5. Wilde A.A.M., Amin A.S., Postema P.G. Diagnosis, management and therapeutic strategies for congenital long QT syndrome. *Heart.* 2022;108(5):332–338. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2020-318259>
6. Комолятова В.Н., Шаблинова Т.С., Дроздов Д.В., Карпова И.Е., Козловская И.Л., Макаров Л.М. Интервал QT на электрокардиограмме покоя: значение и методы измерения. *Вестник аритмологии.* 2024;31(2):e15–e23. <https://doi.org/10.35336/VA-1301>
7. Макаров Л.М., Киселева И.И., Комолятова В.Н., Федина Н.Н. Новые нормы и интерпретации детской электрокардиограммы. *Педиатрия им. Г.Н. Сперанского.* 2015;94(2):63–68.
8. Sharma S, Drezner J.A., Baggish A., Papadakis M., Wilson M.G., Prutkin J.M., et al. International recommendations for electrocardiographic interpretation in athletes. *Eur. Heart J.* 2017;39(16):1466–1480. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw631>
9. Ragazzoni G.L., Cavigli L., Cavarretta E., Maffei S., Mandoli G.E., Pastore M.C., et al. How to evaluate resting ECG and imaging in children practising sport: a critical review and proposal of an algorithm for ECG interpretation. *Eur. J. Prev. Cardiol.* 2023;30(5):375–383. <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwac218>
10. Комолятова В.Н., Макаров Л.М., Акопян А.Г., Комаров А.Н., Аксенова Н.В., Беспорточный Д.А. Handgrip-

с целью дифференциальной диагностики СУИQT и вторичного удлинения интервала QT, вызванного перетренированностью. Его использование позволит оптимизировать стоимость обследования у спортсменов с вторичным или стресс-индуцированным удлинением интервала QT.

#### Authors' contributions:

**Vera N. Komoliatova** — development of the researches, writing the text, editing the text, approval of the final version.

**Leonid M. Makarov** — development of the researches, editing the text, approval of the final version.

**Anush G. Akopyan** — analysis of literature sources, writing the text, editing the text

**Dmitriy A. Besportochnii** — writing the text, design of the picture

тест в диагностике синдрома удлиненного интервала QT. *Российский кардиологический журнал.* 2024;29(2S):5762. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-5762>

11. Комолятова В.Н., Макаров Л.М., Киселева И.И., Беспорточный Д.А., Дмитриева А.В., Балыкова Л.А., Паршина Т.С. Изменение интервала QT в ортостазе – новый диагностический маркер синдрома удлиненного интервала QT. *Медицинский алфавит* 2019;22(2):18–21. [https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-2-21\(396\)-18-21](https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-2-21(396)-18-21)

12. Patel S.I., Ackerman M.J., Shamoun F.E., Geske J.B., Ommen S.R., Love W.T., Cha S.S., Bos J.M., Lester S. QT prolongation and sudden cardiac death risk in hypertrophic cardiomyopathy. *Acta Cardiol.* 2019;74(1):53–58. <https://doi.org/10.1080/00015385.2018.1440905>

13. Dilaveris P., Vassilopoulos C., Tsagga E., Vavuranakis M., Stefanadis C. Torsades de pointes as a cause of sudden death in a patient with aortic stenosis and atrial fibrillation. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2006;11(3):284–286. <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2006.00117.x>

14. Hong-liang Z., Qin L, Zhi-hong L., Zhi-hui Z, Zhi-hui Z., Chang-ming X., Xin-hai N., Jian-guo H., Ying-jie W., Shu, Z. Heart rate-corrected QT interval and QT dispersion in patients with pulmonary hypertension. *Wien. Klin. Wochenschr.* 2009;121(9-10):330–333. <https://doi.org/10.1007/s00508-009-1184-9>

15. Шарыкин А.С., Бадтиева В.А., Иванова Ю.М., Усманов Д.М. Возможности эхокардиографического скрининга у спортсменов. Часть 2. Структурные изменения сердца. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2023;13(1):5–20. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.1.11>

16. Schwartz P.J., Crotti L. QTc Behavior During Exercise and Genetic Testing for the Long-QT Syndrome. *Circulation* 2011;124(20):2181–2184; <https://doi.org/10.1161/circulationaha.111.062182>

17. Макаров Л.М., Комолятова В.Н., Куприянова О.О., Первова Е.В., Рябыкина Г.В., Соболев А.В., и др. Национальные российские рекомендации по применению методики холтеровского мониторирования в клинической практике. *Российский кардиологический журнал* 2014;(2):6–71. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2014-2-6-71>

18. Folansbee C.W., Beerman L., Arora G. Automated QT analysis on Holter monitors in pediatric patients can differentia-

tive long QT syndrome from controls. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2018;41(1):50–56. <https://doi.org/10.1111/pace.13244>

19. **Makarov L., Komoliatova V., Zaklyazminskaya E., Dmitrieva A.** Ambulatory ECG Monitoring in Patients With Long QT Syndrome. *Circulation.* 2018;138(1). [https://doi.org/10.1161/circ.138.suppl\\_1.12768](https://doi.org/10.1161/circ.138.suppl_1.12768)

20. **Genovesi S., Zaccaria D., Rossi E., Valsecchi M.G., Stella A., Stramba-Badiale M.** Effects of exercise training on heart rate and QT interval in healthy young individuals: are there gender differences? *Europace.* 2007;9(1):55–60. <https://doi.org/10.1093/europace/eul145>

21. **Dagradi F., Spazzolini C., Castelletti S., Pedrazzini M., Kotta M.-C., Crotti L., Schwartz P.J.** Exercise Training-Induced Repolarization Abnormalities Masquerading as Congenital Long QT Syndrome. *Circulation* 2020;142(25):2405–2415. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.120.048916>

#### Информация об авторах:

**Комолятова Вера Николаевна**, д.м.н., врач Центра синкопальных состояний и сердечных аритмий ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр детей и подростков Федерального медико-биологического агентства», Россия, 115409, Москва, ул. Москворечье, 20; профессор кафедры педиатрии им. Н.Г. Сперанского ФГБОУ «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Россия, 125993, Москва, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3691-7449> (verakom@list.ru)

**Макаров Леонид Михайлович**, д.м.н., профессор, руководитель Центра синкопальных состояний и сердечных аритмий у детей и подростков ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр детей и подростков Федерального медико-биологического агентства», Россия, 115409, Москва, ул. Москворечье, 20; профессор кафедры клинической физиологии и функциональной диагностики, профессор кафедры педиатрии им Н.Г. Сперанского ФГБОУ «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Россия, 125993, Москва, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0111-3643> (dr.leonidmakarov@mail.ru)

**Акопян Ануш Григорьевна**, врач Центра синкопальных состояний и сердечных аритмий у детей и подростков ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр детей и подростков Федерального медико-биологического агентства», Россия, 115409, Москва, ул. Москворечье, 20; Медико-биологический университет инноваций и непрерывного образования ФМБЦ им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства, Москва, 123098 Россия, ул. Живописная д. 46, стр. 8. ORCID: 0000-0002-4867-0594 (anushik.a.g@mail.ru)

**Беспорточный Дмитрий Алексеевич**, врач Центра синкопальных состояний и сердечных аритмий у детей и подростков ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр детей и подростков Федерального медико-биологического агентства», Россия, 115409, Москва, ул. Москворечье, 20. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3699-2289> (dr.blad@mail.ru)

#### Information about the authors:

**Vera N. Komoliatova\***, Dr. Sci. (Med.), physician of Federal Scientific and Clinical Center for Children and Adolescents? Center for Syncope and Cardiac Arrhythmias, 20 Moskvorechye str., Moscow, 115409, Russia; Professor of Department of Pediatrics of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, 2/1 bldg. 1 Barrikadnaya str., Moscow, 125993, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000000236917449> (verakom@list.ru)

**Leonid M. Makarov**, Dr. Sci. (Med.), Head of Center for Syncope and Cardiac Arrhythmias, of Federal Scientific and Clinical Center for Children and Adolescents, 20 Moskvorechye str., Moscow, 115409, Russia; Professor of Department of Pediatrics of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, 2/1 bldg. 1 Barrikadnaya str., Moscow, 125993, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000000201113643> (dr.leonidmakarov@mail.ru)

**Anush G. Akopyan**, physician of Federal Scientific and Clinical Center for Children and Adolescents. Center for Syncope and Cardiac Arrhythmias, 20 Moskvorechye str., Moscow, 115409, Russia; A.I. Burnazyan Federal Medical and Biological Center University of Medical and Biological Innovation and Continuing Education, Federal Medical and Biological Agency, 46 bldg. 8, Zhivopisnaya str., 123098, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000000248670594> (anushik.a.g@mail.ru)

**Dmitriy A. Besportochii**, doctor of Federal Scientific and Clinical Center for Children and Adolescents. Center for Syncope and Cardiac Arrhythmias, 20 Moskvorechye str., Moscow, 115409, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000000236992289> (dr.blad@mail.ru)

\* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

DOI: <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.7>

УДК: 53.088.3

Тип статьи: Оригинальная статья / Original research



## Оценка точности измерения лактата в крови спортсменов с использованием трех портативных анализаторов

Дикунец М.А.<sup>1</sup>, Дудко Г.А.<sup>1\*</sup>, Архипкин А.А.<sup>2</sup>, Крючков А.С.<sup>1</sup>, Абалян А.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Москва, Россия

<sup>2</sup> ООО «Научный центр ЭФИС», Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** оценить точность измерения концентрации лактата в крови тремя портативными анализаторами по сравнению со стационарным эталонным прибором.

**Материалы и методы.** Образцы капиллярной крови отбирались у высококвалифицированных спортсменов во время проведения этапного комплексного обследования в лабораторных условиях. Концентрация лактата в крови в состоянии покоя и после проведения теста со ступенчато-возрастающей нагрузкой на лыжном эргометре, велоэргометре или беговой дорожке определялась тремя портативными анализаторами лактата (Lactate Plus, YST и Eaglenos) и с использованием полуавтоматического фотометрического анализатора (BTS-350).

**Результаты.** Пределы согласованности результатов измерения лактата анализаторами Lactate Plus, YST и Eaglenos и эталонным прибором превышали допустимый интервал, установленный на уровне  $\pm 2,1$  ммоль/л. Все портативные лактометры систематически занижали концентрации лактата на 2,0–4,0 ммоль/л относительно эталонного анализатора, что критически искажает оценку интенсивности нагрузки. Стандартные ошибки оценки измерения концентраций лактата во всем диапазоне анализаторами Lactate Plus, YST и Eaglenos составили 0,95, 0,63 и 0,91 ммоль/л соответственно и увеличивались с ростом концентрации лактата в крови.

**Заключение.** Рассматриваемые в исследовании портативные лактометры не могут быть рекомендованы для точного измерения лактата в крови спортсменов в полевых и лабораторных условиях.

**Ключевые слова:** лактат, спортсмены, системы экспресс-диагностики, нагрузочный тест, методы лабораторных измерений

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

**Для цитирования:** Дикунец М.А., Дудко Г.А., Архипкин А.А., Крючков А.С., Абалян А.Г. Оценка точности измерения лактата в крови спортсменов с использованием трех портативных анализаторов. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2026;16(1):12–23. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.7>

Поступила в редакцию: 16.01.2026

Принята к публикации: 31.03.26

Online first: 07.06.2026

Опубликована: 20.06.2026

\* Автор, ответственный за переписку

## Assessment of blood lactate measurement accuracy in athletes using three portable analyzers

Marina A. Dikunets<sup>1</sup>, Grigory A. Dudko<sup>1,\*</sup>, Alexander A. Arkhipkin<sup>2</sup>, Andrey S. Kryuchkov<sup>1</sup>, Avak G. Abalyan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Science Center of Physical Culture and Sport (VNIIFK), Moscow, Russia

<sup>2</sup> LLC Scientific Center EFIS

### ABSTRACT

**Objective.** To evaluate the accuracy of blood lactate concentration measurements using three portable analyzers compared to a stationary reference instrument.

**Materials and methods.** Capillary blood samples were collected from highly qualified athletes during staged comprehensive examinations under laboratory conditions. Blood lactate concentrations at rest and following incremental exercise tests on a ski ergometer, cycle ergometer or treadmill were determined using three portable lactate analyzers (Lactate Plus, YST and Eaglenos) and a semi-automatic photometric analyzer (BTS-350).

**Results.** The limits of agreement for lactate measurements by the Lactate Plus, YST and Eaglenos analyzers compared to the reference instrument exceeded the acceptable interval set at  $\pm 2.1$  mmol/L. All portable lactometers systematically underestimated lactate concentrations by 2.0–4.0 mmol/L relative to the reference analyzer, which critically distorts the assessment of exercise intensity. Standard errors of estimate of lactate concentration measurements across the entire range were 0.95, 0.63 and 0.91 mmol/L for Lactate Plus, YST and Eaglenos, respectively, and increased with rising blood lactate concentration.

**Conclusion.** The portable lactometers examined cannot be recommended for accurate blood lactate measurement in athletes under field or laboratory conditions.

**Keywords:** blood lactate, athletes, point-of-care systems, exercise test, clinical laboratory techniques

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

**For citation:** Dikunets M., Dudko G., Arkhipkin A., Kryuchkov A., Abalyan A. Assessment of blood lactate measurement accuracy in athletes using three portable analyzers. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2026;16(1):12–23. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.7>

**Received:** 16 January 2026

**Accepted:** 31 March 2026

**Online first:** 07 June 2026

**Published:** 20 June 2026

\*Corresponding author

### 1. Введение

Мониторинг концентрации лактата в крови спортсменов во время физической нагрузки в лабораторных и полевых условиях является широко распространенной практикой физиологического обследования спортсменов, занимающихся видами спорта на выносливость. Это обусловлено простотой отбора капиллярной крови и прогностической значимостью реакции лактата в тесте со ступенчато возрастающей нагрузкой [1]. Стандартные условия проведения ступенчатого теста с возрастающей нагрузкой в лабораторных условиях включают измерение интенсивности, частоты сердечных сокращений (ЧСС) и потребления кислорода (ПК), тогда как концентрация лактата используется для определения перехода от аэробного к анаэробному энергообеспечению работы мышц и, следовательно, оценки выносливости и потенциала работоспособности спортсмена [2]. Кроме того, уровень лактата в крови используется в качестве индикатора адаптации спортсмена к тренировкам и эффективного прогностического инструмента контроля интенсивности нагрузки и мониторинга метаболических процессов, связанных с изменением характеристик энергетического метаболизма митохондрий в зависимости от тренировочного цикла подготовки. Продemonстрировано,

что концентрация энергетического субстрата хорошо коррелирует с показателями выносливости во время нагрузки, а его пороговые значения (lactate threshold, LT) обладают большей диагностической ценностью по сравнению с максимальным потреблением кислорода (МПК) при оценке выносливости у высококвалифицированных спортсменов, специализирующихся в видах спорта на выносливость [3].

Однако информативность анализа лактата в крови зависит от ряда факторов, включая значительную биологическую вариабельность [4], место отбора крови [5], протокол ступенчатого теста с возрастающей нагрузкой [6] и выбор расчетных методов определения LT и МПК [7, 8]. Оценка уровня лактата в крови в значительной степени определяется метрологическими характеристиками анализаторов, в частности точностью. Однако в научной литературе представлены противоречивые результаты оценки точности портативных лактометров. Так, в ряде исследований продемонстрировано, что портативные анализаторы (ПА) обладают меньшей точностью по сравнению со стационарными аналогами [9, 10], а также демонстрируют тенденцию к занижению результатов измерений относительно эталонного прибора [11]. В то же время другие исследования выявили

хорошую надежность и точность портативных лактометров по сравнению с эталонным лабораторным анализаторами. Показано, что ПА дают аналогичные значения лактата по сравнению со своими настольными аналогами, при этом средние различия варьируются от  $-0,8$  до  $1,0$  ммоль/л [12, 13, 14, 15]. Более того, метрологические характеристики портативных приборов могут быть сопоставимы со стационарными анализаторами [16], а полученные с их помощью результаты удовлетворительны для решения задач спортивной биохимии, в частности для оценки интенсивности тренировок на уровне LT.

Несмотря на вероятные ошибки измерения, мониторинг лактата в крови спортсменов в циклических видах спорта остается популярным методом срочного контроля интенсивности нагрузки непосредственно в процессе выполнения физических упражнений. Простота работы портативных приборов и интуитивно понятные тренеру уровни лактата позволяют не только программировать интенсивность мышечной работы, но и оперативно принимать решения по коррекции скорости передвижения спортсмена в рамках тренировочных занятий.

Значимость и важность контроля нагрузок, основанного на мониторинге лактата в крови спортсменов циклических видов спорта, подтверждается тем фактом, что в видах спорта на выносливость чрезмерно частое превышение объема нагрузок с высокой степенью закисления скелетных мышц провоцирует риск снижения аэробной производительности и скорости преодоления соревновательной дистанции. В то же время недостаточный объем работы в рамках подготовительного периода с соревновательной и сверхсоревновательной скоростью не позволяет сформировать требуемую морфофункциональную специализацию нервно-мышечного аппарата, позволяющую эффективно развивать и поддерживать должную соревновательную скорость на дистанции. Вышеуказанные особенности подчеркивают актуальность измерения концентрации лактата в полевых условиях с использованием ПА.

Вне зависимости от места проведения физиологического тестирования спортсменов достоверность измерения уровня лактата в крови определяется точностью, линейностью и надежностью используемого оборудования. Кроме того, для практического использования в лабораторных и полевых условиях анализаторы лактата должны соответствовать ряду требований: портативность; автономное питание; устойчивость к условиям окружающей среды (температура воздуха, относительная влажность, высота над уровнем моря); быстрое, простое и точное проведение анализа. В последние несколько лет на рынке появились новые модели ПА лактата, однако информация об их надежности и точности измерения по сравнению с эталонным лабораторным анализатором отсутствует. Целью данного исследования было оценить пригодность использования ПА лактата Lactate Plus (Nova Biomedika), YST (Shenzhen Dumbo Medical

Technology Co., Ltd.) и Eaglenos (Chizhou Zunyou Import & Export Trade Co., Ltd.) для тестирования спортсменов в полевых и лабораторных условиях. В контексте данного пилотного исследования (YST и Eaglenos оцениваются впервые) под пригодностью понималась точность определения концентрации лактата в крови, то есть способность ПА в среднем предсказывать истинное значение, измеренное эталонным анализатором BTS-350 (BioSystems S. A.). То есть задача исследования заключалась в определении того, какие из рассматриваемых ПА могут быть рекомендованы к использованию в сборных командах, тем самым предоставляя рекомендации тренерам и спортивным врачам, полагающимся на результаты измерения уровня лактата в крови с их помощью.

## 2. Материалы и методы

### Участники

В исследовании приняли участие 12 высококвалифицированных спортсменов (11 женщин, 1 мужчина), специализирующихся в лыжных гонках ( $n = 3$ ,  $24,0 \pm 4,6$  года) и горнолыжном спорте ( $n = 9$ ,  $20,5 \pm 5,0$  года), среди них 6 кандидатов в мастера спорта, 5 мастеров спорта и 2 мастера спорта международного класса. Все участники подписали информированное согласие в соответствии с политикой научного учреждения, проводящего исследование. Форма согласия подтверждала добровольное участие, понимание протокола исследования и право отказаться от участия в эксперименте в любое время. Протокол исследования соответствовал этическим принципам Хельсинкской декларации и был одобрен этическим комитетом научного учреждения, проводящего исследование.

### Оборудование

Для проведения исследования помимо указанных выше портативных и эталонных анализаторов лактата использовались: велоэргометр Lode Excalibur Sport (Lode BV), беговая дорожка HP Cosmos Venus (Cosmed), лыжный эргометр Concept 2 (Concept2 Inc.) и портативный кардиомонитор Polar Vantage V2 HR в комплекте с кардиодатчиком H10 (Polar Electro Oy) и программным обеспечением Polar Flow.

### Анализ концентрации лактата

Во всех задействованных в данном исследовании ПА лактата реализован ферментативный амперометрический метод детектирования субстрата. Принцип метода заключается в окислении содержащегося в крови лактата иммобилизованным на тест-полосках катализирующим ферментом лактатоксидазой с образованием пирувата и перекиси водорода. Высвобождающиеся в результате последующего окисления перекиси водорода электроны создают электрический ток, величина которого прямо пропорциональна концентрации лактата. Более подробные обзоры этого и других методов измерения концентрации лактата в крови представлены в обзоре [17].

Для анализа ПА YST требуется образец крови объемом 0,7 мкл, время анализа составляет 20 секунд. Кодированные тест-полоски заполняются капиллярным действием непосредственно из места отбора образца. Для анализа ПА Eaglenos требуется образец крови объемом 0,8 мкл, время анализа составляет 10 секунд. В тест-полосках используются золотые электроды, повышающие точность результатов анализа за счет улучшения и стандартизации электрической передачи от зоны реакции тест-полоски к анализатору. Тест-полоски заполняются капиллярным путем непосредственно из места отбора образца и оснащены интеллектуальным кодом, передающим анализатору информацию о характеристиках полосок, поскольку каждая партия тест-полосок имеет уникальный калибровочный код. Для анализа ПА Lactate Plus требуется образец крови объемом 0,7 мкл, время анализа составляет 13 секунд. Тест-полоски не требуют калибровочных кодов или полосок. Все ПА лактата эксплуатировались в соответствии с инструкциями производителя, их технические характеристики представлены в таблице 1.

Количественное определение лактата в цельной крови в эталонном анализаторе BTS-350 осуществлялось энзиматическим колориметрическим методом с использованием набора реагентов В 19.01 Лактат-Витал (АО «Витал Девелопмент Корпорэйшн», Россия), пробоподготовку образцов проводили согласно инструкции производителя набора реагентов. Ниже приведены аналитические характеристики набора реагентов В 19.01 Лактат-Витал:

- диапазон линейности — 0,3–15,5 ммоль/л;
- чувствительность определения — 0,3 ммоль/л;
- коэффициент вариации результатов определения лактата — 1,14%.

#### Дизайн эксперимента

Концентрация лактата в капиллярной крови спортсменов, отобранной из пальца во время проведения этапного комплексного обследования, измерялась тремя ПА. Для минимизации времени измерения уровня лактата *in vitro* три исследователя одновременно анализировали образцы крови с помощью ПА, время между проколом кожного покрова и нанесением образца на тест-полоску не превышало 20 секунд. Четвертый исследователь осуществлял отбор образца капиллярной крови объемом 20 мкл для последующего анализа на BTS-350. Концентрации лактата в крови, измеренные ПА, сравнивались с концентрацией, измеренной на BTS-350, который для целей данного исследования был принят за эталонный. Общее количество образцов составило 42.

#### Горнолыжный спорт

Для определения аэробной и анаэробной подготовленности горнолыжниц использовали тест со ступенчатовозрастающей нагрузкой на велоэргометре Lode Excalibur Sport. Начальная мощность нагрузки составляла 50 Вт (2 минуты), каждую последующую минуту нагрузка увеличивалась на 12 Вт, частота педалирования была постоянной и составляла  $75 \pm 1$  об./мин. Работа выполнялась до достижения анаэробного порога (АнП) + 1 ступень. После 5 минут пассивного отдыха проводилось определение максимального потребления кислорода (МПК). Начальная мощность нагрузки у спортсменок составляла 100 Вт (2 минуты), далее каждые 30 секунд она увеличивалась на 20 Вт. Частота педалирования на протяжении всего теста составляла  $75 \pm 1$  об./мин. Процедура продолжалась до тех пор, пока ПК не достигало устойчивого максимального значения,

Таблица 1

#### Технические характеристики портативных анализаторов лактата для экспресс-диагностики

Table 1

#### Technical specifications of portable lactate analyzers for point-of-care diagnostics

Производитель	YST	Eaglenos	Lactate Plus
	Shenzhen Dumbo Medical Technology Co., Ltd., Китай	Chizhou Zunyou Import & Export Trade Co., Ltd., Китай	Nova Biomedical, США
Тип биосенсора	Амперометрический	Амперометрический	Электрохимический биосенсор лактатоксидазы
объем образца, мкл	0,7	0,8	0,7
Время анализа, с	20	10	13
Диапазон определяемых концентраций, ммоль/л	0,5–25,0	0,5–28,0	0,3–25,0
Предел обнаружения, ммоль/л	0,5	0,325	0,12
Срок использования элемента питания, кол-во тестов	информация отсутствует	1000	600
Вес, г	~60	~100	~80
Температура воздуха, °С	5–45	10–35	5–45
Относительная влажность, %	20–80	10–85	10–90

или участник не мог больше поддерживать заданную скорость, или самостоятельно отказывалась от дальнейшей работы. Концентрацию лактата в крови определяли до оценки аэробных и анаэробных подготовленности спортсменок (в покое) и после завершения теста на АНП и МПК на первой и третьей минуте восстановления соответственно.

#### Лыжные гонки

Спортсмены выполняли ступенчатый тест на лыжном эргометре Concept 2 с преимущественным задействованием мышцы плечевого пояса, живота и спины. Исходная мощность для женщин и мужчин составляла 60 и 80 Вт соответственно и была постоянной в течение 2 минут. Далее мощность увеличивалась со скоростью 12 и 15 Вт/мин для женщин и мужчин соответственно. ЧСС и частота движений спортсмена фиксировались за 5 секунд до конца каждой ступени. Работа выполнялась до достижения АНП + 1 ступень. Концентрация лактата в крови определяли до начала (в покое) и после (вторая минута восстановления) тестирования.

Для определения аэробных возможностей спортсменов с задействованием мышц нижних конечностей использовали тест со ступенчато-возрастающей нагрузкой на беговой дорожке HP Cosmos Venus, во время которого спортсмены выполняли бег с лыжными палками, имитируя классический ход на лыжах. Начальные условия: угол полотна дорожки — 10%; скорость — 6 км/ч у мужчин и 4,5 км/ч у женщин; продолжительность работы на первой ступени — 2 минуты. Далее нагрузка увеличивалась каждую минуту на 0,5 км/ч. Тестирование проводили до АНП + 1 ступень. После 5 минут пассивного отдыха проводилось определение МПК. Начальная скорость бега в данной процедуре составляла 6 км/ч и поддерживалась постоянной на протяжении 45 секунд, за это время угол полотна беговой дорожки повышался до 16°. Затем скорость движения полотна тредбана увеличивалась до 8 и 9 км/ч для женщин и мужчин соответственно и сохранялась в течение 1 мин 15 секунд. Заключительная рабочая скорость бега устанавливалась к моменту времени, равному 1 минуте 16 секундам, и составляла 11 и 12 км/ч для лыжниц и лыжников соответственно. Процедура продолжалась до тех пор, пока ПК не достигало устойчивого максимального значения или до момента, когда тестируемый самостоятельно отказывался от дальнейшей работы. Концентрация лактата в крови определяли до оценки аэробной и анаэробной подготовленности спортсменов (в покое) и на первой и третьей минутах восстановления после завершения теста на АНП и МПК соответственно.

Тестирование спортсменов проводилось в контролируемых лабораторных условиях, соответствующих установленным требованиям к микроклимату помещений; параметры окружающей среды поддерживались в диапазоне, обеспечивающем стабильность измерений, воспроизводимость результатов и комфорт

для спортсменов. Температура в помещении составляла  $22 \pm 1$  °С, относительная влажность воздуха поддерживалась на уровне  $50 \pm 2$  %, атмосферное давление во время тестирования — 1000 мбар. Перед началом тестирования параметры микроклимата фиксировались с использованием поверенных средств измерений. Контроль условий осуществлялся на протяжении всего эксперимента, отклонений заданных параметров не отмечалось.

#### Статистический анализ

Точность определения лактата ПА относительно эталонного оценивалась методом Бланда — Альтмана [18], тогда как коэффициент корреляции Пирсона использовался для оценки силы линейной связи между измерениями сравниваемых лактометров и BTS-350. Среднее смещение рассчитывали как среднюю разность между измерениями ПА и BTS-350. Пределы согласованности определяли, как среднее смещение  $\pm 1,96 \times$  стандартное отклонение разностей, а для расчета 95 % доверительных интервалов пределов согласованности использовали распределение  $\chi^2$  [19]. Точность определения энергетического субстрата ПА и эталонным методом оценивали во всем диапазоне концентраций лактата и в трех его сегментах ( $< 4,0$ ,  $4,0-8,0$  и  $> 8,0$  ммоль/л). Такая категоризация основана на информации об увеличении вариабельности между измерениями по мере повышения концентрации лактата в крови [11]. Критерием точности определения лактата ПА являлся предел согласованности результатов измерения уровня субстрата данным прибором и эталонным BTS-350 на всем диапазоне его концентраций, установленный на уровне  $\pm 2,1$  ммоль/л [11]. Статистический анализ данных осуществляли при помощи пакета программ IBM Statistica для Windows, версия 10.0 (StatSoft. Inc, США). Расчет стандартной ошибки оценки и построение диаграмм Бланда—Альтмана выполняли в Python 3.13 с применением библиотек pandas (2.3.3), NumPy (2.2.6), SciPy (1.14.1) и Matplotlib (3.10.8).

#### 3. Результаты

Результаты сравнения ПА Lactate Plus, YST и Eaglenos с BTS-350 представлены на рисунках 1–2 и в таблице 2. Линейная регрессия представлена сплошной красной линией, пределы согласованности — пунктирными. Стандартные ошибки оценки измерения концентраций лактата во всем диапазоне анализаторами Lactate Plus, YST и Eaglenos составили 0,95, 0,63 и 0,91 ммоль/л соответственно. Коэффициенты корреляции между концентрациями лактата в крови, измеренными BTS-350 и анализаторами Lactate Plus, YST и Eaglenos, составили  $r = 0,980$ ,  $r = 0,912$  и  $r = 0,971$  соответственно. Нижний и верхний пределы согласованности Lactate Plus, YST и Eaglenos во всем диапазоне измеряемых концентраций лактата, а также в отдельных его сегментах представлены в таблице 3.

В среднем анализаторы Lactate Plus, YST и Eaglenos по сравнению с BTS-350 занижали уровни лактата в крови на 2,07, 4,08 и 2,14 ммоль/л соответственно (рис. 3, табл. 2). Lactate Plus по сравнению с BTS-350 занижал концентрации на  $0,77 \pm 0,53$  ммоль/л в диапазоне  $< 4,0$  ммоль/л, на  $1,43 \pm 0,48$  ммоль/л в диапазоне 4,0–8,0 ммоль/л и на  $3,47 \pm 1,62$  ммоль/л в диапазоне  $> 8,0$  ммоль/л.

Среднее смещение результатов определения лактата YST и Eaglenos по сравнению с BTS-350 при концентрациях субстрата в крови менее 4,0 ммоль/л составило  $0,18 \pm 0,60$  и  $-0,07 \pm 0,57$  ммоль/л, а в диапазоне 4,0–8,0 ммоль/л —  $-1,61 \pm 0,60$  и  $-0,68 \pm 1,64$  соответственно. В диапазоне высоких концентраций лактата ( $> 8$  ммоль/л) средние смещения значений, измеренных YST и Eaglenos по сравнению с BTS-350, составили  $-7,83$

(от  $-11,06$  до  $-4,09$ ) и  $-4,04$  (от  $-6,09$  до  $-2,00$ ) соответственно. Коэффициент корреляции результатов измерения концентрации лактата BTS-350 и YST уменьшался с 0,914 (в диапазоне менее 4,0 ммоль/л) до 0,491 (в диапазоне свыше 8 ммоль/л).

На рисунке 4 представлено изменение стандартной ошибки оценки, отражающей точность предсказания линейной регрессии, трех ПА в зависимости от измеренной концентрации лактата.

Минимальная стандартная ошибка оценки YST зафиксирована в диапазоне концентраций лактата менее 4,0 ммоль/л. На этом же концентрационном уровне все сравниваемые анализаторы продемонстрировали минимальные значения ошибок. Также следует отметить, что стандартные ошибки оценки ПА не увеличивались с ростом концентрации в крови

Таблица 2

Данные о точности количественного измерения лактата в крови спортсменов портативными анализаторами Lactate Plus, YST и Eaglenos по сравнению с эталонным BTS-350

Table 2

Accuracy data for quantitative blood lactate measurement in athletes using portable analyzers Lactate Plus, YST and Eaglenos compared to the reference instrument BTS-350

		BTS-350 vs		
		Lactate Plus	YST	Eaglenos
Min–Max, ммоль/л		0.40–16.30	2.10–6.70	1.30–13.20
Среднее смещение, ммоль/л ( $\pm 95\%$ ДИ)		-2,07 (-2,59...-1,55)	-4,08 (-5,54...-2,63)	-2,14 (-2,92...-1,37)
Стандартная ошибка оценки, ммоль/л ( $\pm 95\%$ ДИ)	во всем диапазоне	0,95 (0,78...1,21)	0,63 (0,52...0,80)	0,91 (0,75...1,17)
	$< 4,0$	0,53 (0,39...0,86)	0,20 (0,14...0,32)	0,52 (0,38...0,84)
	4,0–8,0	0,38 (0,24...0,94)	0,63 (0,39...1,54)	1,67 (1,04...4,09)
	$> 8,0$	1,27 (0,96...1,88)	0,57 (0,43...0,85)	0,66 (0,50...0,97)
Коэффициент корреляции, усл. ед.	во всем диапазоне	0,980	0,912	0,971
	$< 4,0$	0,857	0,914	0,821
	4,0–8,0	0,958	0,743	0,638
	$> 8,0$	0,915	0,491	0,951

Таблица 3

Пределы согласованности (LoA) трех портативных анализаторов лактата

Table 3

Limits of agreement (LoA) for three portable lactometers

LoA, ммоль/л ( $\pm 95\%$ ДИ)	Lactate Plus		YST		Eaglenos	
	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper
Во всем диапазоне	-5,35 (-6,05...-4,64)	1,21 (0,50...1,91)	-13,22 (-15,19...-11,25)	5,06 (3,08...7,03)	-7,03 (-8,08...-5,98)	2,74 (1,69...3,80)
$< 4,0$	-1,82 (-2,20...-1,44)	0,27 (-0,11...0,65)	-1,00 (-1,43...-0,57)	1,36 (0,93...1,79)	-1,19 (-1,60...-0,78)	1,05 (0,64...1,46)
4,0–8,0	-2,37 (-2,89...-1,86)	-0,49 (-1,00...-0,42)	-2,79 (-3,44...-2,15)	-0,43 (-1,08...0,22)	-3,90 (-5,84...-1,99)	2,54 (0,63...4,48)
$> 8,0$	-6,66 (-7,66...-5,65)	-0,29 (-1,29...0,72)	-15,17 (-17,48...-12,86)	-0,50 (-2,81...1,81)	-8,05 (-9,28...-6,82)	-0,04 (-1,27...1,19)

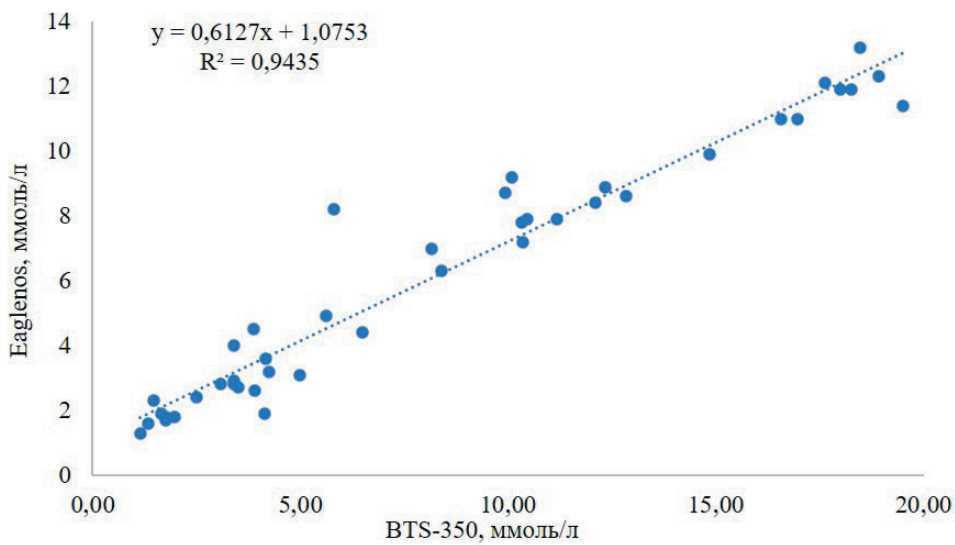
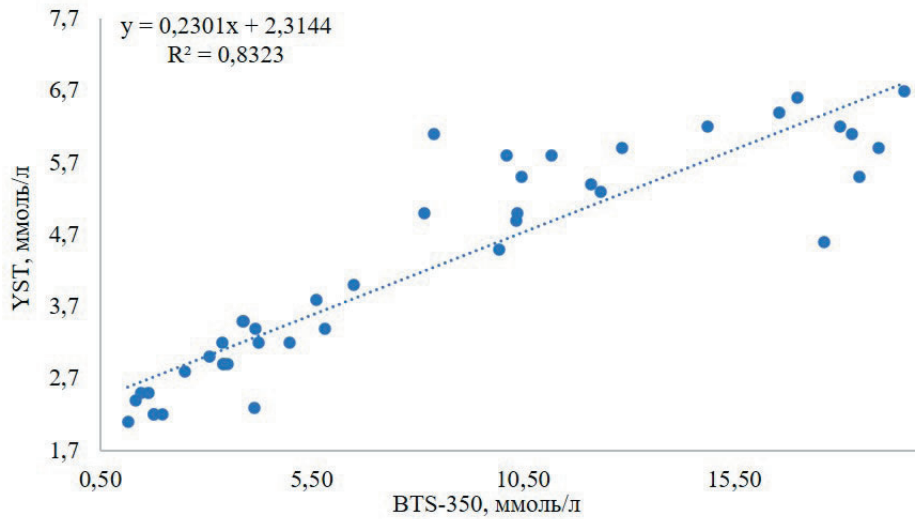
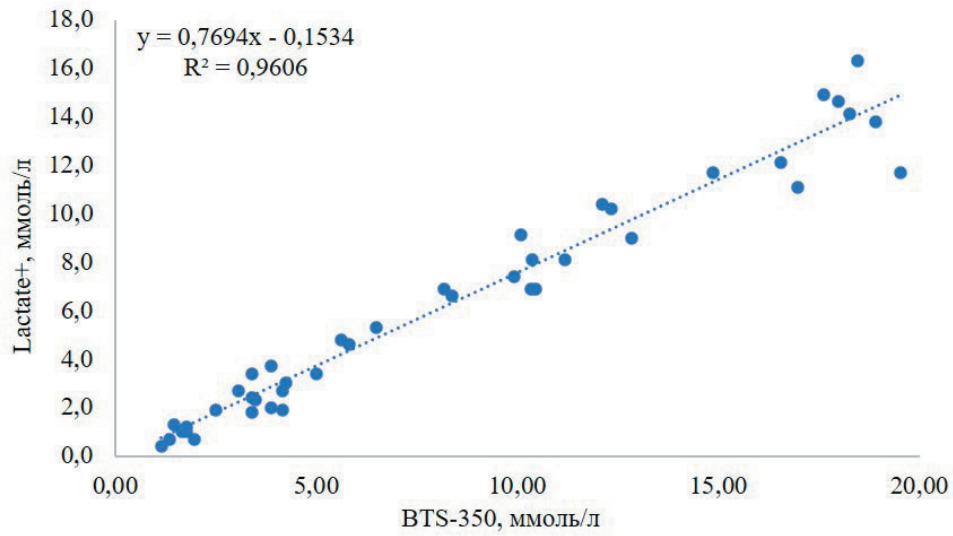


Рис. 1. Ассоциация результатов количественного определения лактата в крови спортсменов, полученных с использованием BTS-350 и портативных анализаторов Lactate Plus (1), YST (2) и Eaglenos (3)  
Fig. 1. Association of blood lactate levels in athletes measured by BTS-350 and portable analyzers Lactate Plus (1), YST (2), and Eaglenos (3)

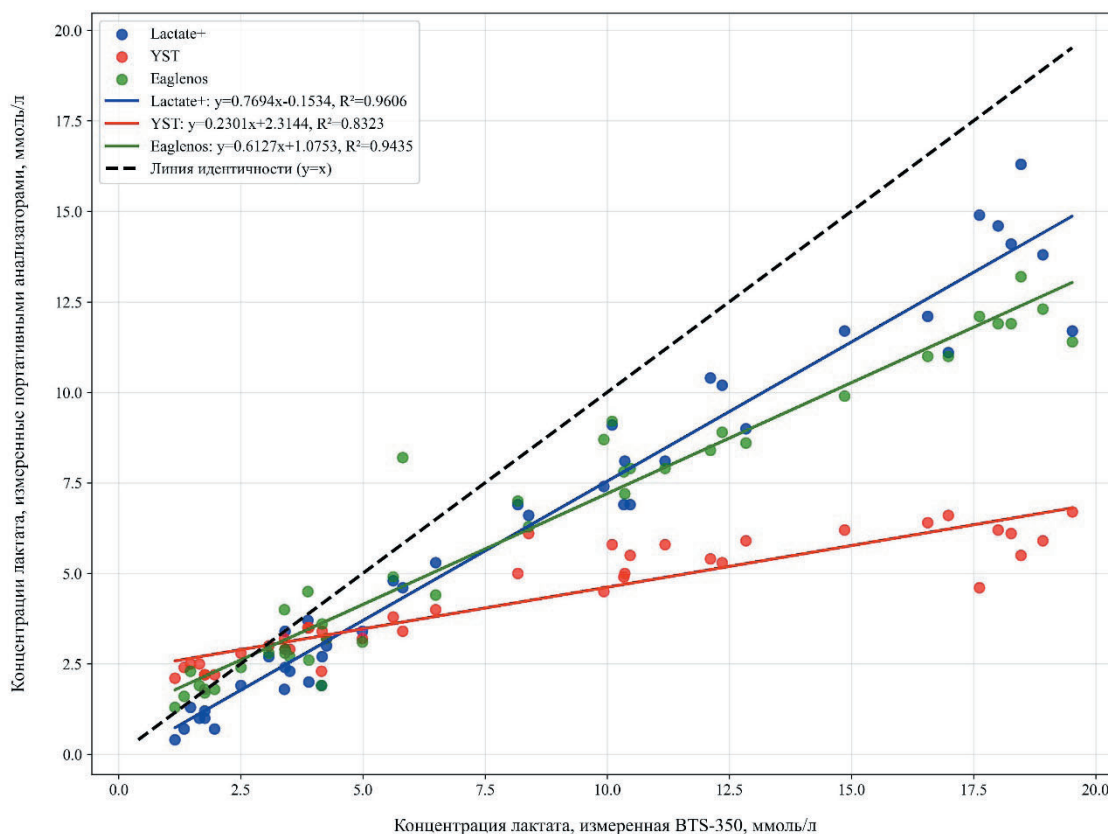


Рис. 2. Диаграмма рассеяния результатов измерения концентрации лактата портативными анализаторами относительно эталонного BTS-350

Fig. 2. Scatter plot of blood lactate levels measured by portable analyzers compared to reference instrument BTS-350

спортсменов — их динамика носила волнообразный характер.

#### 4. Обсуждение

Фиксация концентрации лактата в крови в рамках текущего контроля не только предоставляет тренеру информацию о функциональном состоянии спортсмена, протекании срочных адаптационных процессов и развертывании механизмов энергообеспечения, но и может служить основанием для коррекции тренировочного процесса, например снижения или повышения интенсивности используемых тренирующих средств с целью повышения энергетического потенциала мышечных волокон. В связи с этим для планирования индивидуальных тренировок с целью повышения работоспособности спортсменов решающее значение играет использование ПА лактата, обеспечивающих высокую надежность измерения.

Сравнительный анализ результатов количественного определения лактата эталонным и ПА выявил критические ограничения в применимости последних. С одной стороны, наблюдались высокие двухсторонние корреляции уровней лактата, измеренных с использованием BTS-350 и трех ПА во всем диапазоне концентраций. С другой стороны, пределы согласованности результатов измерения лактата всеми ПА превышали

установленный лимит в  $\pm 2,1$  ммоль/л. Кроме того, все сравниваемые лактометры продемонстрировали занижение определения уровня энергетического субстрата на всем диапазоне его концентраций по сравнению с BTS-350. Такая картина может объясняться различиями методов измерения лактата в образце крови, реализованных в портативных и стационарном приборах.

Необходимо отметить расширение пределов согласованности определения лактата портативными приборами относительно BTS-350 с увеличением его концентрации в крови. Так, Lactate Plus в диапазоне низких концентраций субстрата ( $< 4,0$  ммоль/л) продемонстрировал минимальный предел согласованности относительно прочих ПА — от  $-1,82$  ( $-2,20...-1,44$ ) до  $0,27$  ммоль/л ( $-0,11-0,65$ ). Наиболее широкий предел согласованности результатов определения лактата среди всех ПА и концентрационных сегментов отмечен у YST в диапазоне концентрации субстрата  $4,0-8,0$  ммоль/л — от  $-15,17$  ( $-17,48...-12,86$ ) до  $-0,50$  ммоль/л ( $-2,81-1,81$ ).

Таким образом, при использовании сравниваемых нами портативных лактометров наблюдается отсутствие согласованности результатов измерения лактата относительно эталонного прибора и недооценка его концентраций, то есть практическое применение полученных значений может исказить оценку интенсивности

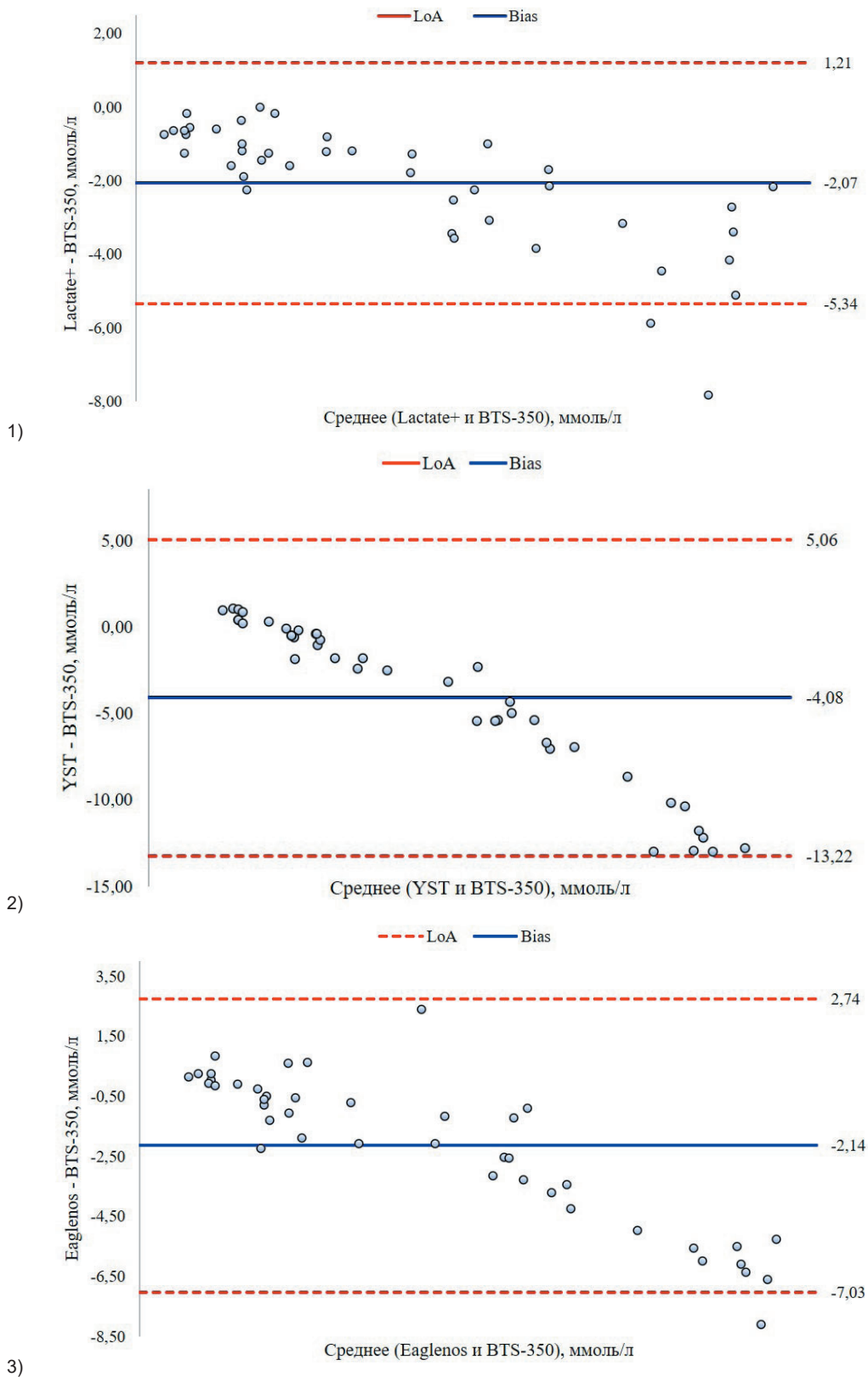


Рис. 3. Графики согласованности (Бланда — Альтмана) концентраций лактата в крови спортсменов ( $n = 42$ ), измеренных BTS-350 и портативными анализаторами Lactate Plus (1), YST (2) и Eaglenos (3). Синяя сплошная линия — среднее смещение (Bias), красные пунктирные линии — пределы согласованности (LoA)

Fig. 3. Bland-Altman plots of blood lactate concentrations in athletes ( $n = 42$ ) measured by BTS-350 and portable analyzers Lactate Plus (1), YST (2) and Eaglenos (3). Solid blue line — mean bias (Bias), dashed red lines — limits of agreement (LoA)

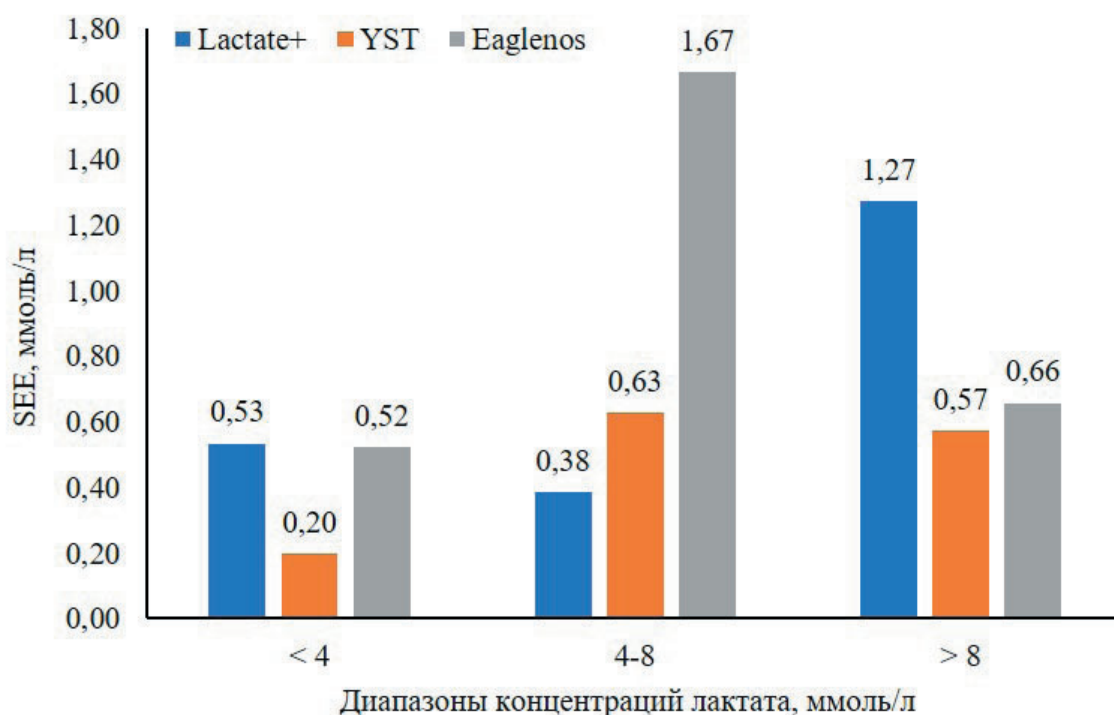


Рис. 4. Стандартная ошибка оценки (SEE) трех портативных лактометров в зависимости от концентрации лактата в крови ( $n = 42$ )  
Fig. 4. Standard error of estimate (SEE) of three portable lactometers depending on blood lactate level ( $n = 42$ )

физической нагрузки, осуществляемой на основе концентрации энергетического субстрата. Пониженная точность может быть приемлемой только при наличии информации о систематической ошибке и возможности ее математической коррекции. Специалистам следует учитывать, что использование анализаторов различных производителей может привести к значительным расхождениям результатов определения лактата, обусловленным различиями в методологии между лабораторными и портативными системами, а также возможным влиянием запатентованных алгоритмов преобразования напряжения при мониторинге лактата в крови амперометрическим методом.

Большинство портативных лактометров функционируют в диапазоне температур от  $+10$  до  $+40$  °C, следовательно, их использование в зимних видах спорта (лыжные гонки, биатлон, конькобежном спорте) ограничено и приводит либо к отказу в работе приборов, либо к значительной погрешности измерений. Поэтому использование этих приборов в зимних видах спорта при низких температурах воздуха допускается только при условии соблюдения вышеуказанного температурного режима, например в отапливаемом помещении. Необходимо принимать во внимание, что в случае нарушения температурного режима использования ПА и измерения высоких концентраций лактата в крови спортсменов ( $> 8$  ммоль/л) величина ошибки измерения критически возрастает.

Ограничением нашего исследования является использование одного устройства каждой рассматриваемой модели ПА лактата. Данное исследование представляло собой лабораторное сравнение образцов капиллярной крови, отобранной и проанализированной в контролируемых условиях окружающей среды. Исследование, проведенное в полевых условиях и при низких температурах, может дать иные результаты. В эксперимент включены серийно выпускаемые портативные лактометры, доступные для приобретения на территории Российской Федерации.

### 5. Заключение

Результаты данного исследования показали, что ни один из сравниваемых портативных лактометров не обладает высокой точностью определения лактата в крови в диапазоне  $\sim 1-25$  ммоль/л. По сравнению с эталонным все ПА демонстрировали тенденцию к занижению концентрации лактата в крови (отрицательное смещение), наиболее выраженную при его содержании свыше 4 ммоль/л. Практическое применение таких искаженных значений способно привести к переоценке возможностей спортсмена и назначению тренером нагрузок повышенной интенсивности. Невысокая точность и чувствительность ПА лактата к условиям окружающей среды делают их непригодными к использованию в лабораторных и полевых условиях по сравнению со стабильными альтернативами.

**Вклад авторов:**

**Дикунец Марина Александровна** — написание первоначального текста.

**Дудко Григорий Алексеевич** — формальный анализ, визуализация.

**Архипкин Александр Алексеевич** — исследование, ресурсы.

**Крючков Андрей Сергеевич** — курация данных, написание — рецензирование и редактирование.

**Абалян Авак Геньевич** — научное руководство, администрирование проекта.

**Список литературы / References**

1. Wasserman K., Whipp B.J., Koyl S.N., Beaver W.L. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.* 1973;35(2):236-243. <https://doi.org/10.1152/jap-1973.35.2.236>

2. Faude O., Kindermann W., Meyer T. Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med.* 2009;39(6):469-490. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00003>

3. Bentley D.J., Newell J., Bishop D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Med.* 2007;37(7):575-586. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737070-00002>

4. Bagger M., Petersen P.H., Pedersen P.K. Biological variation in variables associated with exercise training. *Int. J. Sports Med.* 2003;24(6):433-440. <https://doi.org/10.1055/s-2003-41180>

5. Raa A., Sunde G.A., Bolann B., Kvåle R., Bjerkvig C., Eliassen H.S., Wentzel-Larsen T., Heltne J.-K. Validation of a point-of-care capillary lactate measuring device (Lactate Pro 2). *Scand. J. Trauma Resuscit. Emerg. Med.* 2020;28(1):83. <https://doi.org/10.1186/s13049-020-00776-z>

6. Bourdon P.C., Woolford S.M., Buckley J.D. Effects of varying the step duration on the determination of lactate thresholds in elite rowers. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2018;13(6):687-693. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0258>

7. Jamnick N.A., Botella J., Pyne D.B., Bishop D.J. Manipulating graded exercise test variables affects the validity of the lactate threshold and VO<sub>2</sub>peak. *PLoS One.* 2018;13(7):e0199794. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199794>

8. Ploszczyca K., Jazic D., Piotrowicz Z., Chalimoniuk M., Langfort J., Czuba M. Comparison of maximal lactate steady state with anaerobic threshold determined by various methods based on graded exercise test with 3-minute stages in elite cyclists. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 2020;12(1):70. <https://doi.org/10.1186/s13102-020-00219-3>

9. Bonaventura J.M., Sharpe K., Knight E., Fuller K.L., Tanner R.K., Gore C.J. Reliability and accuracy of six hand-held blood lactate analysers. *J. Sports Sci. Med.* 2015;14(1):203-214.

**Информация об авторах:**

**Дикунец Марина Александровна**, к.х.н., ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулоч, д. 10, стр. 1. ORCID: 0000-0002-5945-0722 ([dikunets.m.a@vniifk.ru](mailto:dikunets.m.a@vniifk.ru))

**Дудко Григорий Алексеевич\***, старший научный сотрудник лаборатории биохимии ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулоч, д. 10, стр. 1. ORCID: 0000-0002-1064-3283 ([dudko.g.a@vniifk.ru](mailto:dudko.g.a@vniifk.ru))

**Архипкин Александр Алексеевич**, к.б.н., заведующий клинико-диагностической лабораторией, врач КИД ООО «Научный Центр ЭФИС», Россия, 1050662, Москва, ул. Садовая-Черногрозская, д. 16-18. ORCID: 0000-0001-7814-8409 ([arkhipkin@efis.ru](mailto:arkhipkin@efis.ru))

**Крючков Андрей Сергеевич**, к.п.н., начальник национального центра спорта ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулоч, д. 10, стр. 1. ORCID: 0000-0001-9423-8092 ([kriuchkov.a.s@vniifk.ru](mailto:kriuchkov.a.s@vniifk.ru))

**Абалян Авак Геньевич**, д.п.н., доцент, генеральный директор ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулоч, д. 10, стр. 1. ORCID: 0000-0002-6732-6991 ([director@vniifk.ru](mailto:director@vniifk.ru))

**Authors' contributions:**

**Marina A. Dikunets** — conceptualization, writing - original draft.

**Grigory A. Dudko** — formal analysis, visualization.

**Alexander A. Arkhipkin** — investigation, resources.

**Andrey S. Kryuchkov** — data curation, writing — review & editing.

**Avak G. Abalyan** — supervision, project administration.

10. Mentzoni F., Skaugen M., Eythorsdottir I., Roterud S., Johansen E.S., Losnegard T. Precision and accuracy of four handheld blood lactate analyzers across low to high exercise intensities. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2024;124(12):3781-3788. <https://doi.org/10.1007/s00421-024-05572-6>

11. Tanner R.K., Fuller K.L., Ross M.L.R. Evaluation of three portable blood lactate analysers: Lactate Pro, Lactate Scout and Lactate Plus. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2010;109(3):551-559. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1379-9>

12. Pyne D.B., Boston T., Martin D.T., Logan A. Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2000;82(1-2):112-116. <https://doi.org/10.1007/s004210050659>

13. Baldari C., Bonavolonta V., Emerenziani G.P., Gallotta M.C., Silva A.J., Guidetti L. Accuracy, reliability, linearity of Accutrend and Lactate Pro versus EBIO plus analyzer. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2009;107(1):105-111. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1107-5>

14. Hart S., Drevets K., Alford M., Salacinski A., Hunt B.E. A method-comparison study regarding the validity and reliability of the Lactate Plus analyzer. *BMJ Open.* 2013;3(2):e001899. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-001899>

15. Crotty N.M., Boland M., Mahony N., Donne B., Fleming N. Reliability and validity of the Lactate Pro 2 analyzer. *Meas. Phys. Educ. Exerc. Sci.* 2021;25(3):202-211. <https://doi.org/10.1080/1091367X.2020.1865966>

16. Medbo J.I., Mamen A., Holt Olsen O., Evertsen E. Examination of four different instruments for measuring blood lactate concentration. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 2000;60(5):367-380. <https://doi.org/10.1080/003655100750019279>

17. Rathee K., Dhull V., Dhull R., Singh S. Biosensors based on electrochemical lactate detection: a comprehensive review. *Biochem. Biophys. Rep.* 2015;5:35-54. <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2015.11.010>

18. Bland J.M., Altman D.G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;1(8476):307-310. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(86\)90837-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8)

19. Bland J.M., Altman D.G. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat. Methods Med. Res.* 1999;8(2):135-160. <https://doi.org/10.1177/096228029900800204>

**Information about the authors:**

**Marina A. Dikunets**, Cand. Sci. (Chem.), Leading Researcher, Biochemistry Laboratory, Federal Science Center of Physical Culture and Sport (VNIIFK), 10, bldg. 1 Elizavetinsky Lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0002-5945-0722 (dikunets.m.a@vniifk.ru)

**Grigory A. Dudko\***, Senior Researcher, Biochemistry Laboratory, Federal Science Center of Physical Culture and Sport (VNIIFK), 10, bldg. 1 Elizavetinsky Lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0002-1064-3283 (dudko.g.a@vniifk.ru)

**Alexander A. Arkhipkin**, Cand. Sci. (Bio.), Head of Clinical Diagnostic Laboratory, LLC Scientific Center EFIS, 16–18, Sadovaya-Chernogryazskaya, Moscow, 1050662, Russia. ORCID: 0000-0001-7814-8409 (arkhipkin@efis.ru)

**Andrey S. Kryuchkov**, Cand. Sci. (Pedagogy), Head of National Sports Center, Federal Science Center of Physical Culture and Sport (VNIIFK), 10, bldg. 1 Elizavetinsky Lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0001-9423-8092 (kriuchkov.a.s@vniifk.ru)

**Avak G. Abalyan**, Dr. Sci. (Pedagogy), Associate Professor, Director General, Federal Science Center of Physical Culture and Sport (VNIIFK), 10, bldg. 1 Elizavetinsky Lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0002-6732-6991 (director@vniifk.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.2>

УДК: 796.92

Тип статьи: Оригинальная статья / Original research



## Показатели телосложения, физической подготовленности и кинематических характеристик техники бега у биатлонистов высокого класса с различной дистанционной скоростью в сезоне

Е.Б. Мякинченко, М.В. Волков, А.С. Крючков, С.С. Миссина\*

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

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** сравнить показатели телосложения, физической подготовленности и кинематики конькового хода на лыжах у биатлонистов высокого класса с различной средней дистанционной скоростью.

**Материалы и методы.** У 53 биатлонистов в конце подготовительного периода определены показатели физической подготовленности при помощи видеосъемки в условиях соревнований — параметры одновременного одношажного конькового хода, которые были нормированы на скорость (5,89 м/с). Средняя дистанционная скорость в сезоне оценивалась по регрессионному остатку зависимости: средний рейтинг в гонках — точность стрельбы.

**Результаты.** Спортсмены с более высокой дистанционной скоростью в сезоне имели меньшую длину свободного скольжения и отношение проката к длительности отталкивания, а также больший угол в коленном суставе при постановке палок и амплитуду вертикальных перемещений центра масс тела. У этой группы были выше масса тела и мышц, ниже максимальная алактатная мощность мышц ног, отмечалась тенденция к улучшению силовых и аэробных показателей при работе руками. После выравнивания групп по массе тела и мышц все различия в кинематике бега стали незначимыми, но среди более быстрых биатлонистов (с одинаковым весом) зафиксирована более высокая скорость анаэробного порога.

**Заключение.** Биатлонисты с более высокой дистанционной скоростью в соревнованиях отличаются меньшей активностью отталкивания и потерей горизонтальной скорости в цикле шагов при больших вертикальных колебаниях центра масс тела. При этом различия в кинематике значимо связаны с массой тела и мышц.

**Ключевые слова:** биатлон, физическая подготовленность, кинематика бега на лыжах, высококвалифицированные спортсмены, спортивная результативность

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

**Финансирование:** работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта» № 777-00021-26 (тема № 001-25/9).

Авторы выражают благодарность тренерскому штабу и руководству Федерации биатлона за содействие в организации исследования.

**Для цитирования:** Мякинченко Е.Б., Волков М.В., Крючков А.С., Миссина С.С. Показатели телосложения, физической подготовленности и кинематических характеристик техники бега у биатлонистов высокого класса с различной дистанционной скоростью в сезоне. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2026;16(1):24–32. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.2>

Поступила в редакцию: 11.09.2025

Принята к публикации: 17.02.2026

Online first: 13.04.2026

Опубликована: 20.06.2026

\* Автор, ответственный за переписку

## Indicators of physique, physical fitness and kinematic characteristics of running technique in high-class biathlete with various distance speeds in the season

*Evgeny B. Myakinchenko, Maksim V. Volkov, Andrey S. Kriuchkov, Svetlana S. Missina\**

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

### ABSTRACT

**Purpose.** The study was aimed to compare the physique, physical fitness, and kinematics of the V1 skating technique of high-level biathlete with different average distance speeds during the competitive season.

**Methods.** The study involved 53 elite biathletes. Their physique and physical fitness indicators were assessed at the end of the preparatory period. The parameters of the V1 skating technique were recorded during competitions and normalized to a standard speed of 5.89 m/s. The average distance speed over the season was estimated using the regression residual from the relationship between the average race ranking and shooting accuracy.

**Results.** Athletes with a higher seasonal distance speed demonstrated: a shorter free glide duration and a lower ratio of glide time to push-off duration, as well as a larger knee angle at pole plant and a bigger amplitude of vertical displacement of the body's center of mass. This group also had higher body weight and muscle mass, lower maximum anaerobic power of the leg muscles, and a tendency towards better strength and aerobic capacity during upper-body work. After matching the groups for body weight and muscle mass, all statistical differences in skating kinematics disappeared. However, in the sample of faster biathletes (with the same weight), better anaerobic threshold was recorded.

**Conclusion.** Biathletes with a better distance speed in competitions were characterized by lower "push-off activity" and lower horizontal speed loss per cycle, coupled with bigger vertical oscillations of the center of mass. The differences in kinematics appear to be largely determined by the difference in body and muscle mass.

**Keywords:** biathlon, physical fitness, skiing kinematics, elite athletes, sports performance

**Conflicts of interests:** the authors declare no conflict of interest.

**Funding:** This work was completed as part of state assignment No. 777-00021-26 of the Federal State Budgetary Institution "Federal Scientific Center for Physical Culture and Sports" (project No. 001-25/9).

The authors express their gratitude to the coaching staff and the leadership of the Biathlon Federation for their support in organizing the study.

**For citation:** Myakinchenko E.B., Volkov M.V., Kriuchkov A.S., Missina S.S. Indicators of physique, physical fitness and kinematic characteristics of running technique in high-class biathlete with various distance speeds in the season. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2026;16(1):24–32. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.2>

**Received:** 11 September 2025

**Accepted:** 17 February 2026

**Online first:** 13 April 2026

**Published:** 20 June 2026

\*Corresponding author

### 1. Введение

Специальная физическая и техническая подготовленность — два ключевых фактора, определяющие спортивную результативность. Определение их детальных, а не общих (такие, как спортивный результат) критериев у спортсменов высокого класса необходимо для эффективного управления тренировочным процессом и исследования проблем их подготовленности. В то же время изучение этого вопроса весьма сложно, что обусловлено, в частности, следующими факторами:

— у спортсменов, тренирующих выносливость, по мере повышения квалификации наблюдается снижение корреляции между показателями подготовленности и спортивным результатом [4];

— спортсмены высокого класса имеют широкий диапазон значений кинематических, динамических и интегральных параметров техники бега на лыжах [3, 4, 6–8, 11];

— параметры техники связаны с уровнем и особенностями физической подготовленности, что затрудняет разграничение влияния технической подготовленности и свойств нервно-мышечного аппарата на кинематику бега [3, 4, 6];

— в зимних видах спорта имеет место высокая вариативность условий скольжения, переменный рельеф трасс, зависимость биомеханических параметров от скорости, использование различных лыжных ходов [7, 11];

— при изучении характеристик спортсменов самого высокого уровня (членов национальных сборных команд) исследования затрудняются малочисленностью выборок.

Тем не менее функционирующая в Российской Федерации уже 15 лет система научно-методического обеспечения подготовки спортивных сборных команд [1], в рамках которой систематически собирается стандартизированная информация о всех сторонах подготовленности спортсменов, предоставляет возможности для таких исследований. Это позволило поставить перед настоящей работой **цель** — определить различия показателей телосложения, физической подготовленности и кинематических характеристик одновременного одношажного конькового хода (ООКХ) у биатлонистов высокого класса с различной оценкой средней дистанционной соревновательной скорости в сезоне.

## 2. Материалы и методы

В работе использовались данные 53 биатлонистов мужского пола — членов сборных команд России по биатлону (средний возраст  $25,5 \pm 2,2$  года; средний рост  $1,77 \pm 0,05$  м), для которых имелись видеосъемки не менее чем двух гонок на разных соревнованиях одного сезона и данные нескольких обследований параметров телосложения и физической подготовленности в течение того же сезона, когда проводилась съемка (табл. 1, 3). Анализ проводился в течение соревновательных сезонов 2018–2019/2024–2025. Все антропометрические измерения проводились одним и тем же квалифицированным сотрудником с большим стажем практической работы.

От всех участников исследования было получено письменное информированное согласие. Проведение исследования было одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта» (протокол № 4.24 от 25.12.2024 г.).

### Методика тестирования физической подготовленности

Подробно процедуры тестирования и расчета показателей в рамках этапных комплексных обследований спортсменов сборных команд России подробно описаны ранее [1, 3, 4, 10]. Строго стандартизированное тестирование в лабораторных условиях общей длительностью 140–160 минут проводилось в течение одного дня после окончания разгрузочного микроцикла длительностью

5–8 дней. Антропометрические измерения проводились по модифицированному методу Матейки с учетом данных о более высокой точности этого метода относительно альтернативных [5]. Распределение тощей массы рассчитывалось с определением масс-инерционных характеристик сегментов тела по методу Зацюрского — Селуянова. Вентиляторный анаэробный порог, значение максимального потребления кислорода (МПК), индексы ударного объема сердца и минутного кровотока определялись по динамике параметров газоанализа MetaLyzer3B (Cortex Biophysik GmbH, Германия). Частота сердечных сокращений (ЧСС) определялась в двух тестах со ступенчато возрастающей нагрузкой: не максимальном тесте на лыжном эргометре (Concept-2, INC, США) и максимальном тесте — беге с лыжными палками на тредбане (FitnEX Master, INC, США). ЧСС регистрировалась с использованием Polar RS800CX (Polar Electro, Финляндия). Между ступенчатыми тестами силовые и мощностные показатели мышц плечевого пояса и рук тестировались в упражнениях на том же лыжном эргометре. Взрывная сила мышц ног определялась в прыжковом тесте с использованием линейного энкодера MuscleLab (Ergotest Innovation A.S., Норвегия), динамическая сила мышц сгибателей и разгибателей коленного сустава при угловой скорости 60 град/с — на Biodex System 4 Pro (Biodex Medical Systems, Inc., США), а пиковая анаэробная (алактатная) мощность — на велоэргометре Monark 894E (Monark Exercise AB, Швеция).

Таблица 1

Значения, стандартные отклонения и размер эффекта (PЭ) различий антропометрических индексов у биатлонистов с высокой (BC,  $n = 27$ ) и низкой (HC,  $n = 26$ ) оценками средней дистанционной скорости в сезоне

Table 1

Values, standard deviations and effect sizes (ES) of differences in anthropometric indices in biathletes with high (HS,  $n = 27$ ) and low (LS,  $n = 26$ ) estimates of average distance speed in the season

Показатель / Parameter	BC HS	SD	HC LS	SD	PЭ ES
Антропометрические индексы					
Масса тела, кг Body mass, kg	77,4	6,93	73,7*	4,80	0,10
Индекс массы тела кг/м <sup>2</sup> Body mass index, kg/m <sup>2</sup>	24,0	1,28	23,3*	1,27	-0,12
Мышечный компонент тела, % Body muscles' mass, %	52,2	1,74	50,8*	1,35	0,16
Масса мышц, кг Body muscles' mass, kg	40,5	4,09	37,5*	2,80	0,14
Жировой компонент тела, % Body fat, %	9,08	1,70	9,98*	1,28	-0,10
Относительный объем тощей массы верхней части тела, % Relative volume of upper body muscles, %	16,4	1,21	15,6*	1,15	0,12
Относительный объем тощей масса нижней части тела, % Relative volume of lower body muscles, %	20,7	1,78	20,0	1,34	0,07

Примечание: \* — различия достоверны при  $\alpha = 0,05$ .

Note: \* — differences are significant at  $\alpha = 0.05$ .

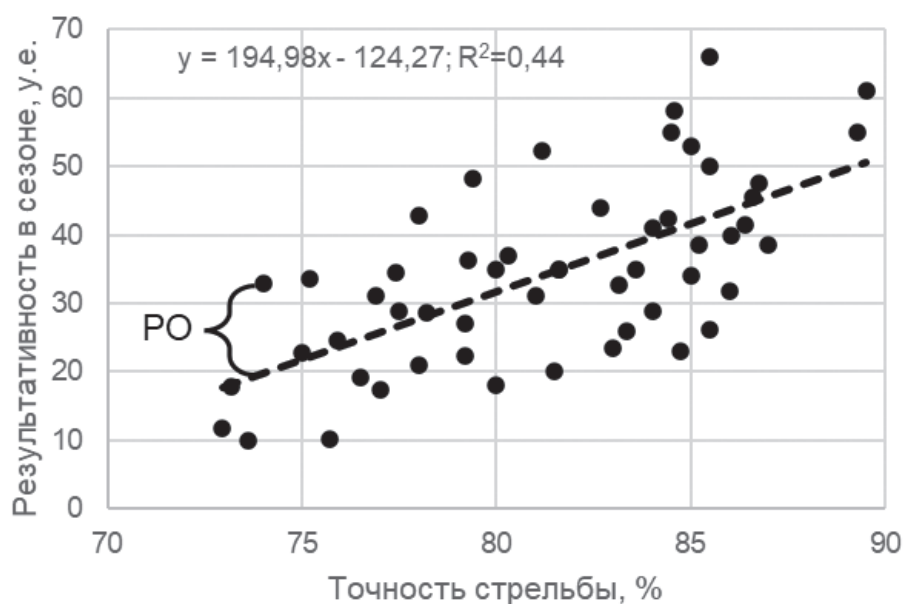


Рис. Корреляционное поле взаимосвязи средней результативности биатлониста и средней точности стрельбы в сезоне. PO — регрессионный остаток, используемый в качестве оценки дистанционной скорости спортсмена.  $R^2$  — оценка доли дисперсии результативности, объясняемой точностью стрельбы в сезоне

Fig. Correlation field of the relationship between the average performance of a biathlete and the average shooting accuracy during the season. RR — regression residual used as an estimate of the athlete's skiing speed.  $R^2$  — the proportion of the variance in performance explained by shooting accuracy during the season

#### Методика видеосъемки и расчета кинематических показателей ООКХ

Видеосъемка проводилась на всех кругах спринтерских и индивидуальных гонок в условиях крупнейших российских и международных соревнований с частотой 50 Гц на тех участках трассы, где спортсмены использовали ООКХ. Ее методика подробно описана ранее [4]. Каждый беговой цикл в программе Dartfish Pro Suite 6 разделялся на активный (с фазами отталкивания руками и ногой) и пассивный период со свободным скольжением (прокатом). Вычислялись длительность каждой фазы и их отношение к прокату (табл. 2). В моменты постановки и отрыва палок от опоры определялся угол в плечевом суставе. При постановке палок и в нижней точке сгибания определялись углы в коленном (КС) и тазобедренном (ТБС) суставах. Угол отталкивания палками определялся в конце контакта палок с опорой. «Рассогласование» рассчитывалось по времени между постановкой палок на опору и началом отталкивания ногой.

При оценке дистанционной скорости спортсмена в среднем за сезон относительно других биатлонистов применен метод регрессионных остатков [2]. Использована зависимость (рис.): средняя результативность в гонке (СР) — средняя точность стрельбы (ТС), где СР — частное от деления количества набранных очков на количество «зачетных гонок» в данном сезоне, ТС — средний процент попаданий во всех зачетных гонках сезона<sup>1</sup>.

Использование метода основывалось на предположении о том, что если спортсмены различаются по средней результативности гонок при сопоставимой точности стрельбы, то тот из них, кто имел более высокий регрессионный остаток (PO), имел и более высокую дистанционную скорость. То есть в качестве критерия разделения спортсменов на группы (табл. 1 и 2) с различной оценкой дистанционной скорости использованы значения регрессионных остатков указанной зависимости.

Значительная часть показателей кинематики тесно связана со скоростью бега, на которую также существенно влияют условия скольжения и угол наклона трассы [4]. Для устранения этого источника дисперсии регрессионным методом все показатели каждого спортсмена приведены к одинаковой скорости бега — 5,89 м/с.

Было использовано два способа формирования выборок спортсменов для межгруппового сравнения:

- по разнице средней дистанционной скорости в сезоне;
- при сохранении разницы в дистанционной скорости ( $p < 0,001$ ), но нивелировании разницы в массе тела.

#### Статистические методы

Величина различий показателей оценивались по размеру эффекта [9], достоверность различий показателей физической подготовленности и кинематики ООКХ — по критерию Манна — Уитни [2].

<sup>1</sup> Международные соревнования по биатлону. [www.biathlonrus.com](http://www.biathlonrus.com) [прочитано 24 ноября 2025]. <https://www.biathlonrus.com/sorevnovaniya/mezhdunarodnye/?year=2025>

Таблица 2

Значения, стандартные отклонения и размер эффекта (PЭ) различий кинематических показателей, приведенных к средней скорости 5,89 м/с, у биатлонистов с высокой (ВС,  $n = 27$ ) и низкой (НС,  $n = 26$ ) оценками средней дистанционной скорости в сезоне

Table 2

Values, standard deviations and an effect sizes (ES) of differences of kinematic parameters which were normalized to the average speed of 5.89 m/s, in biathletes with high (HS,  $n = 27$ ) and low (LS,  $n = 26$ ) estimates of average distance speed in the season

Показатель	BC/HS	SD	HC/LS	SD	ПЭ/ES
Оценка дистанционной скорости в сезоне, у. е. Distance speed index in the season, i.e.	30,9	9,04	15,2*	4,97	0,34
Фактическая скорость бега, м/с Actual average speed, m/s	5,94	0,20	5,67*	0,22	0,27
Длина шагов, м Step length, m	5,51	0,23	5,57	0,15	-0,05
Отношение длины проката к длине шагов, у. е. Gliding and cycle lengths ratio, i.e.	0,47	0,02	0,49*	0,02	-0,16
Отношение длительности отталкивания палками к отталкиванию ногой, у. е. Poling and leg push duration ratio, i.e.	1,67	0,19	1,76	0,18	-0,08
Отношение длительности проката к длительности отталкивания палками, у. е. Gliding duration and poling duration ratio, i.e.	2,50	0,42	2,78*	0,39	-0,13
Отношение длительности проката к длительности отталкивания ногой, у. е. Gliding duration and leg push duration ratio, i.e.	1,49	0,14	1,58*	0,13	-0,13
Отношение длительности проката к длительности активного периода, у. е. Poling to active period duration ratio, i.e.	0,93	0,11	1,01*	0,09	-0,14
Время отталкивания палками, с Poling duration, s	0,30	0,02	0,30	0,01	0,00
Время отталкивания ногой, с Leg push duration, s	0,18	0,02	0,17	0,02	0,08
Общее время отталкивания палками и ногой, с Active period duration (Poling and Leg push), s	0,48	0,03	0,48	0,02	0,05
Время свободного скольжения (проката), с Gliding duration, s	0,45	0,03	0,48*	0,03	-0,18
Угол палки при окончании отталкивания, град. Poles angle at the end of poling, deg	26,7	1,06	26,6	1,22	0,01
Время между началом отталкивания палками и началом разгибания в коленном суставе, с Time between the start of poling and the start of knee extension, s	0,23	0,03	0,23	0,03	0,01
Угол в тазобедренном суставе в момент постановки палок, град. Hip joint angle at the placing the poles, deg	129,7	2,96	128,7	4,13	0,06
Угол в тазобедренном суставе в момент нижней точки сгибания, град. Hip joint angle at the lowest point of flexion, deg	103,1	5,14	101,4	4,88	0,07
Амплитуда угла в тазобедренном суставе, град. Range of movement in the hip joint, deg	26,5	4,91	27,3	5,11	-0,03
Угол в коленном суставе в момент постановки палок, град. Knee joint angle at the moment of placing the poles, deg	147,6	3,73	144,4*	3,62	0,16
Угол в коленном суставе в момент нижней точки сгибания, град. Knee joint angle at the moment of the lowest point of flexion, deg	126,3	3,50	126,0	3,13	0,02
Амплитуда угла в коленном суставе, град. Range of movement in the knee joint, deg	21,23	3,73	18,4*	3,83	0,15
Угол в плечевом суставе при постановке палок, град. Shoulder joint angle at the placing the poles, deg	62,48	9,00	64,10	10,50	-0,03
Угол в плечевом суставе в конце отталкивания, град. Shoulder joint angle at the end the poling, deg	13,98	4,85	14,24	4,43	-0,01
Амплитуда угла в плечевом суставе, град. Range of movement in the shoulder joint, deg	76,28	8,66	78,17	11,60	-0,04

Примечание: \* — различия достоверны при  $\alpha = 0,05$ .

Note: \* — differences are significant at  $\alpha = 0.05$ .

### 3. Результаты

В табл. 2 указаны средние значения, размер эффекта и оценки достоверности различий между группами биатлонистов с высокой (ВС) и низкой (НС) дистанционной скоростью в сезоне в соответствии с первым способом формирования выборок — только по критерию различия в дистанционной скорости.

Все межгрупповые различия, большая часть из которых существенна при  $\alpha = 0,01$ , имели невысокий размер эффекта по классификации Cohen (1988) [9]. Тем не менее, если судить по величине этого критерия, то основным фактором различий пространственно-временных показателей был относительно короткий период свободного скольжения (проката) у спортсменов, имеющих лучшую оценку дистанционной скорости в сезоне (ВС). При этом активный период (отталкивания) и оба его компонента — длительность отталкивания руками и ногой, а также длина шагов, не различались. Соответственно, биатлонисты с более высокой дистанционной скоростью имели меньшие отношения: длины проката к длине шагов; времени проката к длительности отталкиваний руками, ногой и общему времени активного периода.

Биатлонисты с более высокой дистанционной скоростью имели более высокие значения угла в коленном суставе в момент постановки палок и большую амплитуду движения в нем при отталкивании.

В выборке ВС более высокую дистанционную скорость в сезоне имели спортсмены с большей массой тела, что может объясняться более высокой мышечной массой при больших тощих объемах верхней части тела, но меньшем жировом компоненте. «Быстрых» биатлонистов также отличали меньшие показатели максимальной алактатной мощности мышц при работе ногами (табл. 1 и 3).

При втором способе формирования выборок (сохранении разницы в скорости, но нивелировании различий в массе тела) все различия в кинематике ООКХ стали незначимыми. При этом спортсмены с более высокой дистанционной скоростью имели более высокую механическую мощность при беге на тредбане ( $3,25 \pm 0,31$  vs  $3,06 \pm 0,36$  м/с,  $p = 0,04$ ,  $R^2 = 0,10$ ).

### 4. Обсуждение

Целью проведенного исследования было сравнение телосложения, показателей физической подготовленности и кинематики одновременного одношажного конькового хода при беге на лыжах у биатлонистов высокого класса в сезонах 2018/19–2024/25 гг. В работе исследовались спортсмены, входящие в число лучших в России в соответствующие годы, использовалась относительно большая для таких исследований стандартно тестируемая выборка спортсменов ( $n = 53$ ), были нормализованы все кинематические параметры бега на скорость, а также в качестве оценки средней дистанционной скорости биатлонистов в сезоне использовался регрессионный

остаток зависимости результат — точность стрельбы. Предполагалось, что таким образом удастся более надежно выявить критерии физической подготовленности и техники, которые отражают факторы, влияющие на дистанционную скорость биатлонистов высокого класса.

Анализ кинематики ООКХ позволил с высокой вероятностью ( $\alpha = 0,01$ ) утверждать, что биатлонистов с более высокой дистанционной скоростью характеризует прежде всего меньшая длительность/путь свободного скольжения (проката), при слабой тенденции более длительного активного периода. Соответственно длина и частота шагов у биатлонистов двух сравниваемых групп (с высокой и низкой дистанционной скоростью) при одинаковой скорости не различалась несмотря на то, что без нормирования на скорость более быстрые спортсмены увеличивают дистанционную скорость в большей мере за счет длины шагов [4, 6]. С учетом данных ранее проведенных исследований такой бег может быть охарактеризован как «экономичный», с меньшим импульсом и экстремумами силы при отталкивании и меньшими потерями продольной скорости в цикле шагов [3]. В то же время необходимо отметить, что получены очень низкие значения размера эффекта, даже при статистической значимости различий. Это может объясняться очень маленькими межгрупповыми различиями между спортсменами по соответствующим показателям. Однако для очень узкой выборки элитных спортсменов даже минимальные различия в «настройке техники» могут быть значимы в отношении спортивной результативности. В то же время необходимо учитывать примененный метод — техника всех спортсменов нормирована на скорость бега. Это очевидно значительно нивелировало различия в значениях кинематических параметров, которые существенно связаны со скоростью движения [4, 6].

Вторым выводом является то, что основными различительными признаками являются особенности фазовой структуры бега. Согласно существующим представлениям, это может быть обусловлено фактором целенаправленной технической подготовки — «обучения» [3, 4]. В то же время в ранее проведенном исследовании были получены данные, позволяющие предположить, что выявленные различия в кинематике бега могут быть обусловлены разницей в массе тела и мышц [4]. Для проверки этой гипотезы было произведено перераспределение спортсменов в выборках таким образом, чтобы сохранить различия по оценке дистанционной скорости ( $p < 0,001$ ), но выровнять группы по массе тела ( $p > 0,5$ ). В результате все различия по кинематике между изучаемыми группами стали статистически незначимыми. Среди показателей физической подготовленности биатлонистов с более высокой дистанционной скоростью характеризовал более высокий анаэробный порог при беге на тредбане ( $p = 0,04$ ), также к границе достоверности приблизился и более высокий показатель

Таблица 3

Значения, стандартные отклонения и размер эффекта (PЭ) различий показателей физической подготовленности у биатлонистов с высокой (BC,  $n = 27$ ) и низкой (HC,  $n = 26$ ) оценками средней дистанционной скорости в сезоне

Table 3

Values, standard deviations and effect sizes (ES) of differences in physical fitness indicators in biathletes with high (HS,  $n = 27$ ) and low (LS,  $n = 26$ ) estimates of average distance speed in the season

Показатель / Parameter	BC HS	SD	HC LS	SD	PЭ ES
Максимальная сила мышц ног, Н*м/кг Maximal strength of leg muscles, N m/kg	2,65	0,21	2,68	0,38	-0,03
Скоростно-силовые способности мышц разгибателей ног, Вт/кг Explosive strength of leg muscles, W/kg	21,8	2,11	22,4	2,04	-0,06
Максимальная сила мышц плечевого пояса и рук, Вт/кг Maximal strength of upper body muscles, W/kg	3,85	0,52	3,67	0,54	0,07
Максимальная алактатная мощность при работе руками, Вт/кг Upper body anaerobic power, W/kg	8,09	0,69	8,08	0,71	0,00
Максимальная алактатная мощность при работе ногами, Вт/кг Lower body anaerobic power, W/kg	13,0	0,81	13,8*	0,96	-0,18
Максимальный импульс силы при работе руками, Вт*с/кг Explosive strength of upper body muscles, W*s/kg	9,16	1,14	9,23	1,12	-0,01
Механическая работа за цикл движения при работе руками, у. е. Upper body work per cycle at an anaerobic threshold, i.e.	42,9	6,47	41,5	6,06	0,04
Индекс ударного объема сердца, у. е. Stroke Volume Index, i.e.	188,7	18,2	194,1	14,6	-0,06
Индекс минутного кровотока, у. е. Cardiac Output Index, i.e.	31,9	2,13	32,6	1,98	-0,06
МПК, мл/мин/кг $\dot{V}O_2$ , max, ml/min/kg	73,1	5,10	71,3	5,15	0,07
Кислородный пульс на АнП при работе руками, мл/кг*100 Upper body AnT $O_2$ pulse, mL/kg*100	30,1	2,15	30,0	2,07	0,02
Кислородный пульс на АнП при беге на тредбане, мл/кг*100 Treadmill running AnT $O_2$ pulse, mL/kg*100	34,7	2,95	35,0	2,01	-0,02
$VO_2$ на АнП при работе руками, мл/кг/мин Upper body $VO_2$ , AnT, ml/min/kg	51,0	3,14	50,0	3,85	0,06
Мощность на АнП при работе руками, Вт/кг Upper body AnT power, W/kg	3,32	0,31	3,26	0,20	0,04
$VO_2$ АнП в беге на тредбане, мл/кг/мин Treadmill running $VO_2$ , AnT, ml/min/kg	61,9	4,94	61,2	3,57	0,03
Мощность на АнП в беге на тредбане, Вт/кг Treadmill running AnT power, W/kg	3,24	0,37	3,14	0,34	0,05

Примечание: АнП — анаэробный порог,  $VO_2$  — потребление кислорода, \* — различия достоверны при  $\alpha = 0,05$ .

Note: AnT — anaerobic threshold,  $VO_2$  — oxygen consumption, \* — differences are significant at  $\alpha = 0.05$ .

относительной силы мышц ног у таких биатлонистов ( $p = 0,09$ ).

Таким образом, подтвердилась гипотеза, что в выборке лучших по скорости биатлонистов России значимым фактором, влияющим на значения кинематических параметров техники ООКХ, являются антропометрические особенности спортсменов, а лучшая скорость при устранении этого фактора связана с тенденцией лучших аэробных способностей.

В то же время у спортсменов с более высокой дистанционной скоростью большая амплитуда движения в коленном суставе при отталкивании. Проведенный

биомеханический анализ позволяет сделать вывод о том, что это должно сопровождаться большим вертикальным перемещением центра масс тела (ЦМТ) спортсменов, что не совсем укладывается в гипотезу «экономичного стиля бега», однако может быть связано с меньшей алактатной мощностью мышц ног при их одинаковых силовых показателях (табл. 1). Последнее, как считается на основании проведенных ранее исследований, может быть признаком преобладания медленно сокращающихся мышечных волокон в основных мышечных группах [4]. Если эта гипотеза справедлива, то более медленные, но сильные мышцы ног позволяют биатлонистам

с более высокой дистанционной скоростью лучше использовать энергию упругой деформации при разгоне ЦМТ на опоре при меньшей вероятности накопления кислых продуктов обмена в мышцах разгибателей ног. В свою очередь, лучший разгон ЦМТ позволяет иметь более высокую вертикальную скорость в начале свободного скольжения, снижая тем самым давление на снег и уменьшая коэффициент сопротивления скольжению.

### 5. Заключение

Спортсмены уровня сборной команды России по биатлону с более высокой дистанционной скоростью в сезоне имели меньшую длину свободного скольжения и отношение проката к длительности отталкивания, а также большие угол в коленном суставе

#### Вклад авторов:

**Мякинченко Евгений Борисович** — концепция статьи, написание текста статьи, научное редактирование, экспертная оценка.

**Волков Максим Владимирович** — анализ литературных источников, сбор и статистическая обработка данных.

**Крючков Андрей Сергеевич** — концепция статьи, редактирование рукописи, экспертная оценка.

**Мисина Светлана Сергеевна** — статистическая обработка данных, научное редактирование.

### Список литературы / References

1. Абалян А.Г., Крючков А.С., Мякинченко Е.Б., Фомиченко Т.Г. Опыт организации комплексного педагогического контроля в научно-методическом обеспечении подготовки спортсменов высокого класса. Москва: ФГУ ФНЦ ВНИИФК; 2023. [Abalyan A.G., Kryuchkov A.S., Myakinchenko E.B., Fomichenko T.G. Experience in Organizing Complex Pedagogical Control in Scientific and Methodological Support for Training High-class Athletes. Moscow: VNIIFK; 2023. (In Russ)].
2. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Москва: Физматлит; 2006. [Kobzar' A.I. Applied Mathematical Statistics. Moscow: Fizmatlit; 2006. (In Russ)].
3. Мякинченко Е.Б., Крючков А.С., Фомиченко Т.Г. Силовая подготовка спортсменов высокого класса в циклических видах спорта с преимущественным проявлением выносливости. Москва: Спорт; 2022. [Myakinchenko E.B., Kryuchkov A.S., Fomichenko T.G. Strength Training of High-class Athletes in Cyclic Sports with Predominant Manifestation of Endurance. Moscow: Sport Publ.; 2022. (In Russ.)].
4. Мякинченко Е.Б., Крючков А.С., Мисина С.С., Мякинченко П.Е., Волков М.В. Периодизация тренировочного процесса, динамика физической подготовленности, кинематических параметров техники и спортивного результата у лыжников и биатлонистов высокого класса. Москва: Перо; 2024. [Myakinchenko E.B., Kryuchkov A.S., Missina S.S., Myakinchenko P.E., Volkov M.V. Periodization of the Training Process, Dynamics of Physical Fitness, Kinematic Parameters of Technique and Sports Results in High-Class Skiers and Biathletes. Moscow: Pero Publ.; 2024. (In Russ.)].
5. Стрижков А.Е., Жарикова Т.С., Моисеенко А.А., Сафронов П.Г., Кутин Е.С., Овчинникова С.С., Михайлова Н.В., Суслина П.С., Николенко В.Н. Расхождение результатов оценки

при постановке палок и амплитуду вертикальных перемещений центра масс тела. У этой группы были выше масса тела и мышц, ниже максимальная алактатная мощность мышц ног, а также тенденция лучших силовых и аэробных показателей при работе руками. После выравнивания групп по массе тела группы перестали различаться по кинематике бега. При такой группировке в выборке биатлонистов с лучшей соревновательной скоростью зафиксированы более высокий анаэробный порог и тенденция лучших силовых показателей мышц ног. Таким образом, данные настоящего исследования позволяют заключить, что одним из существенных факторов различий в кинематических показателях одновременного одношажного конькового хода является разница в массе тела и мышц.

#### Authors' contributions:

**Evgeny B. Myakinchenko** — article concept, writing the text of the article, scientific editing, approval of the final version of the article.

**Maksim V. Volkov** — analysis of literary sources, collection and statistical processing of data.

**Andrey S. Kriuchkov** — article concept, manuscript editing, expert review.

**Svetlana S. Missina** — statistical processing of data, manuscript editing, approval of the final version of the article.

компонентного состава тела, измеренного у одних и тех же лиц разными способами. Спортивная медицина: наука и практика. 2025;15(3):13–21. [Strizhkov A.E., Zharikova T.S., Moiseenko A.A., Safronov P.G., Kutin E.S., Ovchinnikova S.S., Mikhailova N.V., Suslina P.S., Nikolenko V.N. Discrepancy in the results of the assessment of body component composition measured in the same individuals by different methods. Sports medicine: research and practice. 2025;15(3):13–21. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.3.2>

6. Stöggl T., Mueller E., Ainegren M., Holmberg H.C. General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross country skiing? Scand. J. Med. Sci. Sports. 2011;21(6):791–803. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01078.x>

7. Ihalainen S., Colyer S., Andersson E., McGawley K. Performance and micro-pacing strategies in a classic cross country skiing sprint race. Front. Sports Act. Liv. 2020;2(77):134–142. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00077>

8. Losnegard T., Schäfer D., Hallén J. Exercise economy in skiing and running. Front. Physiol. 2014;5:5. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00005>

9. Nakagawa S., Cuthill I.C. Effect size, confidence interval and statistical significance: a practical guide for biologists. Biol. Rev. 2007;82:591–605. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2007.00027.x>

10. Myakinchenko E.B., Kriuchkov A.S., Kuzmichev V.A., Adodin N.V., Heil D.P., Feofilaktov V.V. Physiological profiles and training loads of international level male and female cross-country skiers and biathletes. Sci. Sports. 2022;37(5–6):490.e1–490.e10. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2021.09.004>

11. Skattebo O., Losnegard T. Variability, predictability and race factors affecting performance in elite biathlon. Int. J. Sports Physiol. Perform. 2018;13(3):313–319. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0090>

**Информация об авторах:**

**Мякинченко Евгений Борисович**, д.п.н, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, г. Москва, Елизаветинский пер., д. 10, стр. 1 (eugst@yandex.ru)

**Волков Максим Владимирович**, ведущий специалист Национального центра спорта, аспирант ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, г. Москва, Елизаветинский пер., д. 10, стр. 1 (volkov.m.v@vniifk.ru)

**Крючков Андрей Сергеевич**, к.п.н, заместитель генерального директора — начальник центра, ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», руководитель КНГ по биатлону и лыжным гонкам, Россия, 105005, г. Москва, Елизаветинский пер., д. 10, стр. 1 (kruchkova\_an@mail.ru)

**Миссина Светлана Сергеевна\***, к.п.н., младший научный сотрудник лаборатории проблем спортивной подготовки ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», аналитик КНГ сборных команд по биатлону, лыжным гонкам, Россия, 105005, г. Москва, Елизаветинский пер., д. 10, стр. 1 (smisina@yandex.ru)

**Information about the authors:**

**Evgeny B. Myakinchenko**, Dr. Sci. (Pedagogy), Leading Researcher, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Russia, 105005, Moscow, Elizavetinsky Lane, 10, building 1 (eugst@yandex.ru)

**Maksim V. Volkov**, Leading Specialist, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Russia, 105005, Moscow, Elizavetinsky Lane, 10, building 1 (volkov.m.v@vniifk.ru)

**Andrey S. Kriuchkov**, Cand. Sci. (Pedagogy), Deputy General Director — Head of the Center, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Russia, 105005, Moscow, Elizavetinsky Lane, 10, building 1 (kruchkova\_an@mail.ru)

**Svetlana S. Missina\***, Cand. Sci. (Pedagogy), Junior Research, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Russia, 105005, Moscow, Elizavetinsky Lane, 10, building 1 (missina@yandex.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## Особенности взаимодействия компонентов кислородного транспорта у юношей в зависимости от физической активности и полиморфизма гена ACE

Е.Е. Исаева<sup>1</sup>, А.З. Даутова<sup>2\*</sup>, Э.А. Науразбаева<sup>1</sup>, А.И. Ахъямова<sup>1</sup>, В.Г. Шамратова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», г. Казань, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель:** исследование ассоциации полиморфизма I/D гена ACE с оксигенацией гемоглобина и его сродством к кислороду, а также оценка доли участия отдельных компонентов кислородтранспортной системы у юношей в зависимости от физической активности и полиморфизма гена ACE.

**Материалы и методы.** Обследованы 201 юноша в возрасте 21 ± 2 года. В зависимости от уровня двигательной активности (ДА) обследуемые были разделены на две группы. Первая группа представлена студентами с высокой ДА — спортсмены-легкоатлеты (бег на средние и длинные дистанции) ( $n = 50$ ). Во вторую группу вошли студенты с низкой ДА (НДА) ( $n = 151$ ). У участников определяли общее число эритроцитов, содержание гемоглобина, средний объем отдельного эритроцита, гематокрит, среднюю концентрацию гемоглобина в эритроците, а также напряжение кислорода при 50%-ной десатурации крови (p50), парциальное давление кислорода и углекислого газа, содержание окси- и дезоксигемоглобина, рН. Также проводилась оценка гемодинамических показателей. ДНК выделяли из лимфоцитов крови сорбентным способом. Генотипирование образцов проводили с помощью полимеразной цепной реакции в реальном времени.

**Результаты.** Установлено, что наличие в генотипе аллеля D гена ACE обуславливает взаимосвязь снижения уровня ДА с ухудшением показателей сатурации кислорода, что повышает вероятность неблагоприятных изменений функционального состояния сердечно-сосудистой системы. У носителей генотипа I/I снижение уровня ДА ассоциируется с уменьшением суммарной дыхательной поверхности эритроцитов при отсутствии напряжения со стороны аппарата кровообращения.

**Заключение.** Различия в аффинности гемоглобина к кислороду генетически детерминированы. У носителей аллеля D оксигенация гемоглобина зависит от уровня ДА, а у представителей генотипа I/I гена ACE снижение сродства гемоглобина к кислороду не зависит от интенсивности мышечной деятельности.

**Ключевые слова:** полиморфизм I/D гена ACE, оксигенация крови, кислородтранспортная система, физическая активность, адаптация

**Для цитирования:** Исаева Е.Е., Даутова А.З., Науразбаева Э.А., Ахъямова А.И., Шамратова В.Г. Особенности взаимодействия компонентов кислородного транспорта у юношей в зависимости от физической активности и полиморфизма гена ACE. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2026;16(1):33–42. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.4>

Поступила в редакцию: 11.04.2025

Принята к публикации: 22.02.2026

Online first: 27.04.2026

Опубликована: 20.06.2026

\* Автор, ответственный за переписку

# Peculiarities of interaction of oxygen transport components in young men depending on physical activity and ACE gene polymorphism

Ekaterina E. Isaeva<sup>1</sup>, Albina Z. Dautova<sup>2,\*</sup>, Emilia A. Naurazbaeva<sup>1</sup>, Alina I. Akhyamova<sup>1</sup>,  
Valentina G. Shamratova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bashkir State Medical University, Ufa, Russia

<sup>2</sup>Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, Russia

## ABSTRACT

**Objective:** to investigate the association between the I/D polymorphism of the ACE gene and hemoglobin oxygenation and its affinity for oxygen, as well as to assess the contribution of individual components of the oxygen transport system in young men depending on physical activity and the ACE gene polymorphism.

**Materials and methods:** The study involved 201 young men aged  $21 \pm 2$  years. Depending on their level of physical activity (PA), the subjects were divided into two groups. The first group consisted of student-athletes engaged in track and field (middle- and long-distance running) ( $n = 50$ ). The second group comprised students with low PA ( $n = 151$ ). General blood parameters were determined: total red blood cell count (RBC), hemoglobin concentration (HGB), mean corpuscular volume (MCV), hematocrit (HTC), and mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC). Additionally, oxygen tension at 50 % blood desaturation (p50), partial pressure of oxygen and carbon dioxide (pO<sub>2</sub> and pCO<sub>2</sub>), concentrations of oxyhemoglobin and deoxyhemoglobin (HbO<sub>2</sub>, HHb), and pH were measured. Hemodynamic parameters were assessed. DNA was extracted from blood lymphocytes using a sorbent-based method. Genotyping of samples was performed using real-time PCR.

**Results.** Factor analysis revealed that the presence of the D allele of the ACE genotype determines an association between decreased PA levels and impaired oxygen saturation parameters, which increases the likelihood of adverse changes in the functional state of the cardiovascular system. In carriers of the I/I genotype, a decrease in PA level is associated with a reduction in the total respiratory surface of red blood cells without placing strain on the circulatory system.

**Conclusion.** Differences in hemoglobin affinity for oxygen are genetically determined. In carriers of the D allele, hemoglobin oxygenation depends on the level of PA. In individuals with the I/I genotype of the ACE gene, a decrease in hemoglobin's affinity for oxygen, regardless of the intensity of muscular activity, ensures the body's ability to maintain the necessary level of oxygen delivery to tissues.

**Keywords:** ACE gene I/D polymorphism, blood oxygenation, oxygen transport system, physical activity, adaptation

**For citation:** Isaeva E.E., Dautova A.Z., Naurazbaeva E.A., Akhyamova A.I., Shamratova V.G. Peculiarities of interaction of oxygen transport components in young men depending on physical activity and ACE gene polymorphism. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2026;16(1):33–42. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.4>

Received: 11 April 2025

Accepted: 22 February 2026

Online first: 27 April 2026

Published: 20 June 2026

\*Corresponding author

## 1. Введение

Повышенные энергозатраты при физических нагрузках требуют от организма мобилизации всех звеньев системы обеспечения кислородом тканей, реализующейся разными механизмами: путем усиления сердечной деятельности, увеличения кислородной емкости крови (КЕК) и функциональной активности системы внешнего дыхания [1–3]. Тем не менее увеличение доставки кислорода к тканям за счет более интенсивной работы сердца и повышения производительности аппарата кровообращения не всегда эффективно из-за возрастания энергетических затрат. Повышение же количества эритроцитов и гемоглобина, хотя и увеличивает КЕК, может снизить кислородтранспортные способности крови в микроциркуляторном русле из-за ухудшения ее реологических свойств [4, 5].

Наиболее оправданным адаптационным механизмом, позволяющим обеспечивать ткани адекватным потребностям организма количеством кислорода, можно считать регуляцию сродства гемоглобина к кислороду (в частности,

благодаря выраженному эффекту Бора) [6, 7]. Так, существуют сведения о том, что увеличение выше физиологической нормы величины р50, которой соответствует напряжение рО<sub>2</sub> при 50 % десатурации крови, способствует возрастанию возможностей организма при выполнении физических нагрузок и сердечной недостаточности [8, 9]. Причем среди животных известны генетически детерминированные адаптационные механизмы, реализующиеся путем варьирования величины р50 [10].

В связи с этим представляет интерес изучение индивидуальных генетических особенностей человека, обуславливающих модуляцию сродства гемоглобина к кислороду и благоприятствующих оптимальному транспорту кислорода к тканям при физических нагрузках. Перспективным генетическим маркером, причастным к регуляции системы транспорта кислорода, является полиморфизм гена ангиотензин-превращающего фермента (ACE). Полиморфизм I/D гена ACE объясняет до 47 % варибельности уровня активности ACE среди индивидов и обладает аддитивным эффектом

в зависимости от генотипа (II, ID или DD). Аллель I ассоциирован с пониженным уровнем ACE как в сыворотке крови, так и в тканях по сравнению с аллелем D. Установлена связь между наличием аллеля D и усилением распада брадикинина. Носители аллеля I обладают улучшенной сосудистой функцией, лучшим кровоснабжением мышц и доставкой кислорода во время длительных физических нагрузок, что благоприятствует развитию выносливости [11]. Показано, что полиморфизм I/D гена ACE ассоциирован с изменением максимального потребления кислорода [12], минутной вентиляции легких и насыщения артериальной крови кислородом [13], рядом гематологических показателей [14]. Носители аллеля I (ACE) демонстрируют прямую ассоциацию с кардиореспираторной и мышечной выносливостью, а также с проявлением аэробных возможностей [14–16].

Несмотря на наличие в современной научной литературе многочисленных сведений о влиянии I/D полиморфизма гена ACE на различные компоненты кислородного транспорта [11–16], остаются нераскрытыми механизмы, обуславливающие различие аэробной выносливости у носителей аллелей I и D. Учитывая вышеизложенное, можно предположить, что полиморфизм I/D гена ACE может быть ассоциирован со степенью оксигенации гемоглобина и его сродством к кислороду.

**Цель настоящего исследования** заключалась в изучении ассоциации полиморфизма I/D гена ACE с оксигенацией гемоглобина и его сродством к кислороду, а также оценка доли участия отдельных компонентов кислородтранспортной системы (КТС) у юношей в зависимости от физической активности и полиморфизма гена ACE.

## 2. Методы исследования

### Участники

Были обследованы 201 юноша в возрасте  $21 \pm 2$  года, признанный клинически здоровым по результатам ежегодного диспансерного осмотра. В зависимости от уровня двигательной активности (ДА) обследуемые были разделены на две группы.

Первая группа представлена студентами — спортсменами-легкоатлетами (возраст  $20,32 \pm 1,72$  года, вес  $70,64 \pm 10,43$  кг, рост  $176,32 \pm 8,10$  см), которые занимались бегом на средние и длинные дистанции ( $n = 50$ ). Участники этой группы имели первый взрослый разряд или были кандидатами в мастера спорта. Тренировки длительностью два часа в данной группе проходили 4 раза в неделю. Таким образом, недельный тренировочный объем составлял не менее 480 минут, а сумма баллов согласно данным опросника физической активности была не менее 42 баллов — то есть их ДА можно считать высокой (группа ВДА).

Во вторую группу вошли студенты с низкой ДА (НДА) ( $n = 151$ ) (возраст  $19,58 \pm 1,54$  года, вес  $69,46 \pm 9,28$  кг, рост  $176,52 \pm 6,36$  см). В данной группе у юношей физические нагрузки составляли менее 150 минут в неделю, а сумма

баллов согласно данным опросника физической активности не превышала 21. Каждая группа обследованных подразделялась на три подгруппы в зависимости от генетической предрасположенности (с генотипом I/I, I/D, D/D). В группе ВДА соотношение составляло 15, 13, 22 человека соответственно с генотипом I/I, I/D, D/D, в группе НДА соответственно 25, 62, 64 человека.

Для оценки уровня физической активности студентов использовали опросник физической активности (International Questionnaire on Physical Activity, IPAQ), который включает вопросы о времени, проведенном в различных видах физической активности (ходьба, умеренная и интенсивная физическая активность) за неделю. Выбор теста обусловлен его валидностью для взрослой популяции и краткостью (продолжительность ответов — не более трех минут). На основе подсчета суммы баллов определяли наличие признаков гиподинамии у юношей.

Все участники подписали добровольное письменное согласие на участие в эксперименте и были проинформированы о целях и задачах исследования. Протокол исследования одобрен Этическим комитетом ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (протокол № 2 от 26.05.2023 г.).

### Гематологический анализ

Оценка гематологических показателей проводилась на гематологическом анализаторе ADVIA 60 (Bayer, Германия). Определялись количество эритроцитов (RBC), средний объем эритроцитов (MCV), среднее содержание гемоглобина в отдельном эритроците (MCH), средняя концентрация гемоглобина в клетке (MCHC), гематокрит (Ht) и концентрация гемоглобина (Hb). На автоматическом анализаторе газов крови ABL800 FLEX (Radiometer, Германия) определяли напряжение кислорода при 50 %-ной десатурации крови (p50), парциальное давление кислорода и углекислого газа (pO<sub>2</sub> и pCO<sub>2</sub>), содержание окси- и дезоксигемоглобина (HbO<sub>2</sub>, HHb), кислотность крови (pH).

### Оценка гемодинамических показателей

С помощью монитора анестезиолога-реаниматолога, компьютеризованного для гемодинамического мониторинга «МАРГ 10–01» (Микролюкс, Россия) у всех испытуемых в состоянии относительного покоя измеряли систолическое артериальное давление (САД, мм рт. ст.), диастолическое артериальное давление (ДАД, мм рт. ст.), частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин). Также использовались рассчитанные монитором показатели, характеризующие резервные возможности сердечно-сосудистой системы (ССС): минутный объем кровообращения (МОК, мл/мин) и ударный объем кровообращения (УОК, мл), коэффициент экономизации кровообращения (КЭК, мл), индекс напряжения миокарда (ИНМ, усл. ед.), общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС,

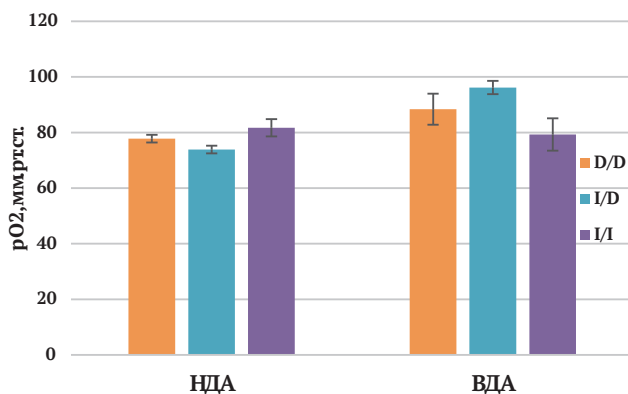
дин $\times$ см<sup>-5</sup>), коэффициент выносливости (КВ, усл. ед.) и адаптационный потенциал (АП, усл. ед.).

### Генетические методы

Для генетического анализа полиморфного варианта rs4646994 (I/D) гена ACE использовали ДНК, выделенную из лимфоцитов крови сорбентным способом в соответствии с прилагаемой инструкцией по применению к комплекту реагентов для экстракции ДНК «АмплиПрайм ДНК-сорб-В» (НекстБио, Россия). Образцы были генотипированы с помощью полимеразной цепной реакции в реальном времени в дубликate с использованием коммерческих реагентов (Тест-ген, Россия) на амплификаторе CFX96 Touch™ (Bio-Rad, США).

### Статистические методы

Статистическую обработку данных проводили с помощью стандартного пакета программ Statistica версии 10.0. Исследуемые выборки были проверены на нормальность распределения количественных показателей с помощью критерия Шапиро — Уилка, а также на равенство дисперсий изучаемого признака с помощью критерия Levene. Для выявления отдельного, а также сочетанного влияния факторов был проведен многофакторный дисперсионный анализ Factorial ANOVA с выделением факторов: «ген ACE» (DD, ID, II), «уровень ДА» (НДА и ВДА). Для выявления статистических различий между группами проводили апостериорные сравнения с поправкой Бонферрони. Количественные значения на рисунках представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения среднего значения. Для выявления скрытых факторов, характеризующих связи между наблюдаемыми переменными, был проведен факторный анализ методом главных факторов с varimax-ротацией. Были рассмотрены и интерпретированы только факторы, имеющие максимальные нагрузки после вращения двух осей главных компонент. Остальные факторы в исследовании не описывались в силу низких величин



**Рис. 1.** Среднегрупповые значения  $pO_2$  при разном уровне ДА в зависимости от (I/D) полиморфизма. Пределы погрешностей указывают на стандартное отклонение значения  $pO_2$  ( $p < 0,05$ )  
**Fig. 1.** Mean group values of  $pO_2$  at different levels of DA, depending on (I/D) polymorphism. The error limits indicate the standard deviation of the  $pO_2$  value ( $p < 0,05$ )

корреляций переменных к фактору. Интерпретация основана на нагрузках  $> 0,70$ .

### 3. Результаты исследования

По результатам апостериорного анализа установлено (рис. 1), что при систематических занятиях спортом у носителей аллеля D величина  $pO_2$  выше, особенно при гетерозиготном варианте (при D/D генотипе:  $88,4 \pm 5,6$  mmHg; I/D генотипе:  $96,2 \pm 2,4$  mmHg и I/I генотипе:  $79,3 \pm 5,8$  мм рт. ст. mmHg) ( $p \leq 0,05$ ). Причем у обладателей I/D генотипа значения  $pO_2$  превышали уровень у обоих гомозигот при высокой физической активности, но были ниже у юношей, ведущих малоподвижный образ жизни (при D/D генотипе:  $77,8 \pm 1,4$  mmHg; I/D генотипе:  $73,9 \pm 1,4$  mmHg и I/I генотипе:  $81,7 \pm 3,1$  mmHg) ( $p \leq 0,05$ ).

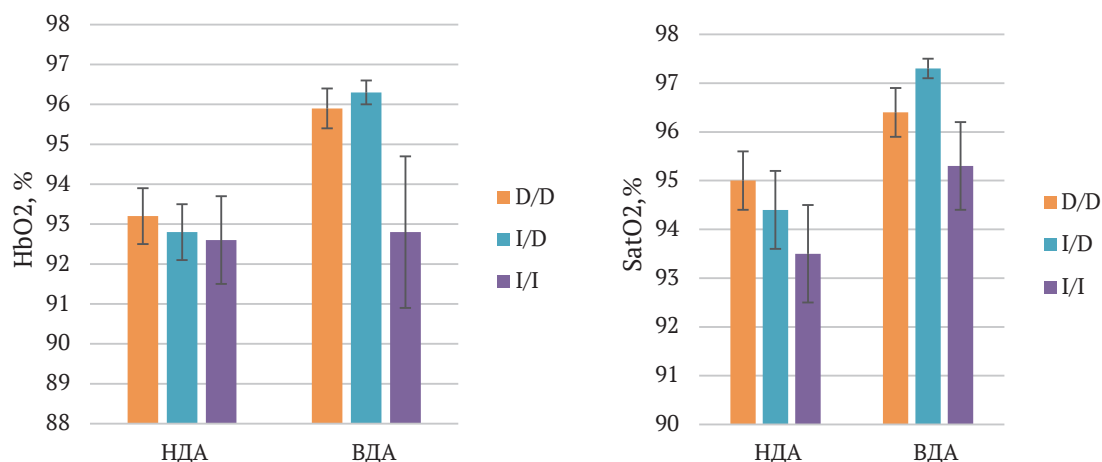
При анализе параметров гемоглобинового профиля установлено, что, как и в случае  $pO_2$ , на фенотипическое проявление генотипа влиял такой фактор образа жизни, как физические нагрузки (при D/D генотипе:  $95,9 \pm 0,5\%$ ; I/D генотипе:  $96,3 \pm 0,3\%$  и I/I генотипе:  $92,8 \pm 1,9\%$ ) ( $p \leq 0,05$ ). У носителей аллеля D из группы ВДА отмечается более высокий уровень сатурации по сравнению с обладателями I/I генотипа (при D/D генотипе:  $96,4 \pm 0,5\%$ ; I/D генотипе:  $97,3 \pm 0,2\%$  и I/I генотипе:  $95,3 \pm 0,9$ ) ( $p \leq 0,05$ ) (рис. 2–3). В то же время у участников группы ВДА — представителей I/I генотипа — оба показателя отличались более низкими значениями.

Обнаруженные генетические особенности уровня  $pO_2$  и  $HbO_2$  сочетались с вариабельностью  $p50$ . При сравнении этого показателя у носителей I/I, I/D, D/D генотипов с разным уровнем физической активности была обнаружена ассоциация между генотипом I/I гена ACE и снижением аффинности гемоглобина к кислороду как в группе НДА, так и в группе ВДА. Величина  $p50$  при генотипе I/I превышала уровень у обладателей D/D в группе НДА: (I/I:  $27,4 \pm 1,7$  mmHg,  $p = 0,022$ ; D/D:  $25,4 \pm 0,5$  mmHg,) и ВДА (I/I:  $28,0 \pm 1,76$  mmHg,  $p = 0,000096$ ; D/D:  $25,3 \pm 0,7$  mmHg).

Величина  $CO_2$  различалась в зависимости от генетической принадлежности только в группе ВДА, составляя при D/D генотипе:  $39,6 \pm 1,7$  mmHg; I/D генотипе:  $40,6 \pm 1$  mmHg и I/I генотипе:  $45,7 \pm 1,8$  mmHg) ( $p = 0,03$ ) и не отличалась у участников группы НДА ни при одном из генотипов.

Принимая во внимание установленный факт о генетической детерминации аффинности гемоглобина к кислороду и, соответственно, различий в способности связывать и отдавать кислород тканям, представляет интерес изучение вклада этого молекулярного механизма в обеспечение адаптации КТС организма к физическим нагрузкам.

Составить обоснованное представление о взаимоотношениях отдельных звеньев кислородно-транспортной системы, а также конкретизировать и уточнить представления о роли генетического маркера I/D гена ACE в обеспечении адаптации системы кислородного



**Рис. 2.** Среднегрупповые значения HbO<sub>2</sub> и SatO<sub>2</sub> при разном уровне ДА в зависимости от (I/D) полиморфизма. Пределы погрешностей указывают на стандартное отклонение значения HbO<sub>2</sub> и SatO<sub>2</sub> ( $p < 0,05$ )

**Fig. 2.** Mean group values of HbO<sub>2</sub> and SatO<sub>2</sub> at different levels of DA, depending on (I/D) polymorphism. The error limits indicate the standard deviation of HbO<sub>2</sub> and SatO<sub>2</sub> values ( $p < 0.05$ )

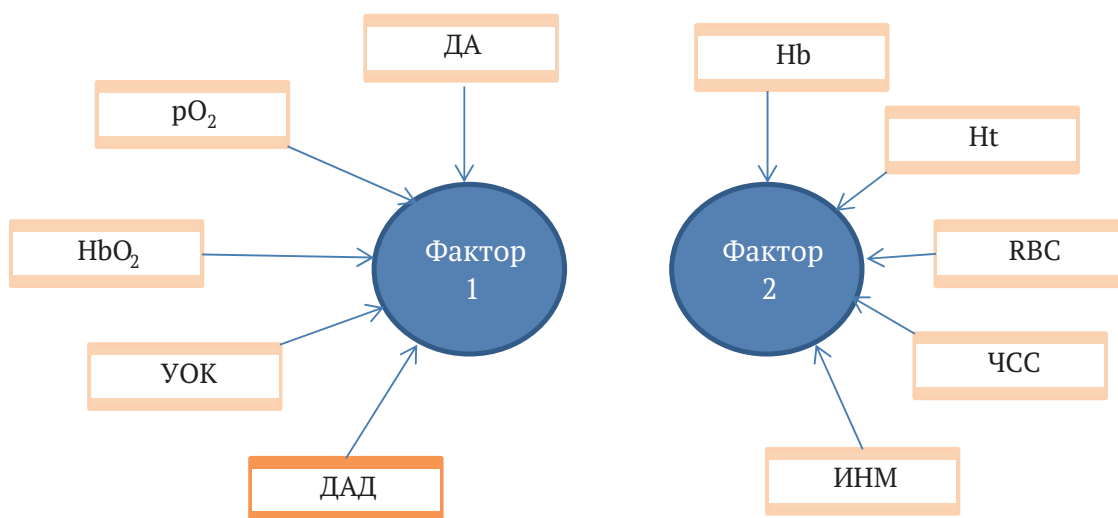
транспорта к физическим нагрузкам позволило использование факторного анализа.

Результаты факторного анализа, выполненного на основе матриц корреляций измеренных показателей КТС у носителей разных вариантов I/D полиморфизма гена ACE, представлены на рисунках 3–5. Согласно факторной структуре, при наличии в генотипе аллеля D основной вклад в формирование физиологического статуса организма вносят степень насыщения крови и гемоглобина кислородом и состояние сердечно-сосудистой системы.

Так, при D/D генотипе в первый, доминирующий фактор (F1 — 25% дисперсии) вошли вместе с физической активностью pO<sub>2</sub> (-0,8), HbO<sub>2</sub> (-0,8), УОК (-0,9)

с одноименным знаком, а ДАД (0,7), ЧСС (0,7) и КВ (0,8) — с противоположным. F2 (20%) характеризует однонаправленное варьирование параметров красной крови (HGB (-0,7) и НТС (-0,7)) и показателей ССС (САД (-0,8), ИНМ (-0,8), АП (-0,8), КЭК (-0,7)) (рис. 3).

При гетерозиготном варианте гена (I/D) выявляется принципиально сходная картина связей (рис. 4). Однако вклад ДА в регуляцию КТС ниже, чем при гомозиготном генотипе: фактор связи параметров КТС с уровнем физической активности обладает меньшей удельной емкостью (20% дисперсии) и включает наряду с ДА, pO<sub>2</sub> (-0,7) и HbO<sub>2</sub> (-0,7) только АД (0,6). В свою очередь, F2 (19% дисперсии), как и при генотипе D/D, описывает взаимоотношения суммарных параметров



**Рис. 3.** Факторная структура показателей КТС у юношей с DD генотипом

Примечание: цвет фигуры обозначает направление связи.  
 — отрицательная связь  
 — положительная связь

**Fig. 3.** Factor structure of KTS indicators in young men with DD genotype  
 Note: the color of the figure indicates the direction of the relationship.

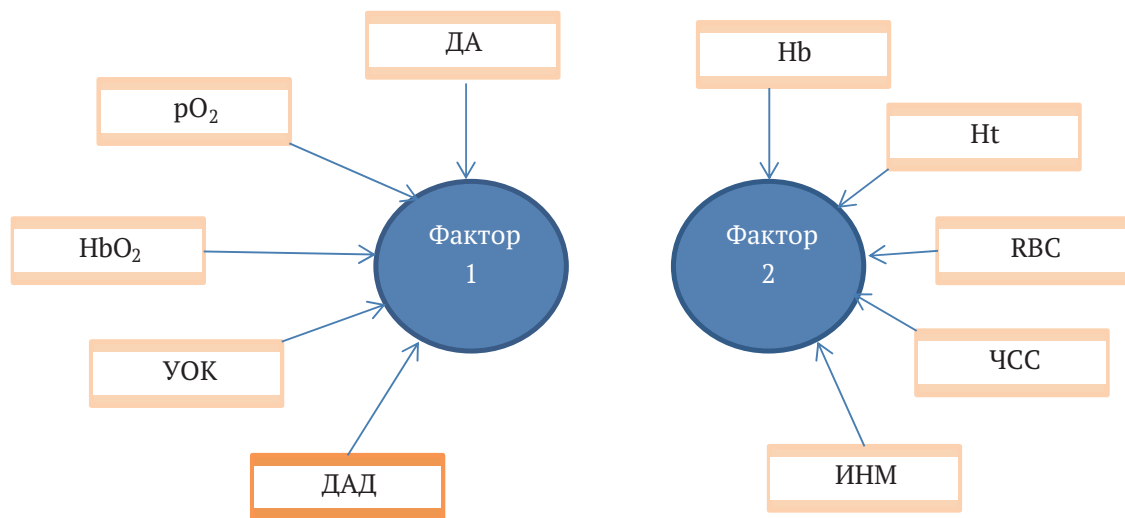


Рис. 4. Факторная структура показателей КТС у юношей с ID генотипом  
Примечание: цвет фигуры обозначает направление связи

— отрицательная связь  
— положительная связь.

Fig. 4. Factor structure of KTS indicators in young men with ID genotype  
Note: the color of the figure indicates the direction of the relationship.

красной крови (RBC (-0,7), HGB (-0,7) и HtC (-0,7)) с ЧСС (-0,8) и ИНМ (-0,7).

Структура выделенных факторов при I/I варианте полиморфизма I/D гена ACE имеет ряд особенностей (рис. 5). Во-первых, F1 — ведущий фактор с дисперсией 28% включает совместно с показателями сердечно-сосудистой системы параметры кислотно-основного состояния и гемоглобинового профиля. С положительным знаком в него вошли pH (0,9), HbO<sub>2</sub> (0,9) и МОК (0,7), с отрицательным — pCO<sub>2</sub> (-0,9), HНб (-0,6), p50 (-0,7), ДАД (-0,9) и ОПСС (-0,9). Наиболее примечательно здесь наличие корреляций, связывающих pH, pCO<sub>2</sub>, HНб, HbO<sub>2</sub> и p50, которые отчетливо иллюстрирует эффект Бора. Это находит

отражение в сопряженном с увеличением концентрации CO<sub>2</sub> и протонов водорода H<sup>+</sup>, усилении дезоксигенации гемоглобина и сдвигом кривой оксигенации гемоглобина вправо. Одновременно из анализа этого фактора следует, что возрастание оксигенации крови при повышении pH сочетается со снижением ДАД, периферического сопротивления сосудов и увеличением МОК.

F2 (21% дисперсии) характеризует связь показателей КТС с уровнем физической активности. Здесь, в отличие от картины у носителей аллеля D, гиподинамия сказывается главным образом на состоянии красной крови, выражаясь в снижении суммарной дыхательной поверхности эритроцитов. В то же время артериальное

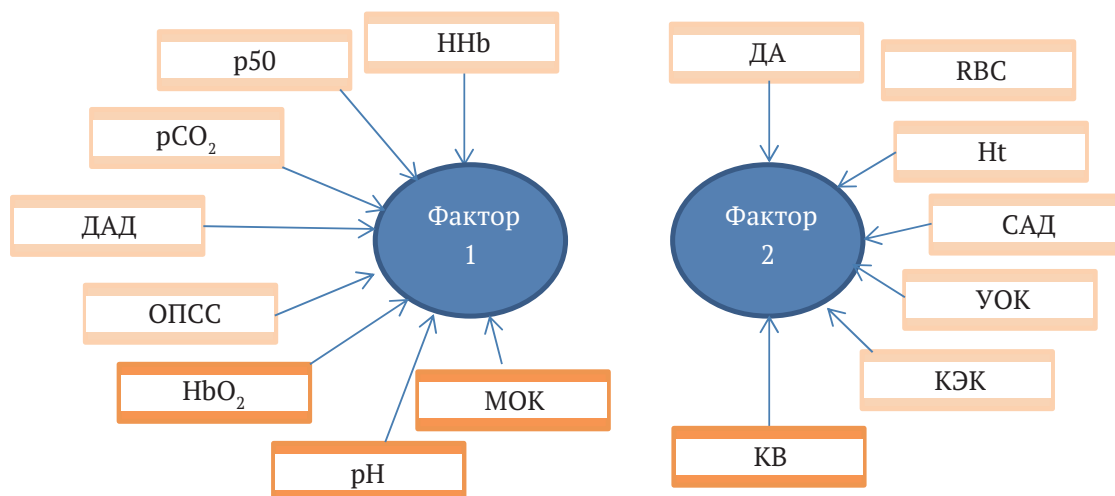


Рис. 5. Факторная структура показателей КТС у юношей с II генотипом  
Примечание: цвет фигуры обозначает направление связи

— отрицательная связь  
— положительная связь.

Fig. 5. Factor structure of KTS indicators in young men with II genotype  
Note: the color of the figure indicates the direction of the relationship.

давление при ограничении ДА снижается, а не повышается, как при генотипе D/D, и экономизируется работа сердца.

#### 4. Обсуждение

Известно, что для обеспечения оптимального уровня доставки кислорода тканям, соответствующего потребностям в нем организма, вовлекаются различные системы [17]. Вместе с тем, несмотря на то что снабжение тканей кислородом зависит от множества факторов, наиболее оправданным и эффективным механизмом адаптации организма к его недостатку наряду с гемодинамическим и респираторным ответом является регуляция сродства гемоглобина к кислороду [7, 9]. К числу факторов, способствующих адекватному ответу организма на изменение потребления кислорода, относится генетическая предрасположенность.

По результатам проведенного исследования установлено, что у носителей I/I генотипа (ACE) сродство гемоглобина к кислороду ниже, чем у представителей D/D генотипа и у физически малоактивных юношей, и у спортсменов. Изменения сродства гемоглобина к кислороду на протяжении всего кровеносного русла оптимизируют как поступление кислорода в легкие, так и доставку кислорода в периферические ткани. Например, при мышечной работе побочные продукты метаболизма, повышенный уровень CO<sub>2</sub> и более низкий pH способствуют локальному снижению сродства гемоглобина к кислороду, тем самым способствуя более эффективной отдаче и утилизации кислорода клетками [19].

Различие в аффинности гемоглобина в зависимости от генотипа проявляется у носителей аллели D в повышении уровня pO<sub>2</sub>, HbO<sub>2</sub> и SatO<sub>2</sub> при интенсификации физических нагрузок. Данные особенности можно объяснить смещением кривой диссоциации кислорода влево у юношей, имеющих в своем генотипе аллель D, так как люди с высоким сродством гемоглобина к кислороду характеризуются его более высоким насыщением артериальной крови. При этом чрезмерная вентиляция, обусловленная возрастанием интенсивности физических нагрузок, увеличивает потребление кислорода дыхательными мышцами. У носителей генотипа I/I гена ACE, наоборот, наблюдается эффективная экстракция кислорода к тканям независимо от уровня ДА по сравнению с лицами, имеющими генотип D/D гена ACE.

Проведенные ранее исследования продемонстрировали ассоциацию I/D полиморфизма гена ACE с состоянием эритроцитарного звена крови и сердечно-сосудистой системы [18]. Не вызывает сомнения, что функционирование этих компонентов в адаптационных процессах взаимосвязано и взаимозависимо. Объективно оценить роль и степень участия отдельных механизмов кислородного транспорта в зависимости от генетической принадлежности позволило изучение взаимоотношений между показателями компонентов кислородообеспечения при разном уровне физической активности.

Преимущество использования с этой целью факторного анализа состоит в возможности содержательной интерпретации системы корреляций в выделенных факторах и уточнения относительной значимости изучаемых признаков в обеспечении организма кислородом. С этой целью в матрицы наряду с показателями, характеризующими кислородтранспортные свойства гемоглобина, включены параметры, описывающие состояние красной крови и сердечно-сосудистой системы. Из проведенного анализа факторных матриц установлено, что резервы функционирования разных звеньев КТС организма в зависимости от уровня физической активности в определенной мере генетически детерминированы.

Так, судя по факторным структурам, негативные последствия гиподинамии при наличии в генотипе аллеля D гена ACE проявляются в снижении pO<sub>2</sub> и степени оксигенации гемоглобина, сочетающихся с напряжением функционирования аппарата кровообращения (уменьшение уровня оксигенации крови и гемоглобина кислородом коррелирует со снижением ударного объема крови на фоне возрастания ДАД, ЧСС). Ослабление функциональной активности красной крови у юношей — носителей генотипа DD сопряжено со снижением напряжения миокарда и уменьшением энергетических затрат на деятельность аппарата кровообращения. Из анализа выделенных структур видно, что ограничение двигательной активности при генотипе DD имеет в целом негативные последствия для состояния кислородообеспечения организма. Возможно, одной из причин обнаруженных закономерностей является ассоциация аллеля D с повышенным тонусом кровеносных сосудов, обусловленным вазоконстрикторным действием ангиотензина II на гладкую мускулатуру сосудов [20].

Сравнивая емкость факторов, состав переменных и величины их коэффициентов корреляций с факторами, можно заключить, что в гетерозиготном состоянии аллеля D (I/D) отрицательное влияние гиподинамии на систему кислородообеспечения выражено слабее, чем в гомозиготном (D/D).

У носителей I/I генотипа ограничение физической активности не вызывает напряжения сердечной деятельности, возможно, благодаря уменьшению вязкости крови, обусловленному одновременным снижением общей концентрации и объема циркулирующих эритроцитов. Адаптивные резервы системы кислородного транспорта у лиц с I/I вариантом реализуются через действие механизмов, обеспечивающих текущую регуляцию доставки кислорода тканям путем изменения аффинности кислорода к гемоглобину.

Роль механизма, направленного на увеличение степени доставки кислорода тканям, существенно возрастает при физических нагрузках, когда активизация метаболических процессов способствует снижению сродства гемоглобина к кислороду благодаря увеличению кислотности среды и накоплению углекислого газа в тканях. Это находит отражение в сопряженном с увеличением

концентрации  $\text{CO}_2$  и протонов водорода  $\text{H}^+$ , усилении дезоксигенации гемоглобина и сдвигом кривой оксигенации гемоглобина вправо. Одновременно из результатов факторного анализа вытекает, что возрастание оксигенации крови при повышении рН сочетается со снижением диастолического артериального давления, периферического сопротивления сосудов и увеличением минутного объема крови.

На более эффективную экстракцию кислорода в тканях у представителей I/I генотипа по сравнению с лицами, имеющими генотип D/D, указывает обнаруженный нами более высокий уровень р50, а также представленные выше корреляции сродства к гемоглобину с лигандами (углекислый газ,  $\text{H}^+$ ), способными изменить конформацию гемоглобина и соответственно его свойства [21, 22]. Важно, что реализация этого механизма при генотипе I/I гена ACE, согласно структуре выделенных факторов, осуществляется совместно с координацией деятельности сердечно-сосудистой системы.

Анализируя взаимодействие между разными звеньями КТС, можно констатировать, что в факторных структурах показателей юношей независимо от генотипов полиморфизма I/D гена ACE отчетливо проявляются связи интенсивности поглощения кровью кислорода из альвеол и сатурации гемоглобина с эффективностью работы ССС. Функциональная взаимосвязь между показателями оксигенации и гемодинамики выражается в сочетании повышения артериального давления со снижением степени насыщения крови кислородом, что может свидетельствовать о развитии в организме компенсаторных реакций, направленных на поддержание оптимального уровня доставки кислорода тканям. У лиц, содержащих в генотипе аллель D, на эти взаимоотношения влияет физическая активность.

Перспективным направлением для дальнейших исследований в этой области является изучение молекулярных механизмов влияния полиморфизма гена ACE на регуляцию аффинности гемоглобина к кислороду на уровне транскрипции и посттрансляционных модификаций. Может представлять интерес также проведение лонгитюдных исследований для оценки динамики изменений показателей кислородтранспортной системы в зависимости от уровня физической активности

#### Вклад авторов

**Исаева Екатерина Евгеньевна** — разработка концепции и дизайна исследования, написание первого варианта рукописи.

**Даутова Альбина Зуфаровна** — разработка концепции и дизайна исследования, проведение статистического анализа результатов, написание первого варианта рукописи.

**Науразбаева Эмилия Азаматовна** — сбор и обработка данных, редактирование текста.

**Ахьямова Алина Ильдаровна** — сбор и обработка данных, анализ литературных источников.

**Шамратова Валентина Гусмановна** — анализ и интерпретация результатов, научное редактирование рукописи и одобрение окончательного варианта рукописи.

и генетического профиля. В перспективе может оказаться целесообразным включение в исследование женщин для оценки гендерных различий во взаимодействии компонентов кислородтранспортной системы.

Полученные результаты могут лечь в основу формирования персонализированного подхода к подготовке не только спортсменов, но также лиц с низким уровнем физической активности.

Настоящее исследование имеет некоторые ограничения. Одним из них является участие в эксперименте только мужчин в возрасте 19–22 лет, проживающих в одном регионе, что ограничивает экстраполяцию результатов на другие популяции. Для более обоснованных выводов необходимо проведение исследования на больших объемах выборки, поскольку ограниченный размер выборки в подгруппах по генотипам, особенно среди спортсменов, уменьшает статистическую мощность анализа.

#### 5. Заключение

Чувствительность отдельных звеньев кислородтранспортной системы к вариациям уровня физической активности, а также доля их участия в обеспечении адаптационных процессов генетически детерминированы. При наличии в генотипе аллеля D (ACE), прежде всего у лиц с генотипом D/D, в условиях гиподинамии на фоне ослабления сатурации гемоглобина возрастает вероятность неблагоприятных изменений функционального состояния сердечно-сосудистой системы. Из анализа факторной структуры можно заключить, что у обладателей I/I варианта снижение уровня двигательной активности ассоциируется с уменьшением суммарной дыхательной поверхности красной крови при отсутствии напряжения со стороны аппарата кровообращения. Кроме того, у носителей генотипа I/I, судя по системе корреляций показателей КТС, вне зависимости от интенсивности мышечной деятельности в поддержании организмом необходимого уровня доставки кислорода тканям участвует молекулярный механизм регуляции аффинности гемоглобина к кислороду. Возможно, этим можно объяснить хорошо известный из литературных источников факт о высокой аэробной выносливости обладателей I/I генотипа гена ACE.

#### Authors' contributions

**Ekaterina E. Isaeva** — development of the research concept and design, and writing the first draft of the manuscript.

**Albina Z. Dautova** — development of the research concept and design, and writing the first draft of the manuscript, conducting a statistical analysis of the results

**Emilia A. Naurazbaeva** — data collection and processing, and text editing.

**Alina I. Akhyamova** — data collection and processing, and literature review.

**Valentina G. Shamratova** — analysis and interpretation of the results, scientific editing of the manuscript, and approval of the final version of the manuscript.

## Список литературы / References

1. Hellsten Y., Nyberg M. Cardiovascular Adaptations to Exercise Training. *Compr. Physiol.* 2015;6(1):1–32. <https://doi.org/10.1002/cphy.c140080>
2. Brinkman J.E., Toro F., Sharma S. Physiology, Respiratory Drive. StatPearls [internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482414/>
3. Иванова Ю.М., Бадтиева В.А., Шарыкин А.С., Павлов В.И., Трухачева Н.В. Кардиореспираторные показатели и функциональное состояние спортсменов после периода пандемии COVID-19. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2024;14(4):33–39. [Ivanova Yu.M., Badtieva V.A., Sharykin A.S., Pavlov V.I., Trukhacheva N.V. Cardio-respiratory indicators and functional state of athletes after COVID-19. *Sports medicine: research and practice.* 2024;14(4):33–39. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.4.4>
4. Mairbäurl H. Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. *Front. Physiol.* 2013;4:332. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00332>
5. Płoszczyca K., Langfort J., Czuba M. The Effects of Altitude Training on Erythropoietic Response and Hematological Variables in Adult Athletes: A Narrative Review. *Front Physiol.* 2018;9:375. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00375>
6. Benner A., Patel A.K., Singh K., Dua A. Physiology, Bohr Effect. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK526028/>
7. Sekyonda Z., An R., Goreke U., Man Y., Monchamp K., Bode A., Zhang Q., El-Gammal Y., Kityo C., Kalfa T.A., Akkus O., Gurkan U.A. Rapid measurement of hemoglobin-oxygen dissociation by leveraging Bohr effect and Soret band bathochromic shift. *Analyst.* 2024;149(9):2561–2572. <https://doi.org/10.1039/d3an02071a>
8. Srinivasan A.J., Morkane C., Martin D.S., Welsby I.J. Should modulation of p50 be a therapeutic target in the critically ill? *Expert Rev. Hematol.* 2017;10(5):449–458. <https://doi.org/10.1080/17474086.2017.1313699>
9. Зинчук В.В., Степуро Т.Л. NO-зависимые механизмы внутриэритроцитарной регуляции сродства гемоглобина к кислороду. Гродно: Гродненский государственный медицинский университет; 2016. [Zinchuk V.V., Stepuro T.L. NO-dependent mechanisms of intraerythrocyte regulation of hemoglobin affinity to oxygen. Grodno: Grodno State Medical University; 2016. (In Russ.)].
10. Weber R.E., Fago A. Functional adaptation and its molecular basis in vertebrate hemoglobins, neuroglobins and cytoglobins. *Respir. Physiol. Neurobiol.* 2004;144(2-3):141–159. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2004.04.018>
11. Sommers L., Akam L., Hunter D.J., Bhatti J.S., Mastana S. Role of the ACE I/D Polymorphism in Selected Public Health-Associated Sporting Modalities: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2024;21(11):1439. <https://doi.org/10.3390/ijerph21111439>
12. Williams C.J., Williams M.G., Eynon N., Ashton K.J., Little J. P., Wisloff U., Coombes J. S. Genes to predict VO<sub>2</sub>max trainability: a systematic review. *BMC Genomics.* 2017;18:831. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-4192-6>
13. Woods D.R., Pollard A.J., Collier D.J., Jamshidi Y., Vasiliou V., Hawe E., Humphries S.E., Montgomery H.E. Insertion/deletion polymorphism of the angiotensin I-converting enzyme gene and arterial oxygen saturation at high altitude. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2002;166(3):362–366. <https://doi.org/10.1164/rccm.2103060>
14. Даутова А.З., Аюпова А.Р., Шамратова В.Г. Особенности функционирования газотранспортной системы и красной крови при разном уровне двигательной активности в зависимости от полиморфизма генов ACE и PPARG. *Физическая культура, спорт — наука и практика.* 2018;(1):101–106. [Dautova A.Z., Ayupova A.R., Shamratova V.G. Features of the functioning of the gas transport system and red blood at different levels of physical activity depending on the polymorphism of the ACE and PPARG genes. *Physical Education, Sport — Science and Practice.* 2018;(1):101–106. (In Russ.)].
15. Konopka M.J., van den Bunder J.C.M.L., Rietjens G., Sperlich B., Zeegers M.P. Genetics of long-distance runners and road cyclists—A systematic review with meta-analysis. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2022;32(10):1414–1429. <https://doi.org/10.1111/sms.14212>
16. Ribas M.R., Schneider F.K., Ribas DIR, Lass A.D., Badiu G., Bassan J.C. Genetic Polymorphisms and Their Impact on Body Composition and Performance of Brazilians in a 105 Km Mountain Ultramarathon. *Eur. J. Investig. Health Psychol. Educ.* 2023;13(9):1751–1761. <https://doi.org/10.3390/ejihpe13090127>
17. Гарнов И.О., Логинова Т.П., Бойко Е.Р. Реакция кардиореспираторной системы лыжниц различной спортивной квалификации на максимальный велоэргометрический тест. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2023;13(3):20–29. [Garnov I.O., Loginova T.P., Boyko E.R. Response of cardio-respiratory system during maximal exercise cycle ergometer test in women cross-country skiers with different skills levels. *Sports medicine: research and practice.* 2023;13(3):20–29. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.6>
18. Даутова А.З., Усманова С.Р., Шамратова В.Г. Взаимосвязь полиморфизма гена ACE с состоянием газотранспортной системы у лиц с разным уровнем двигательной активности. *Современные проблемы науки и образования [интернет].* 2015;(3). Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18421> [Dautova A.Z., Usmanova S.R., Shamratova V.G. Relationship between ACE gene polymorphism and the state of the gas transport system in individuals with different levels of physical activity. *Modern problems of science and education.* 2015;(3). Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18421> (In Russ.)].
19. Webb K.L., Dominelli P.B., Baker S.E., Klassen S.A., Joyner M.J., Senefeld J.W., Wiggins C.C. Influence of High Hemoglobin-Oxygen Affinity on Humans During Hypoxia. *Front. Physiol.* 2022;12:763933. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.763933>
20. Старкова К.Г., Долгих О.В., Казакова О.А., Легостаева Т.А. Генетический полиморфизм ACE I/D как фактор риска развития эссенциальной гипертензии. Анализ риска здоровью. 2022;(3):169–175. [Starkova K.G., Dolgikh O.V., Kazakova O.A., Legostaeva T.A. Ace I/D genetic polymorphism as a risk factor of essential hypertension. *Health Risk Analysis.* 2022;(3):169–175. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.16>
21. Зинчук В.В. Кислородтранспортная функция крови и газотрансмиттер сероводород. *Успехи физиологических наук.* 2021;52(3):41–55. [Zinchuk V.V. Oxygen transport function of blood and gas transmitter hydrogen sulfide. *Advances in Physiological Sciences.* 2021;52(3):41–55. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.31857/S0301179821030085>
22. Ahmed M.H., Ghatge M.S., Safo M.K. Hemoglobin: Structure, Function and Allostery. *Subcell. Biochem.* 2020;94:345–382. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-41769-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41769-7_14)

**Информация об авторах:**

**Исаева Екатерина Евгеньевна**, старший преподаватель кафедры нормальной физиологии ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 450008, Уфа, ул. Ленина, 3. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4806-257X> (agent373@mail.ru)

**Даутова Альбина Зуфаровна\***, к.б.н., доцент, старший научный сотрудник ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420010, Казань, территория Деревня Универсиады, 35. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3069-2178> (dautova.az@mail.ru)

**Науразбаева Эмилия Азаматовна**, студент лечебного факультета ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 450008, Уфа, ул. Ленина, 3. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5141-724X> (emilianaurazbaeva@mail.ru)

**Ахьямова Алина Ильдаровна**, студент педиатрического факультета ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет», Минздрава России, 450008, Уфа, ул. Ленина, 3. ORCID: <https://orcid.org/0009-6091-5126> (alina-kurbanova-2013@mail.ru)

**Шамратова Валентина Гусмановна**, д.б.н., профессор, профессор кафедры нормальной физиологии ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет», Минздрава России, Россия, 450008, Уфа, ул. Ленина, 3. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7633-4264> (distantshamratova@mail.ru)

**Information about the authors:**

**Ekaterina E. Isaeva**, Senior Lecturer, Department of Normal Physiology, Bashkir State Medical University, 3 Lenin str., Ufa, 450008, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4806-257X> (agent373@mail.ru)

**Albina Z. Dautova\***, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Senior researcher Volga Region State University of Physical Education, Sports and Tourism, 35 Universiade Village, Kazan, 420010, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3069-2178> (dautova.az@mail.ru)

**Emilia A. Naurazbaeva**, student of the Faculty of Medicine, Bashkir State Medical University, 3 Lenin str., Ufa, 450008, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5141-724X> (emilianaurazbaeva@mail.ru)

**Alina I. Akhyamova**, student of the pediatric faculty, Bashkir State Medical University, 3 Lenin str., Ufa, 450008, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0009-6091-5126> (alina-kurbanova-2013@mail.ru)

**Valentina G. Shamratova**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Professor of the Department of Normal Physiology, Bashkir State Medical University, 3 Lenin str., Ufa, 450008, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-7633-4264> (distantshamratova@mail.ru)

\* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку



## Хроническая паховая боль у спортсменов. Трудности терминологии. Литературный обзор

Юрий А.В.<sup>1</sup>, Орлов Б.Б.<sup>1</sup>, Шпагин К.Ю.<sup>1,\*</sup>, Кащенко В.А.<sup>2,3</sup>, Коптеев Н.Р.<sup>3,4</sup>,  
Буданов Д.С.<sup>1</sup>, Карлов Т.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГБУЗ города Москвы «Московский клинический научный центр имени А.С. Логинова Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия

<sup>2</sup> Клиника высоких технологий «Белоостров» (ООО «ММЦ ВТ»), Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> ФГБУ «Северо-Западный окружной научно-клинический центр имени Л.Г. Соколова Федерального медико-биологического агентства», Санкт-Петербург, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Введение:** несмотря на несколько консенсусных заявлений, предложенных экспертными группами, в том числе об использовании терминологии, до сих пор множество авторов используют различные термины по отношению к одним и тем же патологиям, связанным с болью в паховой области у спортсменов. Разнообразие определений и причин паховой боли у спортсменов может приводить к различной стратегии диагностики и лечения спортсменов с синдромом паховой боли.

**Цель:** рассмотреть и проанализировать современную литературу для определения терминологии хронической паховой боли у спортсменов в клинической практике. Дать определение термину «спортивная грыжа» согласно последнему консенсусу по паховой боли у спортсменов.

**Материалы и методы.** В базах данных Pubmed, Springer, Scopus и Google Scholar был произведен поиск статей на английском языке, в которых описывалась терминология хронической паховой боли у спортсменов. Для поиска использовались следующие словосочетания: «sports hernia», «athletic pubalgia», «groin pain syndrome» и «sportsman's groin». Дизайн исследования — повествовательный обзор.

**Результаты.** Было обнаружено четыре консенсусных заявления, предложенных различными экспертными группами, начиная с 2014 г. Боль в паховой области у спортсменов относится к категории, которую в большинстве случаев называют «спортивной грыжей». Наиболее частыми терминами являются «спортивная грыжа», «грыжа спортсмена», «спортивная пубалгия» и «травма мышц кора».

**Заключение.** В настоящее время под термином «спортивная грыжа» понимается изолированная слабость задней стенки пахового канала без наличия настоящей анатомической грыжи, приводящая к хронической паховой боли у спортсменов. Так как боль не связана с грыжей в привычном ее понимании, это вносит путаницу среди врачей. Сообщества практикующих специалистов должны оценивать многообразие симптомов паховой боли у спортсменов при постановке диагноза, а также использовать одну и ту же терминологию, основанную на анатомической, клинической и патогенетической составляющей паховой боли.

**Ключевые слова:** спортивная грыжа, пах спортсмена, паховая боль, пубалгия, паховая грыжа

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

**Для цитирования:** Юрий А.В., Орлов Б.Б., Шпагин К.Ю., Кащенко В.А., Коптеев Н.Р., Буданов Д.С., Карлов Т.Д. Хроническая паховая боль у спортсменов. Трудности терминологии. Литературный обзор. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2026;16(1):43–49. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.8>

Поступила в редакцию: 13.11.2025

Принята к публикации: 01.03.2026

Online first: 17.06.2026

Опубликована: 20.06.2026

\* Автор, ответственный за переписку

# Chronic Groin Pain in Athletes. Terminology Challenges. A Literature Review

Aleksey V. Yuri<sup>1</sup>, Bogdan B. Orlov<sup>1</sup>, Konstantin Yu. Shpagin<sup>1\*</sup>, Viktor A. Kashchenko<sup>2,3</sup>, Nikita R. Kopteyev<sup>3,4</sup>, Dmitry S. Budanov<sup>1</sup>, Timofey D. Karlov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Moscow Clinical Research Center named after A.S. Loginov of Department of Health of Moscow, Moscow, Russia*

<sup>2</sup> *Beloostrov High-Tech Clinic, Saint Petersburg, Russia*

<sup>3</sup> *Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

<sup>4</sup> *L.G. Sokolov Northwestern Regional Clinical Hospital of the Federal Medical and Biological Agency, Saint Petersburg, Russia*

## ABSTRACT

**Background.** Despite several consensus statements proposed by expert groups, including those addressing terminology, numerous authors still use different terms to describe the same pathologies associated with groin pain in athletes. The diversity of definitions and etiologies of groin pain in athletes may lead to inconsistencies in diagnostic and therapeutic strategies for athletes with groin pain syndrome.

**Objective.** To review and analyze current literature in order to clarify the terminology of chronic groin pain in athletes used in clinical practice, and to define the term «sports hernia» in accordance with the most recent consensus on groin pain in athletes.

**Materials and methods.** A narrative review was conducted using PubMed, Springer, Scopus, and Google Scholar databases to identify English-language articles describing the terminology related to chronic groin pain in athletes. The following search terms were used: «sports hernia», «athletic pubalgia», «groin pain syndrome» and «sportsman's groin».

**Results.** Four consensus statements proposed by various expert groups since 2014 were identified. Groin pain in athletes is most commonly classified within the category referred to as «sports hernia». The most frequently used terms include «sports hernia», «athletic pubalgia», «sportsman's hernia» and «core muscle injury».

**Conclusion.** Currently, the term «sports hernia» refers to an isolated weakness of the posterior wall of the inguinal canal, without the presence of a true anatomical hernia, leading to chronic groin pain in athletes. Because the pain is not associated with a hernia in the conventional sense, this terminology can be confusing for clinicians. Professional communities should recognize the spectrum of symptoms associated with athletic groin pain and adopt a unified terminology based on anatomical, clinical, and pathophysiological principles.

**Keywords:** sports hernia, athletic groin pain, groin pain, pubalgia, inguinal hernia

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

**For citation:** Yuri A.V., Orlov B.B., Shpagin K.Yu., Kashchenko V.A., Kopteyev N.R., Budanov D.S., Karlov T.D. Chronic groin pain in athletes. Difficulties in terminology. Literature review. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2026;16(1):43–49. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.8>

**Received:** 13 November 2025

**Accepted:** 01 March 2026

**Online first:** 17 June 2026

**Published:** 20 June 2026

\*Corresponding author

## 1. Введение

Боль в паховой области может служить причиной обращения к врачу у всех групп населения. Частота паховой боли среди населения в целом неизвестна. Вне спортивного контекста чаще используется более обобщающий термин — «тазовая боль», включающий широкий спектр заболеваний (гинекологических, урологических, неврологических и др.), которые также могут рассматриваться в рамках паховой боли согласно данным международного консенсуса. Многие пациенты не получают адекватного диагноза, поскольку в национальных регистрах отсутствует дифференцированный диагностический код данной нозологии.

Согласно четвертому итальянскому консенсусу от 2023 г., существует 12 категорий, включающих в себя 66 патологий, способных вызывать симптомы паховой

боли [1]. Данная проблема наиболее актуальна у профессиональных спортсменов. Боль, связанная с паховой областью, часто возникает у спортсменов, занимающихся видами спорта, которые характеризуются изменениями направления движения, ускорения и ударов ногами, например футбол, американский футбол, хоккей, бег и баскетбол [2, 3, 4, 5]. В своем обзоре 2015 г. Waldén и соавт. показали, что от 7 до 13% всех травм в мужском и женском футболе старшего возраста приходится на травмы паховой области [6]. У футболистов-мужчин частота травм паховой области встречается более чем в два раза чаще, чем у женщин [6]. При изучении литературы было установлено, что 4–19% всех травм в профессиональном футболе приходится на травмы паховой области [6–10]. Jonas Werner и соавт. в своем 15-летнем проспективном исследовании, в котором были отслежены 47 европейских

элитных футбольных клуба УЕФА, показывают, что 14% травм относятся к паховой области [7]. Это состояние может быть изнурительным и способно привести к окончанию карьеры профессионального спортсмена.

Термин «спортивная грыжа» был впервые введен спортивным врачом Греггом Ловеллом в 1992 г. для описания хронического болевого синдрома в паховой области у спортсменов, который был связан со слабостью задней стенки пахового канала при отсутствии сформированного грыжевого мешка. В исследование были включены 50 спортсменов с хронической недиагностированной паховой болью, которым выполнены хирургическое обследование и пластика пахового канала. Интраоперационно у 40 пациентов выявлялась выраженная слабость задней стенки пахового канала, однако признаков истинной паховой грыжи обнаружено не было [11]. Таким образом, уже в исходной работе подчеркивалось отсутствие классической грыжи как таковой, что впоследствии поставило под сомнение корректность использования терминов, содержащих слово «грыжа», и обусловило их постепенный пересмотр и отказ от них в профессиональном сообществе.

Несмотря на проведенные консенсусы, в клинической практике по-прежнему используются устаревшие и отвергнутые профессиональным сообществом термины для обозначения хронической паховой боли у спортсменов. К числу таких терминов относятся: спортивная грыжа, атлетическая пубалгия, синдром тонкой мышцы, паховая боль Гилмора, паховая боль у хоккеистов, паховая боль у футболистов, начальная грыжа, повреждение пахового канала, паховый разрыв, дефицит задней брюшной стенки и травма мышц кора [12–16].

**Цель:** рассмотреть и проанализировать современную литературу для определения терминологии хронической паховой боли у спортсменов в клинической практике. Дать определение термину «спортивная грыжа» согласно последнему консенсусу по паховой боли у спортсменов.

## 2. Материалы и методы

Дизайн исследования — повествовательный обзор. В базах данных Pubmed, Springer, Scopus и Google Scholar был произведен поиск статей на английском языке, в которых описывалась терминология хронической паховой боли у спортсменов. Для поиска использовались следующие словосочетания: «sports hernia», «athletic pubalgia», «groin pain syndrome» и «sportsman's groin».

## 3. Результаты

За последние десять лет было опубликовано четыре основных консенсусных заявления, в том числе чтобы помочь специалистам утвердить терминологию паховой боли.

I. 2014 г. «Лечение паха спортсмена»: заявление Британского общества грыж, основанное на Манчестерской консенсусной конференции [17].

II. 2015 г. Дохийская встреча по соглашению о терминологии и определениях боли в паху у спортсменов [18].

III. 2016 г. Синдром паховой боли. Конференция по достижению консенсуса в Италии по терминологии, клинической оценке и визуализационной оценке паховой боли у спортсменов [19].

IV. 2023 г. Синдром боли в паху. Обновление итальянской консенсусной конференции [1].

По результатам консенсусной встречи в Дохе в 2015 г. было достигнуто согласие о том, что имеет смысл выделять четыре клинические категории боли в паховой области, связанной с физической активностью:

- 1) боль, связанная с приводящими мышцами бедра;
- 2) боль, связанная с подвздошно-поясничной мышцей;
- 3) боль, связанная лобковым симфизом;
- 4) боль, связанная с паховой областью [18].

В заявлении Британской ассоциации герниологов от 2014 г., основанном на Манчестерской консенсусной конференции 2012 г., термин «грыжа спортсмена» или «пах спортсмена» был отклонен, поскольку в данном случае истинной грыжи не существует [17].

В современной литературе все еще присутствуют различные терминологические вариации. В 2015 г. Serner и соавт. подчеркнули необходимость стандартизации терминологии для облегчения сравнения результатов различных исследований. Во многих исследованиях диагностические критерии и терминология в большинстве случаев неспецифичны или неправильно используются по отношению к патологиям. В своем обзоре авторы рассмотрели 72 исследования по паховой боли у спортсменов и обнаружили, что 33 различных состояния упоминаются как «боль в паховой области» [20].

Отсутствие согласия относительно терминологии можно объяснить, но не оправдать тем фактом, что симптомы паховой боли могут быть результатом проблем опорно-двигательного аппарата, желудочно-кишечного тракта, мочеполовой системы, неврологических и гинекологических заболеваний [21, 22].

Одной из основных проблем в этой области является отсутствие консенсуса относительно диагностических критериев и таксономии [22]. Четкая диагностическая классификация позволила бы более точно интерпретировать и сравнивать различные исследования, тем самым облегчая процесс принятия решений. По этой причине первый документ Консенсусной конференции в Италии 2016 г. был полностью сосредоточен на таксономии. В этом документе первое голосование касалось использования термина «синдром паховой боли» по отношению к пациентам, которым можно было бы поставить диагноз «спортивная грыжа». Использование термина «синдром» оправдано частым совпадением различных клинических проявлений и возможным причинно-следственным взаимодействием, которое характеризует четко определенную структуру клиники паховой боли [19]. На этом же консенсусе этиология боли в паховой области была разделена на 11 категорий многопрофильной группой медицинских работников: (1) суставные причины, (2) висцеральные причины, (3) костные

причины, (4) мышечно-сухожильные причины, (5) причины, связанные с лобковым симфизом, (6) неврологические причины, (7) причины, связанные с развитием, (8) причины, связанные с заболеваниями мочеполовой системы, (9) неопластические причины, (10) инфекционные причины и, наконец, (11) системные причины, суммирующие дифференциальную диагностику боли в паху [19]. Также в этом консенсусе были признаны три основные категории синдрома паховой боли: 1) синдром паховой боли травматического происхождения: появление боли следует за острой травмой, подтвержденной анамнезом, клиническим обследованием и визуализацией; 2) синдром паховой боли от функциональной перегрузки: характеризуется незаметным и прогрессирующим началом без острой травмы; 3) давний синдром паховой боли или хронический синдром паховой боли: совокупность симптомов, о которых сообщает пациент, сохраняется в течение периода более 12 недель и не поддается никакой консервативной терапии [19]. Очевидно, что термин «синдром паховой боли» является обобщающим термином, который должен быть дополнен описанием клинической структуры. Тогда у пациента, согласно Дохийскому консенсусу от 2015 г., может быть, например, синдром паховой боли, связанный с паховой областью, вызванный слабостью задней стенки пахового канала, или синдром паховой боли, связанный с приводящими мышцами, вызванный тендинопатией приводящей мышцы. Только путем принятия всеобъемлющего описательного термина, такого как «синдром паховой боли», и связывания его с анатомической зоной и таксономическим описанием заболевания (или заболеваний), ответственных за симптоматику, мы можем иметь четкую и рациональную классификацию проблемы. Следовательно, было предложено и одобрено следующее определение «синдрома паховой боли»: любой клинический симптом, отмеченный пациентом, локализующийся в пахово-лобково-приводящей области, влияющий на занятия спортом и/или мешающий повседневной активности и требующий медицинской помощи [19].

В 2023 г. состоялся очередной обновленный итальянский консенсус. Согласно заявлению экспертов, под спортивной грыжей следует понимать изолированную слабость задней стенки пахового канала, приводящую к хроническому болевому синдрому у спортсменов [1]. В этой текущей версии консенсуса группа экспертов согласилась ввести новую категорию: 12-ю этиологию синдрома паховой боли, названную «внесуставные причины». И задокументировала 4 новые патологии как вероятные причины синдрома паховой боли: 1) травмы препубического апоневротического комплекса (PPAC — prepubic aponeurotic complex); 2) синдром подвздошно-бедренного сдавления (IFIS — ischio-femoral impingement syndrome); 3) синдром сдавления передней нижней подвздошной кости (AISI — anterior inferior iliac spine impingement); 4) синдром ущемления переднего кожного нерва (ACNES — anterior cutaneous nerve entrapment syndrome) [1].

#### 4. Обсуждение

Обращая внимание на то, как авторы используют термины, легко понять, что определения «спортивная грыжа/грыжа спортсмена» и «спортивная пубалгия» являются наиболее запутанными. В своем исследовании 2023 г. V. Mitrousias и соавт. показывают, что термин «спортивная грыжа» был идентифицирован в 33 статьях, из них в 52 % описывается слабость задней стенки пахового канала, в 24 % этот термин используется для описания патологии прямой мышцы живота и длинной приводящей мышцы, в 15 % — для описания обеих вышеперечисленных патологий и в 9 % — для описания симптома боли в паховой области. Термин «атлетическая пубалгия» был выявлен в 45 статьях, из них в 11 % авторы использовали этот термин для описания слабости задней стенки пахового канала, в 47 % — для описания патологии прямой мышцы живота и длинной приводящей мышцы, в 27 % — для описания обеих вышеперечисленных патологий, в 15 % — для описания симптома боли в паховой области [23]. Термин «пах спортсмена» был обозначен в шести статьях. Во всех шести статьях (100 %) авторы использовали этот термин для описания слабости задней стенки пахового канала. Термин «травма мышц кора» был идентифицирован в 15 статьях. В 73 % статей авторы использовали термин для описания патологии прямой мышцы живота и длинной приводящей мышцы, а в 27 % — для описания как слабости задней стенки пахового канала, так и патологии прямой мышцы живота и длинной приводящей мышцы [23]. Можно сделать вывод, что до сих пор проблема терминологии хронической паховой боли у спортсменов остается актуальной, несмотря на проведенные консенсусы [1, 17, 18, 19]. Авторы не могут достигнуть единого согласия об использовании терминов, касающихся паховой боли у спортсменов. Решение этой проблемы требует мультидисциплинарного подхода. Многие врачи, авторы или рецензенты продолжают использовать некорректные термины, что приводит к заблуждениям. На наш взгляд, в диагнозе важно отражать дифференциальную анатомическую и клиническую составляющую боли для корректного понимания патогенеза.

На основании анализа современной литературы и собственного клинического опыта мы считаем целесообразным формулировать диагноз при паховой боли у спортсменов с обязательным указанием:

- 1) основного клинического источника боли;
- 2) стороны поражения;
- 3) характера и длительности течения заболевания;
- 4) сопутствующих патологических изменений с указанием их клинической значимости.

В клинической практике рекомендуется использовать классификацию Doña consensus, выделяющую четыре основные клинические формы паховой боли:

- 1) боль, связанную с приводящими мышцами бедра;
- 2) боль, связанную с подвздошно-поясничной мышцей;
- 3) боль, связанную лобковым симфизом;
- 4) боль, связанную с паховой областью [18].

Дополнительно целесообразно учитывать характер течения патологического процесса, подразделяя синдром паховой боли на:

- травматический;
- связанный с функциональной перегрузкой (менее 3 месяцев);
- хронический (более 3 месяцев).

Принципиально важным является то, что первичным должен оставаться именно клинический диагноз, основанный на анализе жалоб пациента, механизма возникновения боли, данных физикального обследования и провокационных тестов. Методы визуализации должны рассматриваться как уточняющие и подтверждающие методы исследования, поскольку структурные изменения по данным МРТ и ультразвукового исследования нередко выявляются и у бессимптомных спортсменов.

Примеры формулировки диагноза.

1. Синдром хронической паховой боли справа, связанный с паховой областью, вызванный слабостью задней стенки правого пахового канала; (подтверждено динамическим ультразвуковым исследованием).

2. Синдром хронической паховой боли слева, связанный с приводящими мышцами, вызванный тендинопатией левой длинной приводящей мышцы (подтверждено магнитно-резонансной томографией).

3. Синдром паховой боли слева, связанный с подвздошно-поясничной мышцей, вызванный тендинопатией левой подвздошно-поясничной мышцы (длительность симптомов менее 12 недель; подтверждено МРТ и ультразвуковым исследованием).

4. Синдром хронической паховой боли, связанный с лобковым симфизом, вызванный остеоитом лобковой кости и нестабильностью лобкового симфиза.

#### **Вклад авторов:**

**Юрий Алексей Викторович** — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Орлов Богдан Борисович** — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

**Шпагин Константин Юрьевич** — написание и редактирование текста, связь с редакцией, сбор и обработка материала, коммуникация с редакцией, утверждение окончательного варианта статьи.

**Кашенко Виктор Анатольевич** — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

**Коптеев Никита Романович** — написание и редактирование текста, сбор и обработка материала, утверждение окончательного варианта статьи.

**Буданов Дмитрий Сергеевич** — написание и редактирование текста, сбор и обработка материала, утверждение окончательного варианта статьи.

**Карлов Тимофей Дмитриевич** — сбор и обработка материала.

5. Синдром хронической паховой боли слева смешанного генеза: связанный с паховой областью в сочетании с приводящими мышцами бедра слева, вызванный слабостью задней стенки левого пахового канала и тендинопатией левой длинной приводящей мышцы бедра.

Следует учитывать, что у одного спортсмена возможно сочетание нескольких клинических форм паховой боли. В подобных случаях необходимо определение ведущего источника болевого синдрома, который должен быть отражен в окончательной формулировке диагноза на первом месте.

Предлагаемый подход к формулировке диагноза позволяет стандартизировать клиническую практику, улучшить взаимодействие между специалистами и создать основу для дальнейшей унификации научных исследований и клинических рекомендаций в области хронической паховой боли у спортсменов.

#### **5. Заключение**

Терминология паховой боли у спортсменов остается одной из наиболее сложных и дискуссионных проблем спортивной медицины. Использование различных терминов для описания сходных клинических состояний приводит к затруднению междисциплинарного взаимодействия, снижает сопоставимость научных исследований и осложняет выбор оптимальной лечебной тактики.

Принятие международных консенсусных соглашений, прежде всего Doha Agreement Meeting on Terminology and Definitions in Groin Pain in Athletes (2015), стало важным этапом стандартизации подходов к диагностике и классификации паховой боли у спортсменов. Использование единой терминологии позволяет унифицировать клиническую практику и формировать более точные диагностические и лечебные алгоритмы.

#### **Author's contribution:**

**Aleksey V. Yuri** — study concept and design, data collection and processing, writing and editing, approval of the final version of the article, and responsibility for the integrity of all sections of the article.

**Bogdan B. Orlov** — study concept and design, data collection and processing, writing and editing, approval of the final version of the article.

**Konstantin Yu. Shpagin** — writing and editing, editorial liaison, data collection and processing, communication with the editorial board, approval of the final version of the article.

**Viktor A. Kashchenko** — study concept and design, data collection and processing, writing and editing, approval of the final version of the article.

**Nikita R. Kopteyev** — text writing and editing, data collection and processing, approval of the final version of the article.

**Dmitry S. Budanov** — text writing and editing, data collection and processing, approval of the final version of the article.

**Timofey D. Karlov** — collection and processing of material.

## Список литературы / References

1. Bisciotti G.N., Zini R., Aluigi M., Aprato A., Auci A., Bellinzona E., et al. Groin Pain Syndrome Italian Consensus Conference update 2023. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2024;64(4):402–414. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.23.15517-4>
2. Thorborg K., Reiman M.P., Weir A., Kemp J.L., Serner A., Mosler A.B., Hölmich P. Clinical Examination, Diagnostic Imaging, and Testing of Athletes With Groin Pain: An Evidence-Based Approach to Effective Management. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2018;48(4):239–249. <https://doi.org/10.2519/jospt.2018.7850>
3. Hauge C.I., Jorgensen L.N. Sportman's hernia. *Ugeskrift for Læger.* 2010;172(49):3394–3399. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21129315>
4. Ahumada L.A., Ashruf S., Espinosa-de-los-Monteros A., Long J.N., de la Torre J.I., Garth W.P., Vasconez L.O. Athletic pubalgia: definition and surgical treatment. *Ann. Plast. Surg.* 2005;55(4):393–396. <https://doi.org/10.1097/01.sap.0000181344.22386.fa>
5. Orchard J.W. Men at higher risk of groin injuries in elite team sports: a systematic review. *Br. J. Sports Med.* 2015;49(12):798–802. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094272>
6. Waldén M., Hägglund M., Ekstrand J. The epidemiology of groin injury in senior football: a systematic review of prospective studies. *Br. J. Sports Med.* 2015;49(12):792–797. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094705>
7. Werner J., Hägglund M., Ekstrand J., Waldén M. Hip and groin time-loss injuries decreased slightly but injury burden remained constant in men's professional football: the 15-year prospective UEFA Elite Club Injury Study. *Br. J. Sports Med.* 2019;53(9):539–546. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097796>
8. Mosler A.B., Weir A., Eirale C., Farooq A., Thorborg K., Whiteley R.J., Hölmich P., Crossley K.M. Epidemiology of time loss groin injuries in a men's professional football league: a 2-year prospective study of 17 clubs and 606 players. *Br. J. Sports Med.* 2018;52(5):292–297. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097277>
9. Безуглов Э.Н., Малякин Г.И., Этемад О.А., Баранова Д.С., Виноградов М.А., Гончаров Е.Н. Эпидемиология травматизма в ведущей футбольной команде Российской премьер-лиги в соревновательных сезонах 2021–2022 и 2023–2024. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2024;14(4):13–20. [Bezuglov E.N., Malyakin G.I., Etemad O.A., Baranova D.S., Vinogradov M.A., Goncharov E.N. Injury Epidemiology in the Leading Football Team of the Russian Premier League in the 2021–2022 and 2023–2024 Competition Seasons. *Sports Medicine: Science and Practice.* 2024; 14(4):13–20. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.4.5>
10. Санькова М.В., Николенко В.Н., Гридин Л.А., Ачкасов Е.Е. Дифференцированный подход в диагностике предрасположенности к спортивным травмам опорно-двигательного аппарата. *Спортивная медицина: наука и практика.* [Sankova M.V., Nikolenko V.N., Gridin L.A., Achkasov E.E. A Differentiated Approach to Diagnosing Predisposition to Sports Injuries of the Musculoskeletal System. *Sports Medicine: Science and Practice.* (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.5>
11. Malycha P., Lovell G. Inguinal surgery in athletes with chronic groin pain: the 'sportsman's' hernia. *Aust. N. Z. J. Surg.* 1992;62(2):123–125. <https://doi.org/10.1111/j.1445-2197.1992.tb00009.x>
12. Garvey J.F., Read J.W., Turner A. Sportsman hernia: what can we do? *Hernia.* 2010;14(1):17–25. <https://doi.org/10.1007/s10029-009-0611-1>
13. Mandelbaum M., Mora S. Osteitis Pubis. *Operative Techniques in Sports Medicine.* 2005;13:62–67. <https://doi.org/10.1053/j.otsm.2004.09.011>
14. Orchard J.W., Read J.W., Neophyton J., Garlick D. Groin pain associated with ultrasound finding of inguinal canal posterior wall deficiency in Australian Rules footballers. *Br. J. Sports Med.* 1998;32(2):134–139. <https://doi.org/10.1136/bjsm.32.2.134>
15. Moeller J.L. Sportsman's hernia. *Curr. Sports Med. Rep.* 2007;6(2):111–114. <https://doi.org/10.1007/BF02941151>
16. LeBlanc K.E., LeBlanc K.A. Groin pain in athletes. *Hernia.* 2003;7(2):68–71. <https://doi.org/10.1007/s10029-002-0105-x>
17. Sheen A.J., Stephenson B.M., Lloyd D.M., Robinson P., Fevre D., Paajanen H., et al. 'Treatment of the sportsman's groin': British Hernia Society's 2014 position statement based on the Manchester Consensus Conference. *Br. J. Sports Med.* 2014;48(14):1079–1087. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092872>
18. Weir A., Brukner P., Delahunt E., Ekstrand J., Griffin D., Khan K.M., et al. Doha agreement meeting on terminology and definitions in groin pain in athletes. *Br. J. Sports Med.* 2015;49(12):768–774. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094869>
19. Bisciotti G.N., Volpi P., Zini R., Auci A., Aprato A., Belli A., et al. Groin Pain Syndrome Italian Consensus Conference on terminology, clinical evaluation and imaging assessment in groin pain in athlete. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* 2016;2(1):e000142. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2016-000142>; Erratum in: *BMJ Open Sport Exerc. Med.* 2017;2(1):e000142corr1. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2016-00014>
20. Serner A., van Eijck C.H., Beumer B.R., Hölmich P., Weir A., de Vos R.J. Study quality on groin injury management remains low: a systematic review on treatment of groin pain in athletes. *Br. J. Sports Med.* 2015;49(12):813. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094256>
21. Ekberg O., Persson N.H., Abrahamsson P.A., Westlin N.E., Lilja B. Longstanding groin pain in athletes. A multidisciplinary approach. *Sports Med.* 1988;6(1):56–61. <https://doi.org/10.2165/00007256-198806010-00006>
22. Weir A. From disruption to consensus: the thousand mile journey. *Br. J. Sports Med.* 2014;48(14):1075–1077. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092958>
23. Mitrousi V., Chytas D., Banios K., Fylos A., Raoulis V., Chalatsis G., Baxevanidou K., Zibis A. Anatomy and terminology of groin pain: Current concepts. *J. ISAKOS.* 2023;8(5):381–386. <https://doi.org/10.1016/j.jisako.2023.05.006>

## Информация об авторах:

**Юрий Алексей Викторович**, к.м.н., заведующий 1-м хирургическим отделением ГБУЗ «Московский клинический научный центр им. А.С. Логинова Департамента здравоохранения города Москвы», Россия, 111123, г. Москва, ул. Новогиревская, д. 1, корп. 1 (alexeydoctor.moscow@gmail.com)

**Орлов Богдан Борисович**, к.м.н., заместитель главного врача по контролю качества медицинской деятельности и организации хирургической службы ГБУЗ «Московский клинический научный центр им. А.С. Логинова Департамента здравоохранения города Москвы», Россия, 111123, г. Москва, ул. Новогиревская, д. 1, корп. 1 (bborlov@mail.ru)

**Шпагин Константин Юрьевич\***, врач-хирург 1-го хирургического отделения ГБУЗ «Московский клинический научный центр им. А.С. Логинова Департамента здравоохранения города Москвы», Россия, 111123, г. Москва, ул. Новогиревская, д. 1, корп. 1 (doc.shpagin@gmail.com)

**Кащенко Виктор Анатольевич**, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой факультетской хирургии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; заместитель главного врача по хирургии Клиники высоких технологий «Белоостров», Россия, 188640, Ленинградская область, м. р-н Всеволожский, с.п. Юкковское, зд. 1, к. 1 (surg122@yandex.ru)

**Коптеев Никита Романович**, к.м.н., врач-хирург 1-го хирургического отделения ФГБУ «СЗОНКЦ им. Л.Г. Соколова ФМБА России», Россия, 194291, Санкт-Петербург, пр. Культуры, д. 4; ассистент кафедры факультетской хирургии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, 199034, Россия Университетская наб., д. 7–9 (nikitakopteyev@mail.ru)

**Буданов Дмитрий Сергеевич**, врач-хирург 1-го хирургического отделения ГБУЗ «Московский клинический научный центр им. А.С. Логинова» Департамента здравоохранения города Москвы, Россия, 111123, г. Москва, ул. Новогиреевская, д. 1, корп. 1 (doc.budanov@gmail.com)

**Карлов Тимофей Дмитриевич**, клинический ординатор 1-го хирургического отделения ГБУЗ «Московский клинический научный центр им. А.С. Логинова» Департамента здравоохранения города Москвы, Россия, 111123, г. Москва, ул. Новогиреевская, д. 1, кор. 1 (doc.karlov@mail.ru)

#### Information about the authors:

**Aleksey V. Yuri**, Cand. Sci. (Med.), Head of the 1st Surgical Department of the Moscow Clinical Research Center named after A.S. Loginova, Department of Health of Moscow, Russia, 111123, Moscow, Novogireevskaya str., 1–1 (alexeydoctor.moscow@gmail.com)

**Bogdan B. Orlov**, Cand. Sci. (Med.), Deputy Chief Physician for Quality Control of Medical Activities and Organization of Surgical Service, Moscow Clinical Research Center named after A.S. Loginova” Department of Health of Moscow, Russia, 111123, Moscow, Novogireevskaya str., 1–1 (bborlov@mail.ru)

**Konstantin Yu. Shpagin\***, surgeon of the 1st surgical department of the Moscow Clinical Research Center named after A.S. Loginov, Moscow Department of Healthcare, Russia, 111123, Moscow, Novogireevskaya str., bldg. 1 (doc.shpagin@gmail.com)

**Viktor A. Kashchenko**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Faculty Surgery, Saint Petersburg State University, Russia, 199034, Saint Petersburg, Universitetskaya Nab., bldg. 7–9; Deputy Chief Physician for Surgery, Beloostrov High-Tech Clinic, Russia, 188640, Leningrad Region, Vsevolzhsky Metropolitan District, Yukkovskoye Rural Settlement, bldg. 1 (surg122@yandex.ru)

**Nikita R. Kopteyev**, Cand. Sci. (Med.), Surgeon, 1st Surgical Department, L.G. Sokolov Northwestern Regional Clinical Hospital of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, 4 Kultury ave., St. Petersburg, 194291, Russia; Saint Petersburg State University, Assistant Professor, Department of Faculty Surgery, Saint Petersburg, 199034, Russia, Universitetskaya Embankment, bldg. 7–9 (nikitakopteyev@mail.ru)

**Dmitry S. Budanov**, Surgeon, 1st Surgical Department, A.S. Loginov Moscow Clinical Research Center, Moscow Department of Healthcare, Russia, 111123, Moscow, Novogireevskaya str., bldg. 1 (doc.budanov@gmail.com)

**Timofey D. Karlov**, Clinical Resident, 1st Surgical Department, A.S. Loginov Moscow Clinical Research Center, Moscow Department of Healthcare, Russia, 111123, Moscow, Novogireevskaya str., bldg. 1 (doc.karlov@mail.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.1>

УДК: 616.075.8: 796.012

Тип статьи: Оригинальная статья / Original research



## Согласованность МРТ-диагностики острых повреждений мышц нижних конечностей в профессиональном футболе: роль радиологов в реализации корректного протокола реабилитации

Э.Н. Безуглов<sup>1,2\*</sup>, А.П. Гринченко<sup>3</sup>, Г.И. Малякин<sup>1,2</sup>, В.Ю. Хайтин<sup>4</sup>, М.С. Бутовский<sup>5,6</sup>,  
М. Виноградов<sup>2</sup>, Е.Н. Гончаров<sup>3</sup>, А.А. Ветошкин<sup>7</sup>

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

<sup>2</sup> Департамент науки и развития ПФК ЦСКА, Москва, Россия

<sup>3</sup> ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского», Москва, Россия

<sup>4</sup> ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. Павлова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

<sup>5</sup> ФК «Динамо-Москва» Москва, Россия

<sup>6</sup> ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет», Казань, Россия

<sup>7</sup> Центр травматологии и ортопедии Европейского медицинского центра, Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** проанализировать согласованность интерпретации данных МРТ взрослых профессиональных футболистов с острыми бесконтактными мышечными повреждениями (ОБМП), выполненной радиологами с различным опытом работы со спортсменами.

**Материалы и методы.** Проведен ретроспективный анализ протоколов описания МРТ ОБМП нижних конечностей взрослых профессиональных футболистов трех ведущих клубов Российской премьер-лиги, выполненных радиологами общей практики, не имеющими большого опыта в спортивной медицине (группа 1), и радиологами с опытом более 10 лет в спортивной радиологии (группа 2). Протоколы описания включали оценку анатомической локализации повреждения, степени повреждения с применением той или иной специализированной классификации, указание на сопутствующие повреждения сухожилий и количественную оценку объема мышечного отека.

**Результаты.** Из всех 130 первичных ОБМП радиологами группы 1 только 14 (10,8%) травм были классифицированы с использованием классификации Британской атлетической ассоциации, в 20 (15,4%) случаях использовалась классификация Stoller. В остальных 96 (73,8%) случаях классификация не указывалась. Сравнительный анализ интерпретации данных специалистами двух исследуемых групп радиологов показал, что определение анатомической локализации повреждений совпало в 61,5% случаев (80 наблюдений из 130).

При сравнении результатов оценок объема мышечного отека, выполненных двумя группами радиологов, не было обнаружено статистически значимой разницы в средних значениях показателя ( $p = 0,075$ ). При анализе определения поражения внутримышечного сухожилия идентичная оценка радиологов обеих групп наблюдалась в 67 (59,8%) случаях, а расхождения — в 45 (40,2%) случаях. При этом коэффициент к Коэна составил 0,132, что свидетельствовало о слабом согласии сверх случайного уровня.

**Заключение.** Только в незначительном количестве случаев радиологи, не имеющие большого опыта работы со спортсменами, использовали какие-либо классификации мышечных повреждений. Для повышения точности МР-диагностики ОБМП у спортсменов целесообразно привлекать радиологов, обладающих специализированным профессиональным опытом, необходимым для минимизации риска некорректной интерпретации данных.

**Ключевые слова:** возврат в спорт, прогнозирование, мышечное повреждение, футбол, спортивная травма

**Для цитирования:** Безуглов Э.Н., Гринченко А.П., Малякин Г.И., Хайтин В.Ю., Бутовский М.С., Виноградов М., Гончаров Е.Н., Ветошкин А.А. Согласованность МРТ-диагностики острых повреждений мышц нижних конечностей в профессиональном футболе: роль радиологов в реализации корректного протокола реабилитации. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2026;16(1):50–58. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.1>

Поступила в редакцию: 23.10.2025

Принята к публикации: 16.02.2026

Online first: 11.03.2026

Опубликована: 20.06.2026

\* Автор, ответственный за переписку

## Consistency of MRI diagnosis of acute lower limb muscle injuries in professional football: The role of radiologists in implementing an accurate rehabilitation protocol

Eduard N. Bezuglov<sup>1,2,\*</sup>, Alesya P. Grinchenko<sup>3</sup>, Georgy I. Malyakin<sup>1,2</sup>, Vladimir Yu. Khaitin<sup>4</sup>, Mikhail S. Butovsky<sup>5,6</sup>, Mikhail Vinogradov<sup>2</sup>, Evgeny N. Goncharov<sup>3</sup>, Alexander A. Vetoshkin<sup>7</sup>

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

<sup>2</sup> Science and Research Department, PFC CSKA, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Petrovsky Russian Research Center of Surgery, Moscow, Russia

<sup>4</sup> First Saint Petersburg State Medical University named after I. P. Pavlov, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

<sup>5</sup> FC Dynamo-Moscow, Moscow, Russia

<sup>6</sup> Kazan State Medical University, Kazan, Russia

<sup>7</sup> Department of Traumatology and Orthopedics, European Medical Center, Moscow, Russia

### ABSTRACT

**Purpose of the study:** to assess the consistency of MRI interpretations among radiologists with varying levels of expertise in working with athletes when evaluating MRIs of players with acute non-contact muscle injuries (ANCMCI).

**Materials and methods.** A retrospective review of MRI interpretation protocols for lower limb muscle injuries in adult professional football players from three prominent Russian Premier League football clubs was conducted. Reports were interpreted by general radiologists with limited experience in sports medicine (Group 1), whereas Group 2 comprised radiologists with over 10 years of experience in sports radiology. The reporting protocols included assessment of injury localization, grading of injury severity according to the respective classification system, identification of associated tendon injuries, and quantification of muscle edema volume.

**Results.** Out of 130 primary ANCMCI cases, the British Athletic Association classification system was used by Group 1 radiologists in only 14 (10.8 %) cases, while 20 (15.4 %) reports employed the Stoller classification. The remaining 96 (73.8 %) reports did not specify any classification system. Comparative analysis of interpretations by the two groups demonstrated agreement regarding anatomical injury locations in 61.5 % of all evaluated cases (80 out of 130). No statistically significant difference was observed in the mean edema volume assessments between the groups ( $p = 0.075$ ). However, when evaluating intramuscular tendon involvement, identical assessments were seen by both groups in 67 cases (59.8 %), whereas discrepancies occurred in 45 cases (40.2 %). Cohen's  $\kappa$  coefficient was 0.132, indicating weak agreement beyond chance.

**Conclusion.** Significant variability was observed in defining the precise anatomical location of muscle injuries and in recognizing intramuscular tendon lesions between experienced sports radiologists and general radiologists without such expertise. To improve diagnostic accuracy in MRI evaluations of ANCMCI within athletic populations, it is strongly recommended to involve radiologists with relevant specialization and sufficient clinical experience in sports medicine.

**Keywords:** return to sport, prognosis, muscle lesion, soccer, sports injury

**For citation:** E.N. Bezuglov, A.P. Grinchenko, G.I. Malyakin, V.Yu. Khaitin, M.S. Butovsky, M. Vinogradov, E.N. Goncharov, A.A. Vetoshkin. Consistency of MRI diagnosis of acute lower limb muscle injuries in professional football: The role of radiologists in implementing an accurate rehabilitation protocol. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2026;16(1):50–58. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.1>

**Received:** 23 October 2025

**Accepted:** 16 February 2026

**Online first:** 11 March 2026

**Published:** 20 June 2026

\*Corresponding author

### 1. Введение

Мышечные повреждения являются самыми частыми травмами среди спортсменов в профессиональном футболе, как юных, так и взрослых [1–3]. Наиболее часто эти травмы относятся к острым бесконтактным и локализируются в одной из четырех мышечных групп нижних конечностей [4–6]. Чаще всего они диагностируются в мышцах задней группы бедра: по различным данным на их долю приходится от 31 до 41 % всех мышечных

повреждений у элитных взрослых футболистов [3, 6, 7]. При этом для таких травм характерен высокий риск рецидива: согласно данным Elliott и соавт., их количество может достигать 16–24 % [8]. В связи с этим вопросы корректной диагностики мышечных повреждений этого типа являются актуальными для специалистов, работающих с профессиональными футболистами.

В настоящее время двумя основными методами инструментальной диагностики острых бесконтактных

мышечных повреждений (ОБМП) являются магнитно-резонансная томография (МРТ) и ультразвуковое исследование (УЗИ) [9]. Наиболее распространенным методом диагностики травм у профессиональных футболистов является МРТ, которую можно считать «золотым стандартом» [10, 11]. Именно результаты МРТ находятся в основе наиболее часто используемых классификаций мышечных повреждений: классификации Британской атлетической ассоциации, Мюнхенского консенсуса и MLG-R [12–14].

В 2024 году группа российских авторов представила подробный анализ и сравнительную характеристику существующих классификаций и продемонстрировала, что наиболее часто используемой классификацией как за рубежом, так и в России является классификация Британской атлетической ассоциации, предложенная Pollock и соавт. в 2014 году [12, 15–17]. В ее основе лежит оценка клинических симптомов и визуализация повреждения при помощи МРТ с определением локализации и степени повреждения (табл. 1).

Согласно имеющимся данным, использование этой классификации позволяет спрогнозировать сроки возвращения футболистов к регулярной тренировочной деятельности (РТД), а точное определение локализации повреждения играет ключевую роль с точки зрения

риска развития рецидива [17–19]. Это обусловлено установленным влиянием на увеличение частоты возникновения рецидивов при вовлечении сухожилия в область повреждения [20, 21]. Важно подчеркнуть, что по данным МРТ к моменту завершения реабилитации нормализация сигнала нередко отсутствует и сама по себе не может служить критерием безопасного (то есть безрецидивного) возвращения к РТД [21]. При этом, согласно консенсусному заявлению ведущих профильных итальянских экспертов, динамика уменьшения мышечного отека может использоваться в качестве ориентира при решении вопроса о возвращении к РТД [22].

Таким образом, становится очевидным, что корректная интерпретация результатов МРТ является критически важной для планирования реабилитационного протокола, зачастую оказывая принципиальное влияние на сроки возвращения к РТД [23]. Но необходимо отметить, что с точки зрения медицинского законодательства интерпретацию результатов МРТ осуществляют сертифицированные радиологи, а не спортивные врачи. В такой ситуации именно от корректности заключений этих специалистов во многом зависит успешность лечения ОБМП. Кроме того, эффективность использования МРТ и данной классификации в клинической практике напрямую зависит от воспроизводимости и согласованности их интерпретации разными

Таблица 1

## Классификация мышечных повреждений Британской атлетической ассоциации (перевод Pollock et al., 2014)

Table 1

## British Athletic Muscle Injury classification (translation based on Pollock et al., 2014)

Степень	Клинические симптомы	Локализация	МРТ
0 — легкая	Болезненность в мышцах	0a — очаговая; 0b — на протяжении	0a — изменения отсутствуют 0b — диффузные «пятнистые» участки повышенного сигнала в последовательностях с жироводавлением
1 — незначительное повреждение (растяжение/микронадрыв)	Боль появляется во время или после тренировок. Диапазон движений становится безболезненным через 24 часа	1a — внутримышечная гематома; 1b — повреждение сухожилия или мышечно-сухожильного соединения	Повреждение составляет до 10 % от наибольшего диаметра мышцы/сухожилия в аксиальной плоскости, продольной протяженностью менее 1 см
2 — повреждение средней тяжести	Лимитирующий дискомфорт сохраняется и после 24 часов, отмечается снижение мышечной силы	2a — повреждение от фасции, вглубь мышечной ткани; 2b — повреждение мышцы или мышечно-сухожильного соединения; 2c — повреждение сухожилия	Повреждение составляет 10–50 % от наибольшего диаметра мышцы/сухожилия в аксиальной плоскости, продольной протяженностью менее 5 см
3 — значительное (субтотальное) повреждение	Внезапная резкая боль, сохраняющаяся при бытовой активности. Сниженный диапазон движений в течение недели и более	3a — миофасциальное повреждение; 3b — повреждение мышцы или мышечно-сухожильного соединения; 3c — повреждение сухожилия (субтотальный разрыв)	Повреждение составляет более 50 % от наибольшего диаметра мышцы/сухожилия в аксиальной плоскости, продольной протяженностью более 5 см
4 — полный разрыв мышцы	Резкая внезапная боль, немедленное ограничение подвижности	4a — разрывы мышцы; 4b — разрыв мышечно-сухожильного соединения; 4c — разрыв сухожилия	Полный разрыв

специалистами. При этом до настоящего времени не проводились исследования, в которых анализировались протоколы описания МРТ, выполняемые радиологами без большого опыта работы со спортсменами высокого уровня. В связи с этим цель данного исследования заключалась в анализе согласованности интерпретации данных магнитно-резонансной томографии мышц нижних конечностей взрослых профессиональных футболистов с ОБМП, выполненной радиологами с разным опытом интерпретации данных МРТ профессиональных футболистов.

## 2. Материалы и методы

### Дизайн исследования

Проведен ретроспективный анализ верифицированных с использованием МРТ острых бесконтактных мышечных повреждений нижних конечностей взрослых профессиональных футболистов трех клубов Российской премьер-лиги (РПЛ) из разных городов (Казани, Москвы и Санкт-Петербурга), полученных в течение трех последовательных соревновательных сезонов: 2021–2022, 2022–2023, 2023–2024 годов.

### Условия проведения исследования

Все травмы документировались в электронных медицинских записях клубных врачей. Диагностика проводилась в соответствии с актуальными протоколами спортивной медицины, включая опрос, физикальное обследование и выполнение МРТ. Все исследования были выполнены на магнитно-резонансных томографах с мощностью 1,5 Тесла и выше.

### Участники

В анализ были включены 130 первичных ОБМП нижних конечностей, полученные 93 футболистами (средний возраст  $27 \pm 4,95$  года). Дополнительный расчет объема выборки не проводился, так как целью исследования являлась оценка реальных клинических данных. Все участники подписали информированное согласие об участии в исследовании, которое было одобрено Локальным этическим комитетом Сеченовского университета (10.03.2021, № 05–21).

### Порядок действий и переменные исходов

Результаты МРТ-исследования оценивались двумя группами радиологов. В первую группу вошли радиологи общей практики без большого опыта работы в спортивной радиологии (группа 1). Всего таких радиологов было 48, они работали в 13 диагностических центрах трех крупных городов. Во вторую группу вошли радиологи с опытом более 10 лет в спортивной радиологии и один независимый специалист, который участвовал в анализе МР-томограмм в случае разногласия между двумя радиологами.

Следующим этапом исследования стало проведение сравнительного анализа следующих параметров протоколов МРТ, составленных специалистами обеих групп радиологов:

— анатомическая локализация повреждения, по которой выделялось пять групп: задняя и передняя группы мышц бедра, приводящие мышцы бедра, мышцы голени, другие (в том числе, ягодичные);

— применение специализированной классификации при оценке повреждения;

— указание на сопутствующее повреждение внутримышечного сухожилия;

— количественная оценка объема мышечного отека.

Для каждого из перечисленных показателей была проведена оценка уровня согласованности между специалистами обеих групп.

Радиологи из группы 2 для описания МРТ использовали классификацию мышечных повреждений Британской атлетической ассоциации (British Athletics Muscle Injury Classification — BAGIC), которую можно считать наиболее часто используемой среди профильных экспертов [24]. Внутримышечное сухожилие было определено как участок сухожилия, который проходит вдоль мышцы и проникает к ней, в результате чего к нему прикрепляются мышечные волокна [25]. Объем повреждения определялся на основе визуализации с использованием стандартизированных протоколов магнитно-резонансных томограмм.

### Уменьшение систематических ошибок

Для снижения информационного смещения описания всех протоколов в группе 2 проводилось независимо двумя специалистами с привлечением третьего эксперта в случае расхождения их заключений. Исследователи, проводившие статистическую обработку, не имели информации о группе интерпретатора. Наличие систематической ошибки, связанной с различием в опыте специалистов, оценивалось через показатели согласованности (к Коэна,  $\chi^2$ -тест, парные сравнения).

### Статистический анализ

Статистический анализ проводился при помощи Python (версия 3.11.9, Python Software Foundation) с использованием библиотеки pandas для обработки данных и SciPy для статистических тестов. Категориальные классификации («BAGIC», «Stoller», «другое») были обобщены по абсолютному количеству и процентному соотношению от общего числа случаев. Оценки локализации и вовлечения сухожилий были представлены в виде таблиц согласованности  $2 \times 2$ . Была рассчитана доля точного согласия между радиологами группы 2 и радиологами группы 1. Доля несогласия была выражена как дополнение к доле согласия.

Парные измерения объема мышечного отека анализировались только в том случае, если оба значения были числовыми ( $n = 96$  пар). Поскольку распределение объемов отека значимо отклонялось от нормального (тест Шапиро — Уилка,  $p < 0,001$ ), в качестве основной метрики связи между измерениями использовалась ранговая корреляция Спирмена ( $\rho$ ). Коэффициент линейной

корреляции Пирсона ( $r$ ) применялся исключительно в рамках дополнительного анализа чувствительности. Для оценки систематического сдвига между парными измерениями применяли парный тест Уилкоксона (основной) и парный  $t$ -тест (дополнительный, чувствительный анализ), а также анализ Бланд — Алтмана. Для категориальных переменных рассчитывали к Коэна с 95 % ДИ (бутстрэп, 5000 репликаций), который интерпретировался по шкале Лэндиса и Коха. Тест МакНемара (с поправкой на непрерывность) оценивал асимметрию в несогласованных парах. В исследовании использовались двусторонние тесты; статистически значимым считалось значение  $p < 0,05$ .

### 3. Результаты

Среди 130 протоколов первичных ОБМП только в 14 случаях (10,8%) радиологи группы 1 использовали классификацию ВАМІС, и еще в 20 случаях (15,4%) — Stoller. В остальных 96 (73,8%) случаях наименование используемой классификации не указывалось. При сравнении анатомической локализации повреждений, определенной радиологами обеих групп, было показано, что только в 80 случаях из 130 (61,5%) она была идентичной, а коэффициент согласия составил  $k = 0,58$  (95% ДИ 0,49–0,66).

При сравнении объема отека мышцы, оцененного двумя группами радиологов, статистически значимых различий в парном сравнении не выявлено (тест Уилкоксона:  $W = 1843$ ;  $p = 0,076$ ; таблица 2). Межочечная ассоциация была умеренной по Спирмену ( $\rho = 0,50$ ;  $p < 0,001$ ), а корреляция Пирсона была низкой и статистически незначимой ( $r = 0,08$ ;  $p = 0,423$ ). По анализу Бланд — Алтмана среднее смещение составило  $13,49 \text{ см}^3$ ; пределы согласия — от  $157,19$  до  $130,21 \text{ см}^3$  (табл. 2).

Проведенный анализ показал, что при диагностике сопутствующих повреждений сухожилий оценка, выполненная радиологами обеих групп, была идентичной в 67 наблюдениях (59,8%), а расхождения наблюдались в 45 случаях (40,2%). При этом коэффициент к Коэна составил  $0,132$ , что свидетельствовало о слабом согласии сверх случайного уровня. Также выявлена значимая асимметрия в несогласованных парах ( $\chi^2$  МакНемара =  $22,756$ ;  $p < 0,001$ ).

### 4. Обсуждение

Исследование показало, что в абсолютном большинстве клинических ситуаций радиологи, составляя заключение по результатам МРТ мышц нижних конечностей у профессиональных футболистов, не применяют специализированные системы классификации мышечных повреждений. Лишь в отдельных эпизодах применяется классификация повреждений, чаще всего шкала Stoller, однако отсутствуют научные исследования, в рамках которых оценивалась ее прогностическая значимость в отношении безопасного возобновления РТД и продолжительности курса лечения ОБМП среди профессиональных спортсменов.

При этом наиболее часто используемая классификация Британской атлетической ассоциации использовалась только в 10,8% случаев. А именно в отношении этой классификации есть убедительные данные, свидетельствующие о ее прогностической ценности в отношении безопасного возобновления РТД и длительности лечения ОБМП среди профессиональных футболистов и легкоатлетов [19, 20, 26, 27]. Другие же широко используемые зарубежными специалистами классификации мышечных повреждений, в основе которых находятся данные МРТ (Мюнхенского консенсуса и MLG-R), не указывались вообще [24].

Также обращает внимание, что в ходе проведения исследования было обнаружено значительное расхождение в описании вовлеченности в зону повреждения сухожилий — идентичная оценка наблюдалась в 59,8% случаев, а в несогласованных парах была продемонстрирована значимая асимметрия ( $\chi^2 = 22,756$ ;  $p < 0,001$ ). Такое значимое расхождение в оценке вовлеченности в область травматизации сухожилия делает затруднительным составление корректного по срокам и безопасного протокола лечения. Это связано с тем, что в целом ряде исследований было продемонстрировано, что вовлечение внутримышечного сухожилия в область повреждения существенно влияет на рост частоты возникновения рецидивов и на увеличение сроков возврата к РТД [20, 28, 29].

Вместе с тем выполненный анализ продемонстрировал отсутствие статистически значимой разницы

Таблица 2

#### Дескриптивная и статистическая информация по объему мышечного отека ( $n = 96$ )

Table 2

#### Descriptive and statistical information of muscle edema volume ( $n = 96$ )

Показатель	Группа 2	Группа 1
Объем отека медиана [IQR], $\text{см}^3$	11,50 [2,89–33,31]	10,75 [4,49–36,53]
Разница между группами медиана [IQR], $\text{см}^3$	-1,48 [-17,22–4,92]	
Тест Уилкоксона, $W$ ; $p$	$W = 1843,0$ ; $p = 0,076$	
Спирмен $\rho$ ; $p$ (основной)	$\rho = 0,495$ ; $p < 0,001$	
Пирсон $r$ ; $p$ (чувствит.)	$r = 0,083$ ; $p = 0,423$	
Бланд-Алтман: среднее смещение, $\text{см}^3$	-13,49	
Бланд-Алтман: пределы согласия, $\text{см}^3$	-157,19 ... 130,21	

( $p = 0,076$ ) между оценками объема мышечного отека, произведенными радиологами сравниваемых групп. Корректная оценка данного параметра имеет принципиальное значение, поскольку именно динамика его снижения служит ключевым критерием при принятии решения о возобновлении РТД. Согласно консенсусу Bisciotti и соавт., уменьшение объема мышечного отека более 70 % от первоначальных значений является одним из критериев, позволяющих осуществить возобновление РТД [22].

Поиск в крупных отечественных и зарубежных базах данных (elibrary, Scopus и Web of Science) не позволил обнаружить исследований с подобным дизайном, что не дает возможность оценить значимость проблемы, описанной в исследовании, в других странах. Авторы работы смогли обнаружить только исследование Логвинова и соавт., которое показало высокую степень согласованности оценок между травматологами и радиологами исключительно при диагностике патологий сухожилия надостной мышцы, кальцинирующего тендинита и полных разрывов мышц ротаторной манжеты плеча. Напротив, интерпретация неполнослойных разрывов существенно варьировала между этими категориями специалистов [30].

Таким образом, наши данные выявляют противоречие: с одной стороны, существует хорошо валидированный инструмент (классификация Pollock et al.), позволяющий прогнозировать сроки восстановления. С другой стороны, в рутинной практике он систематически не используется, а базовые компоненты визуальной оценки (как вовлечение сухожилия) демонстрируют неприемлемо низкую межэкспертную согласованность. Это создает ситуацию, при которой современные диагностические возможности не реализуются в полной мере для оптимизации лечения спортсменов. При этом можно предположить, что несмотря на дефицит опубликованных исследований по этой теме, проблему корректной интерпретации данных МРТ крупных суставов и мышц следует считать актуальной и требующей дальнейшего изучения. В то же время полученные данные диктуют необходимость разработки профильными

профессиональными сообществами образовательных программ, реализация которых позволила бы обеспечить корректность описания МРТ радиологами независимо от их стажа и специализации.

У исследования имеется ряд ограничений. Во-первых, асимметрия процедуры анализа МР-томограмм. В группе 2 оценка выполнялась в формате консенсуса двух экспертов с возможной арбитражной оценкой третьего, тогда как в группе 1 использовались одиночные заключения 48 радиологов из 13 центров без консенсуса. Такая методологическая неоднородность может завышать показатели согласия в группе 2 и одновременно увеличивать межнаблюдательную вариабельность в группе 1, что может ограничивать сопоставимость групп и переносимость результатов. Во-вторых, присутствовала межцентровая неоднородность: исследование включало медицинские учреждения, в которых могли различаться модели магнитно-резонансных томографов, параметры последовательностей и протоколы описания, что потенциально способно влиять на параметры измерения оцениваемых клинических показателей. Недостаточная степень стандартизации подходов могла дополнительно увеличить вариабельность результатов и исказить показатели их согласованности.

## 5. Заключение

Только в незначительном количестве случаев радиологи, не имеющие большого опыта работы со спортсменами, использовали какие-либо классификации мышечных повреждений. Выявленная значительная частота расхождений в определении локализации мышечной травмы и идентификации поражений внутримышечных сухожилий между радиологами, имеющими опыт работы с профессиональными спортсменами и без данного опыта, позволяет утверждать, что для повышения точности МР-диагностики ОБМП у спортсменов целесообразно привлекать радиологов, обладающих специализированным профессиональным опытом, необходимым для минимизации риска некорректной интерпретации полученных данных.

### Вклад авторов

**Безуглов Эдуард Николаевич** — разработка концепции и дизайна исследования, редактирование текста рукописи.

**Гринченко Аlesia Петровна** — интерпретация и анализ данных.

**Малякин Георгий Ильич** — сбор и обработка данных, анализ литературных источников.

**Хайтин Владимир Юрьевич** — анализ литературных источников, редактирование текста.

**Бутовский Михаил Сергеевич** — сбор и обработка данных, подготовка материалов исследования.

**Виноградов Михаил Анатольевич** — статистический анализ данных, редактирование текста.

**Гончаров Евгений Николаевич** — разработка концепции и дизайна исследования, утверждение окончательного варианта рукописи.

### Authors' contributions

**Eduard N. Bezuglov** — research concept and design, manuscript editing.

**Alesya P. Grinchenko** — interpretation and analysis of the data.

**Georgy I. Malyakin** — data collection and processing, analysis of literature.

**Vladimir Yu. Khaitin** — analysis of literature, manuscript editing.

**Mikhail S. Butovsky** — data collection and processing, preparation of research materials.

**Mikhail A. Vinogradov** — statistical analysis of the data, manuscript editing.

**Evgeny N. Goncharov** — research concept and design, approval of the final version of the manuscript.

**Список литературы / References**

- Ishøi L., Krommes K., Husted R.S., Juhl C.B., Thorborg K. Diagnosis, prevention and treatment of common lower extremity muscle injuries in sport — grading the evidence: a statement paper commissioned by the Danish Society of Sports Physical Therapy (DSSF). *Br. J. Sports Med.* 2020;54(9):528–537. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101228>
- Eirale C., Farooq A., Smiley F.A., Tol J.L., Chalabi H. Epidemiology of football injuries in Asia: A prospective study in Qatar. *J. Sci. Med. Sport.* 2013;16(2):113–117. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.07.001>
- Ekstrand J., Hägglund M., Waldén M. Epidemiology of Muscle Injuries in Professional Football (Soccer). *Am. J. Sports Med.* 2011;39(6):1226–1232. <https://doi.org/10.1177/0363546510395879>
- Hägglund M., Waldén M., Ekstrand J. Risk Factors for Lower Extremity Muscle Injury in Professional Soccer: The UEFA Injury Study. *Am. J. Sports Med.* 2013;41(2):327–35. <https://doi.org/10.1177/0363546512470634>
- Svensson K., Eckerman M., Alricsson M., Magounakis T., Werner S. Muscle injuries of the dominant or non-dominant leg in male football players at elite level. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2018;26(3):933–937. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4200-4>
- Jones A., Jones G., Greig N., Bower P., Brown J., Hind K., Francis P. Epidemiology of injury in English Professional Football players: A cohort study. *Phys. Ther. Sport.* 2019;35:18–22. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.10.011>
- Maffulli N., Oliva F., Frizziero A., Nanni G., Barazzuol M., Via A.G., et al. ISMuLT Guidelines for muscle injuries. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2013;3(4):241–249.
- Elliott M.C.C.W., Zarins B., Powell J.W., Kenyon C.D. Hamstring Muscle Strains in Professional Football Players: A 10-Year Review. *Am. J. Sports Med.* 2011;39(4):843–850. <https://doi.org/10.1177/0363546510394647>
- Lee J.C., Mitchell A.W.M., Healy J.C. Imaging of muscle injury in the elite athlete. *Br. J. Radiol.* 2012;85(1016):1173–1185. <https://doi.org/10.1259/bjr/84622172>
- Gielen J.L., Robinson P., Van Dyck P., Van der Stappen A., Vanhoenacker F.M. Muscle Injuries. In: Vanhoenacker F.M., Maas M., Gielen J.L., eds. *Imaging of Orthopedic Sports Injuries*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2007, pp. 15–39. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-68201-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-540-68201-1_3)
- Ekstrand J., Healy J.C., Waldén M., Lee J.C., English B., Hägglund M. Hamstring muscle injuries in professional football: the correlation of MRI findings with return to play. *Br. J. Sports Med.* 2012;46(2):112–117. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090155>
- Pollock N., James S.L.J., Lee J.C., Chakraverty R. British athletics muscle injury classification: a new grading system. *Br. J. Sports Med.* 2014;48(18):1347–1351. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093302>
- Mueller-Wohlfahrt H.-W., Haensel L., Mithoefer K., Ekstrand J., English B., McNally S., et al. Terminology and classification of muscle injuries in sport: The Munich consensus statement. *Br. J. Sports Med.* 2013;47(6):342–350. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091448>
- Valle X., Alentorn-Geli E., Tol J.L., Hamilton B., Garrett W.E. Jr, Pruna R., et al. Muscle Injuries in Sports: A New Evidence-Informed and Expert Consensus-Based Classification with Clinical Application. *Sports Med.* 2017;47(7):1241–1253. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0647-1>
- Bezuglov E., Khaitin V., Shoshorina M., Butovskiy M., Karlitskiy N., Mashkovskiy E, et al. Sport-Specific Rehabilitation, but Not PRP Injections, Might Reduce the Re-Injury Rate of Muscle Injuries in Professional Soccer Players: A Retrospective Cohort Study. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2022;7(4):72. <https://doi.org/10.3390/jfmk7040072>
- Безуглов Э.Н., Хайтин В.Ю., Лазарев А.М., Бутовский М.С., Карлицкий Н.Н., Чернов Г.В., Любушкина А.В., Степанов И.Д. Оценка эффективности использования инъекций богатой тромбоцитами плазмы при лечении мышечных повреждений нижней конечности степени 2А-2В у профессиональных футболистов. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2019;9(3):77–82. [Bezuglov E.N., Khaitin V.Y., Lazarev A.M., Butovskiy M.S., Karlitskiy N.N., Chernov G.V., Lyubushkina A.V., Stepanov I.D. Evaluation of the effectiveness of platelet-rich plasma in the treatment of muscle injuries of the lower limb grade 2A-2B in professional football players. *Sports Medicine: Research and Practice.* 2019;9(3):77–82. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2019.3.77>
- Безуглов Э.Н., Хайтин В.Ю., Этемад О.А., Лебеденко Е.О., Гринченко А.П., Филимонова А.М. Актуальные классификации мышечных травм: преимущества и недостатки. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2024;14(2):45–57. [Bezuglov E.N., Khaitin V.Yu., Etemad O.A., Lebedenko E.O., Grinchenko A.P., Filimonova A.M. Current classifications of muscle injuries: strengths and limitations. *Sports Medicine: Research and Practice.* 2024;14(2):45–57. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.3>
- Wangensteen A., Guermazi A., Tol J.L., Roemer F.W., Hamilton B., Alonso J.M., Whiteley R., Bahr R. New MRI muscle classification systems and associations with return to sport after acute hamstring injuries: a prospective study. *Eur. Radiol.* 2018;28(8):3532–3541. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-5125-0>
- McAleer S., Macdonald B., Lee J., Zhu W., Giakoumis M., Maric T., Kelly S., Brown J., Pollock N. Time to return to full training and recurrence of rectus femoris injuries in elite track and field athletes 2010–2019; a 9-year study using the British Athletics Muscle Injury Classification. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2022;32(7):1109–1118. <https://doi.org/10.1111/sms.14160>
- Pollock N., Kelly S., Lee J., Stone B., Giakoumis M., Polglass G., Brown J., MacDonald B. A 4-year study of hamstring injury outcomes in elite track and field using the British Athletics rehabilitation approach. *Br. J. Sports Med.* 2022;56(5):257–263. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103791>
- Reurink G., Goudswaard G.J., Tol J.L., et al. MRI observations at return to play of clinically recovered hamstring injuries. *Br. J. Sports Med.* 2014;48(18):1370–1376. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092450>
- Bisciotti G.N., Volpi P., Alberti G., Aprato A., Artina M., Auci A., et al. Italian consensus statement (2020) on return to play after lower limb muscle injury in football (soccer). *BMJ Open Sport Exerc. Med.* 2019;5(1):e000505. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000505>
- Waldén M., Mountjoy M., McCall A., Serner A., Massey A., Tol J.L., et al. Football-specific extension of the IOC consensus statement: methods for recording and reporting of epidemiological data on injury and illness in sport 2020. *Br. J. Sports Med.* 2023;57(21):1341–1350. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106405>
- Paton B.M., Court N., Giakoumis M., Head P., Kayani B., Kelly S., et al. London International Consensus and Delphi

study on hamstring injuries part 1: classification. *Br. J. Sports Med.* 2023;57(5):254–265. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-105371>

25. **Van Der Made A.D., Wieldraaijer T., Kerkhoffs G.M., Kleipool R.P., Engebretsen L., van Dijk C.N., Golanó P.** The hamstring muscle complex. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2015;23(7):2115–2122. <https://doi.org/10.1007/s00167-013-2744-0>

26. **Hollabaugh W.L., Sin A., Walden R.L., Weaver J.S., Porras L.P., LeClere L.E., et al.** Outcomes of Activity-Related Lower Extremity Muscle Tears After Application of the British Athletics Muscle Injury Classification: A Systematic Review. *Sports Health.* 2024;16(5):783–796. <https://doi.org/10.1177/19417381231195529>

27. **Tears C., Rae G., Hide G., Sinha R., Franklin J., Brand P., Hasan F., Chesterton P.** The British Athletics Muscle Injury Classification grading system as a predictor of return to play following hamstrings injury in professional football players. *Phys. Ther. Sport.* 2022;58:46–51. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2022.08.002>

28. **Shamji R., James S.L.J., Botchu R., Khurniawan K.A., Bhogal G., Rushton A.** Association of the British Athletic Muscle

Injury Classification and anatomic location with return to full training and reinjury following hamstring injury in elite football. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* 2021;7(2):e001010. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2020-001010>

29. **Comin J., Malliaras P., Baquie P., Barbour T., Connell D.** Return to competitive play after hamstring injuries involving disruption of the central tendon. *Am. J. Sports Med.* 2013;41(1):111–5. <https://doi.org/10.1177/0363546512463679>

30. **Логвинов А.Н., Макарьева О.В., Ильин Д.О., Каданцев П.М., Зарипов А.Р., Фролов А.В. и др.** Межэкспертная согласованность результатов МРТ диагностики патологии вращательной манжеты плечевого сустава // Травматология и ортопедия России. 2020;26(4):102–111. [Logvinov A.N., Makarieva O.V., P'in D.O., Kadantsev P.M., Zaripov A.R., Frolov A.V., et al. Magnetic Resonance Imaging Identification of Rotator Cuff Pathology: Inter-rater Reliability. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2020;26(4):102–111. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2020-26-4-102-111>

#### Информация об авторах:

**Безуглов Эдуард Николаевич\***, к.м.н., доцент ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119435, Москва, ул. Большая Пироговская, 2, стр. 9. Департамент науки и развития ПФК ЦСКА, Россия, 125252, Москва, 3-я Песчаная ул., 2а, стр. 2. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3828-0506> (e.n.bezuglov@gmail.com)

**Гринченко Алеся Петровна**, рентгенолог, специализирующийся на мышечно-скелетной радиологии, ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского», Россия, 119991, Москва, Абрикосовский пер., 2. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5401-9469> (4722775@mail.ru)

**Малякин Георгий Ильич**, врач по спортивной медицине ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119435, Москва, ул. Большая Пироговская, 2, стр. 9; Департамент науки и развития ПФК ЦСКА, Россия, 125252, Москва, 3-я Песчаная ул., 2а, стр. 2. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1128-2678> (manuljke@gmail.com)

**Хайтин Владимир Юрьевич**, к.м.н., ассистент кафедры физических методов лечения и спортивной медицины; врач по спортивной медицине ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. Павлова» Минздрава России, Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, 6–8. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9154-5174> (khaitinvladimir@gmail.com)

**Бутовский Михаил Сергеевич**, к.м.н., доцент кафедры спортивной реабилитации и спортивной медицины Казанского государственного медицинского университета, Россия, 420012, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 49., главный врач ФК «Динамо-Москва», Россия, 125167, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 36. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1295-9457> (drMike81@inbox.ru)

**Виноградов Михаил Анатольевич**, Департамент науки и развития ПФК ЦСКА, Россия, 125252, Москва, 3-я Песчаная ул., 2а, стр. 2. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9691-3792> (vinogradov.coach@gmail.com)

**Гончаров Евгений Николаевич**, к.м.н., врач-травматолог ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского», Россия, 119991, Москва, Абрикосовский пер., 2. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9809-7637> (goncharoven@gmail.com)

**Ветошкин Александр Александрович**, к.м.н., доцент, врач-травматолог Центра травматологии и ортопедии Европейского медицинского центра, Россия, 129110, г. Москва, Орловский переулок, д. 7. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3258-2220> (info@sustav.pro)

#### Information about the authors:

**Eduard N. Bezuglov\***, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Ministry of Health of Russia, 2 Bolshaya Pirogovskaya street, building 9, Moscow, 119435, Russia. Department of Science and Development, PFC CSKA Moscow, 2A 3rd Peschanaya street, building 2, Moscow, 125252, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3828-0506> (e.n.bezuglov@gmail.com)

**Alesya P. Grinchenko**, radiologist specializing in musculoskeletal radiology, Petrovsky Russian Research Center of Surgery, 2 Abrikosovsky Lane, Moscow, 119991, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5401-9469> (4722775@mail.ru)

**Georgiy I. Malyakin**, sports medicine physician, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Ministry of Health of Russia, 2 Bolshaya Pirogovskaya street, building 9, Moscow, 119435, Russia; Department of Science and Development, PFC CSKA Moscow, 2A 3rd Peschanaya street, building 2, Moscow, 125252, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1128-2678> (manuljke@gmail.com)

**Vladimir Yu. Khaitin**, Cand. Sci. (Med.), Assistant of the Department of Physical Treatment Methods and Sports Medicine; sports medicine physician, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Ministry of Health of Russia, 6-8 Lev Tolstoy street, Saint Petersburg, 197022, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9154-5174> (khaitinvladimir@gmail.com)

**Mikhail S. Butovsky**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Sports Rehabilitation and Sports Medicine, Kazan State Medical University, 49 Butlerova street, Kazan, Republic of Tatarstan, 420012, Russia; Chief Medical Officer of FC Dynamo Moscow, 36 Leningradsky Av, Moscow, 125167, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1295-9457> (drMike81@inbox.ru)

**Mikhail A. Vinogradov**, Department of Science and Development, PFC CSKA Moscow, 2A 3rd Peschanaya street, building 2, Moscow, 125252, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9691-3792> ([vinogradov.coach@gmail.com](mailto:vinogradov.coach@gmail.com))

**Evgeny N. Goncharov**, Cand. Sci. (Med.), traumatologist, Petrovsky Russian Research Center of Surgery, 2 Abrikosovsky Lane, Moscow, 119991, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9809-7637> ([goncharoven@gmail.com](mailto:goncharoven@gmail.com))

**Alexander A. Vetoshkin**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, traumatologist, Center for Traumatology and Orthopedics, European Medical Center, 7 Orlovsky Lane, Moscow, 129110, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3258-2220> ([info@sustav.pro](mailto:info@sustav.pro))

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.9>

УДК: 796.92

Тип статьи: Оригинальная статья / Original research



## Морфо-антропометрические особенности стоп у бегунов на длинные дистанции

И.В. Чупа<sup>1,2,\*</sup>, Е.Е. Ачкасов<sup>1</sup>, В.Н. Николенко<sup>1,3</sup>, Л.А. Гридин<sup>4</sup>, В.В. Куршев<sup>1,2</sup>, А.И. Медведева<sup>5</sup>

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

<sup>2</sup> АНО «Клиника спортивной медицины “Лужники”», Москва, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия

<sup>4</sup> АО «Московский центр проблем здоровья при Правительстве Москвы», Москва, Россия

<sup>5</sup> ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы» (РУДН им. Патриса Лумумбы), Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования** — определить морфо-антропометрические особенности стоп и нижних конечностей у бегунов на длинные дистанции и оценить взаимосвязь между формой стопы, состоянием продольного свода и осью ног.

**Материалы и методы.** Проведено одноцентровое поперечное исследование с участием 308 бегунов (232 мужчины и 76 женщин, средний возраст  $38,2 \pm 10,3$  года). Выполнена антропометрическая оценка, определение типа переднего отдела стопы, степени плоскостопия и формы нижних конечностей.

**Результаты.** Египетская форма стопы выявлена у 42,5 % спортсменов, греческая — у 30,2 %, прямоугольная — у 27,3 %. Плоскостопие I–II степени зарегистрировано у 60,7 % обследованных, при этом выявлены достоверные различия по полу в распределении степеней деформации свода. Связи между формой стопы, индексом массы тела и состоянием продольного свода не установлено. Варусная деформация нижних конечностей отмечена у 13,0 % бегунов и не продемонстрировала статистически значимых ассоциаций с типом стопы или степенью плоскостопия.

**Заключение.** У бегунов на длинные дистанции преобладают умеренные формы уплощения свода при относительной независимости морфологических признаков стопы. Полученные данные подчеркивают необходимость комплексной оценки морфотипа стопы в спортивной медицине.

**Ключевые слова:** бег на длинные дистанции, морфология стопы, продольный свод стопы, плоскостопие, форма переднего отдела стопы, ось нижних конечностей, варусная деформация, биомеханика бега

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

**Источники финансирования:** работа выполнена без привлечения внешнего финансирования.

**Для цитирования:** Чупа И.В., Ачкасов Е.Е., Николенко В.Н., Гридин Л.А., Куршев В.В., Медведева А.И. Морфо-антропометрические особенности стоп у бегунов на длинные дистанции. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2026;16(1):59–66. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.9>

Поступила в редакцию: 30.03.2026

Принята к публикации: 29.05.2026

Online first: 19.06.2026

Опубликована: 20.06.2026

\* Автор, ответственный за переписку

# Morpho-anthropometric characteristics of the feet in long-distance runners

Ilya V. Chupa<sup>1,2,\*</sup>, Evgeniy E. Achkasov<sup>1</sup>, Vladimir N. Nikolenko<sup>1,3</sup>, Leonid A. Gridin<sup>4</sup>,  
 Vladislav V. Kurshev<sup>1,2</sup>, Anna I. Medvedeva<sup>5</sup>

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

<sup>2</sup> «Luzhniki» Sports Medicine Clinic, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Moscow centre of healthcare, Moscow, Russia

<sup>5</sup> Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow, Russia

## ABSTRACT

**The aim of this study** was to determine the morpho-anthropometric characteristics of the feet and lower limbs in long-distance runners and to assess the associations between foot type, medial longitudinal arch condition, and lower limb alignment.

**Materials and methods:** A single-center cross-sectional study was conducted including 308 runners (232 men and 76 women; mean age  $38.2 \pm 10.3$  years). Anthropometric assessment was performed, along with determination of forefoot type, degree of flatfoot deformity, and lower limb alignment.

**Results:** The Egyptian foot type was identified in 42.5% of athletes, the Greek type in 30.2 %, and the square type in 27.3 %. Grade I–II flatfoot was observed in 60.7 % of participants, with significant sex-related differences in the distribution of arch deformity severity. No significant associations were found between foot type, body mass index, and medial longitudinal arch condition. Varus lower limb alignment was detected in 13.0% of runners and showed no statistically significant association with foot type or flatfoot severity.

**Conclusion:** Moderate degrees of arch flattening predominate among long-distance runners, while morphological foot characteristics appear relatively independent. These findings highlight the importance of comprehensive morphotype assessment of the foot in sports medicine.

**Keywords:** long-distance running, foot morphology, medial longitudinal arch, flatfoot, forefoot type, lower limb alignment, varus deformity, running biomechanics

**Funding:** this study was conducted without external funding.

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

**For citation:** Chupa I.V., Achkasov E.E., Nikolenko V.N., Gridin L.A., Kurshev V.V., Medvedeva A.I. Morpho-anthropometric characteristics of the feet in long-distance runners. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2026;16(1):59–66. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.9>

**Received:** 30 March 2026

**Accepted:** 29 May 2026

**Online first:** 19 June 2026

**Published:** 20 June 2026

\*Corresponding author

## 1. Введение

Бег на длинные дистанции относится к видам циклической нагрузки с большим числом повторяющихся ударно-опорных циклов, что обуславливает высокую распространенность перегрузочных повреждений опорно-двигательного аппарата и значимую долю травм области стопы или голеностопного сустава [1, 2].

Стопа человека обладает сложным сводчатым строением, выполняющим амортизирующую и энерго-сберегающую функцию при беге и ходьбе, во многом за счет эластических свойств подошвенной фасции [3, 4]. Показано, что длительный бег может вызывать транзиторное снижение жесткости подошвенной фасции и временное уплощение медиального продольного свода стопы, причем выраженность этих изменений связана с уровнем беговой тренированности [5, 6].

Известно, что чрезмерное уплощение свода (плоскостопие) сопряжено с повышенным риском травм нижних конечностей и стоп у бегунов [7, 8]. С другой

стороны, слишком высокий свод характеризуется сниженной способностью к амортизации, что также может увеличивать нагрузку на скелетно-мышечную систему при беге и вести к травмам [7].

Помимо высоты свода стопы существенное значение имеют и другие морфологические характеристики, в частности форма переднего отдела и относительная длина пальцев. В антропометрии выделяют египетский, греческий и прямоугольный типы стопы, различающиеся доминирующим пальцем и конфигурацией переднего отдела [9]. По данным литературы, наиболее распространен египетский тип, тогда как греческий и прямоугольный встречаются реже и демонстрируют выраженные географические и этнические различия [10–12]. Показано, что форма пальцев влияет на биомеханику стопы. Греческий тип ассоциируется с перераспределением нагрузки на передний отдел и повышенным риском метатарзалгии, деформаций первого пальца и плантарного фасциита [13, 14]. В условиях длительных

беговых нагрузок такие морфологические особенности могут усиливать перегрузку отдельных структур стопы, однако их роль в формировании травматизма и эффективности бега остается недостаточно изученной и преимущественно рассматривается в контексте подбора обуви и ортезов.

Другим фактором, влияющим на биомеханику бега, является ось нижней конечности во фронтальной плоскости, включая варусную (О-образную) и вальгусную (Х-образную) деформацию коленных суставов [15]. Отклонения оси ноги ассоциированы с изменением распределения нагрузки, при этом вальгусная деформация нередко сочетается с избыточной пронацией стопы и внутренней ротацией большеберцовой кости, формируя каскад биомеханических изменений, затрагивающих коленный и тазобедренный суставы. Варусная форма нижних конечностей, напротив, сопровождается увеличением нагрузки на медиальные отделы коленного сустава и стопы [16].

Несмотря на потенциальную роль морфофункциональных особенностей в развитии перегрузочных повреждений, их распространенность среди бегунов на выносливость остается недостаточно изученной. В литературе ограничено освещена взаимосвязь между формой стопы, состоянием продольного свода и конфигурацией нижней конечности у бегунов, тогда как совокупность этих факторов определяет индивидуальные особенности биомеханики бега и может влиять на выбор обуви, ортезов и стратегии профилактики травм опорно-двигательного аппарата. Изучение характерных морфологических особенностей стоп у бегунов и их различий в зависимости от пола, возраста и антропометрических показателей представляет значимый интерес для спортивной медицины.

Цель исследования — определить морфо-антропометрические особенности стоп и нижних конечностей у бегунов на длинные дистанции.

## 2. Материалы и методы

На базе кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова» Минздрава России и АНО «Клиника спортивной медицины «Лужники»» проведено одноцентровое поперечное, кросс-секционное исследование, включающее антропометрическое и клиническое обследование бегунов на длинные дистанции. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), протокол № 19–25 от 22.09.2025.

В исследование включено 308 бегунов на длинные дистанции в возрасте от 18 до 65 лет (в среднем  $38,2 \pm 10,3$  года). Среди них 232 мужчины (75,3%) и 76 женщин (24,7%). В исследовании участвовали бегуны, регулярно занимающиеся бегом на выносливость (марафонцы, полумарафонцы, бегуны на шоссе и кроссовые дистанции).

Критерии включения: стаж систематических занятий бегом не менее 1 года, участие в соревнованиях на дистанциях 5 км и более либо регулярный тренировочный бег не менее 3 раз по 21,1 км в неделю; возраст старше 18 лет; отсутствие травм опорно-двигательного аппарата на момент обследования. Критерии исключения: наличие в анамнезе операций на нижних конечностях, выраженные деформации или заболевания стоп, не связанные с беговой нагрузкой (травмы, врожденные деформации), отказ от участия.

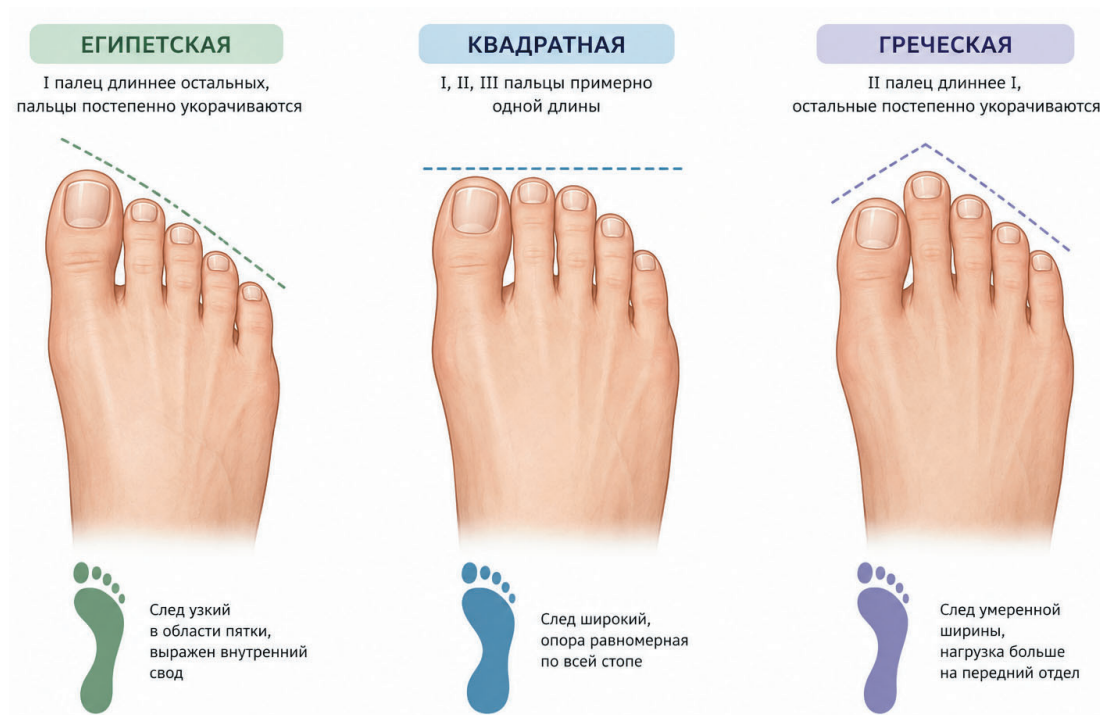
Рост и вес измеряли стандартным ростомером с электронными весами SECA-285 (Германия) в положении стоя без обуви в легкой одежде. На основе измеренных роста и массы рассчитывали индекс массы тела (ИМТ  $\text{кг}/\text{м}^2$ ). Согласно значениям ИМТ, испытуемых условно распределяли по категориям: дефицит массы ( $< 18,5 \text{ кг}/\text{м}^2$ ), нормальная масса ( $18,5\text{--}24,9 \text{ кг}/\text{м}^2$ ), избыточная масса ( $25,0\text{--}29,9 \text{ кг}/\text{м}^2$ ) и ожирение ( $\geq 30 \text{ кг}/\text{м}^2$ ).

Для каждого участника определяли тип переднего отдела стопы по относительной длине I и II пальцев при помощи измерения длины пальцев линейкой. Пальцы стопы осматривали в положении стоя. Египетскую форму стопы устанавливали, если первый палец (hallux) заметно длиннее второго, а остальные убывают по длине. Греческую форму стопы — если второй палец длиннее первого. Прямоугольную (квадратную) форму стопы — если первый и второй пальцы примерно одинаковы по длине (рис. 1).

Диагностика степеней плоскостопия основывалась на результатах цифровой фотометрической плантографии по С.В. Кузнецову с использованием аппаратно-программного комплекса «ПлантоВизор 2025» и программного обеспечения «Кастинг Созвездие».

Форму нижних конечностей оценивали по оси ног при сомкнутых коленях и лодыжках. Для количественной оценки могли использоваться измерения межмыщелкового или межлодыжечного расстояния (в см) в положении стоя.

Для статистической обработки использовали программу Jamovi версии 2.7. (Sydney, Australia), количественные показатели проверяли на нормальность распределения с помощью критерия Шапиро — Уилка. Для параметрических данных рассчитывали среднее значение ( $M$ ) и стандартное отклонение ( $\sigma$ ). Категориальные признаки описывались в виде абсолютных частот и процентов от общей численности. Для сравнения групп по независимым количественным переменным использовали  $t$ -критерий Стьюдента. Для сравнения трех и более групп проводили дисперсионный анализ ANOVA. Связи между категориальными переменными исследовали с помощью критерия  $\chi^2$  Пирсона. Для контроля риска ошибки первого рода при множественных сравнениях применяли поправку Бонферрони. Статистически значимыми считали различия при  $p < 0,05$ .



Примечание. Схема отражает типы формы переднего отдела стопы по соотношению длины пальцев.

Рис. 1. Типы формы переднего отдела стопы по соотношению длины I и II пальцев  
Fig. 1. Forefoot types according to the relative length of the first and second toes

### 3. Результаты

В выборке из 308 бегунов средний возраст составил  $38,2 \pm 10,3$  года (от 18 до 65 лет), статистически значимой разницы по возрасту между полами не выявлено ( $p = 0,22$ ). Средний рост участников —  $176,0 \pm 9,1$  см (мужчины:  $179,3 \pm 7,4$  см, женщины:  $166,7 \pm 6,1$  см), масса тела —  $73,7 \pm 11,3$  кг (мужчины:  $78,4 \pm 10,4$  кг, женщины:  $60,5 \pm 7,5$  кг). Средний индекс массы тела (ИМТ) составил  $23,68 \pm 2,58$  кг/м<sup>2</sup>. У женщин наблюдался более низкий ИМТ в среднем ( $21,7 \pm 2,0$  кг/м<sup>2</sup>), чем у мужчин ( $24,3 \pm 2,5$  кг/м<sup>2</sup>) ( $p < 0,001$ ). Распределение по категориям ИМТ показало, что подавляющее большинство спортсменов имели нормальную массу тела: 85,4% (263 из 308) находились в диапазоне ИМТ 18,5–24,9. Лишь 2 человека (0,6%) имели дефицит массы, 40 (13,0%) — избыточную массу, и 3 (1,0%) — ожирение.

Среди обследованных бегунов на длинные дистанции выявлено преобладание египетской формы стопы — 131 бегун (42,5%). В остальных случаях распределение было относительно равномерным: греческий тип стопы, характеризующийся преобладанием второго пальца, выявлен у 93 бегунов (30,2%), тогда как прямоугольный тип с практически равной длиной первых пальцев зарегистрирован у 84 обследованных (27,3%).

Анализ распределения формы стопы в зависимости от пола не выявил статистически значимых различий ( $p = 0,23$ ). Также не отмечено достоверных связей формы стопы с показателями ИМТ ( $p = 0,51$ ), что позволяет предположить, что тип пальцевого индекса стопы — врожденная конституциональная особенность,

не связанная напрямую с тренированностью, полом или весом бегуна.

При обследовании определено 111 бегунов (36%) с нормальным сводом стопы. Среди остальных 64% бегунов плоскостопие I степени отмечено у 105 (34,1%) и плоскостопие II степени — у 82 (26,7%) человек. III степени плоскостопия у бегунов не выявлено. Полный свод стопы выявлен у 10 бегунов (3,2% выборки) (табл. 1).

Распределение степеней деформации свода стопы достоверно различалось у мужчин и женщин ( $p = 0,0001$ ). У женщин в большинстве случаев отмечались нормальный свод или плоскостопие I степени — у 27 (35,5%) и 39 (51,3%) соответственно. У мужчин нормальный свод встречался у 84 (36,2%), плоскостопие I степени — у 66 (28,4%), а плоскостопие II степени — у 75 бегунов (32,3%), что значительно превышало соответствующий показатель у женщин (рис. 2).

Дополнительно проверяли влияние возраста и массы тела на наличие плоскостопия. Средний возраст спортсменов с различным состоянием свода не имел значимых различий ( $p = 0,86$ ). При этом средние значения ИМТ также сопоставимы при разных степенях деформации стопы ( $23,8$  кг/м<sup>2</sup> при отсутствии плоскостопия,  $23,4$  кг/м<sup>2</sup> при I ст.,  $23,8$  кг/м<sup>2</sup> при II ст. и  $24,4$  кг/м<sup>2</sup> при высоких сводах,  $p = 0,48$ ).

Не было выявлено статистически значимой связи между типом формы стопы (пальцевым индексом) и наличием плоскостопия. Процент плоскостопия (любой степени) среди обладателей египетской, греческой и прямоугольной стоп значимо не различался ( $p = 0,20$ ).

Таблица 1

**Морфо-антропометрические характеристики стоп у бегунов на длинные дистанции**

Table 1

**Morpho-anthropometric characteristics of the feet in long-distance runners**

Показатель	Все бегуны (n = 308)	Мужчины (n = 232)	Женщины (n = 76)
Возраст, годы (M ± σ)	38,2 ± 10,3	38,6 ± 10,1	37,0 ± 11,0
Рост, см (M ± σ)	176,0 ± 9,1	179,3 ± 7,4	166,7 ± 6,1
Масса тела, кг (M ± σ)	73,7 ± 11,3	78,4 ± 10,4	60,5 ± 7,5
ИМТ, кг/м <sup>2</sup> (M ± σ)	23,68 ± 2,58	24,33 ± 2,53	21,70 ± 1,97
Нормальная масса тела, n/%	263/85,4	189/81,7	74/97,4
Дефицит массы тела, n/%	2/0,6	2/0,9	0/0
Избыточная масса тела, n/%	40/13,0	38/16,4	2/2,6
Ожирение, n/%	3/1,0	3/1,0	0/0
Форма стопы			
Египетская, n/%	131/42,5	95/40,9	36/47,4
Греческая, n/%	93/30,2	76/32,8	17/22,4
Прямоугольная, n/%	84/27,3	61/26,3	23/30,2
Продольный свод стопы			
Без патологии, n/%	111/36,0	84/36,2	27/35,5
Плоскостопие I ст., % (n)	105/34,1	66/28,4	39/51,3
Плоскостопие II ст., n/%	82/26,7	75/32,4	7/9,3
Полая стопа, n/%	10/3,2	7/3,0	3/3,9

**Распределение деформации стопы в зависимости от пола**

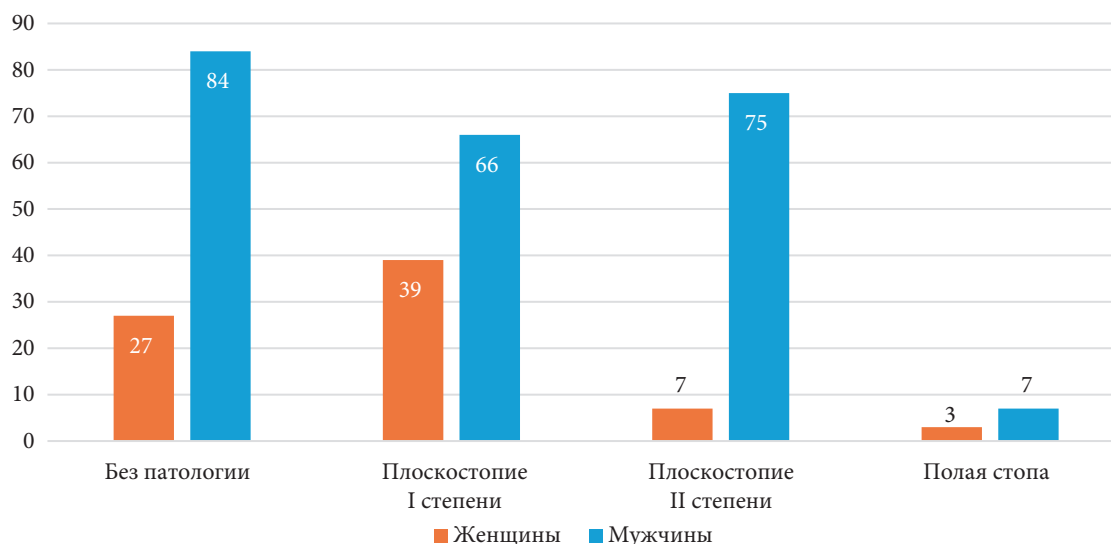


Рис. 2. Распределение степеней деформации стопы у бегунов в зависимости от пола (p = 0,0001)  
Fig. 2. Distribution of foot deformity grades in runners by sex (p = 0.0001)

Например, среди «египетских» стоп плоскостопие (I–II) имели 86 из 131 (65,6%), среди «греческих» — 50 из 93 (53,8%), среди «прямоугольных» — 51 из 84 (60,7%).

Подавляющее большинство бегунов, 266 человек (86,4%), имели форму ног без выраженного вальгуса или варуса коленей. Варусная деформация нижних конечностей отмечена у 40 спортсменов, что составляет

13,0% выборки. При этом степень варуса в большинстве случаев была умеренной (расстояние между коленями при сведенных лодыжках не превышало 5 сантиметров). Х-образная (вальгусная) установка ног оказалась крайне редкой: выявлено лишь у 2 мужчин-бегунов (0,6%).

Варьирование оси ног по полу не выявило значимых различий (p = 0,52). Также статистически значимой

Таблица 2

## Распределение форм нижних конечностей в исследуемой выборке бегунов

Table 2

## Distribution of lower limb alignment patterns in the study sample of runners

Показатель	Правильная форма ног, n/%	Варусная деформация, n/%
Формы стопы		
Египетская	114/42,9	15/37,5
Греческая	78/29,1	15/37,5
Прямоугольная	74/27,6	10/25,0
Деформация стопы (свод)		
Нет деформации	100/37,3	11/27,5
I степень	92/34,3	13/32,5
II степень	66/24,8	14/35,0
Полая стопа	8/3,0	2/5,0

связи между варусной деформацией и типом формы стопы не выявлено ( $p = 0,58$ ), как и между варусной деформацией и степенью деформации свода стопы ( $p = 0,42$ ). Тем не менее, можно отметить, что среди бегунов с О-образной формой ног несколько чаще встречалось плоскостопие II степени (14 из 40, 35%) по сравнению с бегунами без патологии ног (66 из 266, 24,8%), но разница также не значима ( $p = 0,17$ ) (табл. 2).

#### 4. Обсуждение

Полученные данные позволяют определить профиль морфо-антропометрических особенностей стоп у бегунов на длинные дистанции и оценить, насколько отдельные морфологические признаки связаны между собой в реальной тренировочной популяции.

В нашем исследовании у исследуемых участников распределение типов стопы составило 42,5% для египетского, 30,2% для греческого и 27,3% для прямоугольного типа. В отличие от исследования А. В. Овсянникова, где преобладала египетская форма (58,8%), доля прямоугольного типа была существенно ниже (11,76%), а частота греческого типа (29,4%) была сопоставимой [8]. Зарубежные данные подтверждают выраженную межпопуляционную вариабельность. Наши результаты были близки к индийской выборке Sharma et al., где отмечалось практически равномерное распределение тип стоп среди населения (египетская 39,08%, греческая 37,05%, прямоугольная 23,85%) [11], тогда как в греческом эпидемиологическом исследовании Vounotrypidis и Noutsou доля греческого типа достигала 46% при 51,7% египетского и минимальной доле прямоугольного типа (2,5%) [12].

Также в нашем исследовании у 64% обследованных выявлены признаки уплощения свода (I–II степени), при этом выражены половые различия по распределению степеней деформации свода ( $p = 0,0001$ ), тогда как тип конфигурации пальцевого индекса не демонстрировал значимых ассоциаций ни с полом, ни с ИМТ, ни с состоянием свода. Кроме того, в подгрупповом анализе

после исключения крайне редкой X-деформации ( $n = 2$ ) не выявлено статистически значимых связей между наличием варусной деформации и типом стопы, а также между варусной деформацией и степенью деформации свода ( $p > 0,05$ ), что подчеркивает относительную независимость исследуемых морфотипов в рамках данной выборки.

Отмечается, что доля лиц с плоскостопием I–II степени (в сумме 60,7%) достаточно велика. Современные исследования свидетельствуют о том, что длительный бег сопровождается транзитным снижением жесткости подошвенной фасции и временным уменьшением высоты медиального продольного свода стопы после нагрузки. Показано, что снижение механической жесткости подошвенной фасции, выявляемое с использованием ультразвуковых и эластографических методов, в значительной степени объясняет острое уплощение свода стопы после продолжительного бега [6]. Кроме того, после марафонских дистанций отмечается увеличение асимметрии сводов стоп, что подчеркивает их динамический характер и высокую чувствительность к длительной беговой нагрузке [17].

В нашей работе выявлены половые различия в распределении степеней деформации продольного свода стопы ( $p = 0,0001$ ). У женщин преимущественно отмечались нормальный свод и плоскостопие I степени, тогда как у мужчин чаще выявлялось плоскостопие II степени. Данные различия могут быть обусловлены сочетанием антропометрических факторов, особенностей тренировочных нагрузок и различий в мышечно-сухожильном контроле и свойствах соединительной ткани. При этом связь состояния свода стопы с возрастом и индексом массы тела в исследуемой выборке не выявлена, что согласуется с частью популяционных исследований, указывающих на вариабельность и неоднозначность влияния этих факторов.

Подавляющее большинство бегунов имело нормальную ось ног (86,4%), варусная деформация встречалась лишь у 13,0%, а вальгусная — крайне редко (0,6%),

при этом связи между варусной деформацией и особенностями строения стоп не отмечено.

В настоящей работе не оценивался временной интервал между последней беговой тренировкой и проведением обследования, поэтому нельзя исключить влияние недавней физической нагрузки на состояние медиального продольного свода стопы. Кроме того, дизайн исследования не предусматривал динамического наблюдения после нагрузки, в связи с чем не изучалась длительность сохранения возможного транзиторного уменьшения высоты свода. В дальнейшем наиболее перспективным представляется исследование индивидуальных особенностей формы стоп у спортсменов с учетом соматотипа, а также оценка связи между наличием или отсутствием деформации стопы и спортивными результатами. Для этого целесообразны проспективные исследования с контролем

#### **Вклад авторов:**

**Чупа Илья Вадимович** — проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ литературы, написание текста статьи.

**Ачкасов Евгений Евгеньевич** — концепция и дизайн исследования, научное руководство, утверждение финальной версии статьи.

**Николенко Владимир Николаевич** — научное консультирование, редактирование текста статьи, утверждение финальной версии статьи.

**Гридин Леонид Александрович** — интерпретация полученных результатов, редактирование текста статьи.

**Куршев Владислав Викторович** — интерпретация полученных результатов; редактирование текста статьи.

#### **Список литературы/References**

1. **Kakouris N., Yener N., Fong D.T.P.** A systematic review of running-related musculoskeletal injuries in runners. *J. Sport Health Sci.* 2021;10(5):513–522. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.04.001>
2. **Захаров С.Н., Курьшев Б.Б., Пиголкин Ю.И.** Разработка ортопедической стельки новой конструкции для коррекции нарушений ходьбы. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2025;15(4):37–44. [**Zakharov S.N., Kuryshv B.B., Pigolkin Yu.I.** Development of a new orthopedic insole design for the correction of walking disorders. *Sports medicine: research and practice.* 2025;15(4):37–44. (In Russ.)). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.4.1>
3. **Burgess S.C., Beeston A., Carr J., Siempou K., Simmonds M., Zanker Y.** A bio-inspired arched foot with individual toe joints and plantar fascia. *Biomimetics (Basel).* 2023;8(6):455. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8060455>
4. **Davis D.J., Challis J.** Characterizing the mechanical function of the foot's arch across steady-state gait modes. *J. Biomech.* 2023;151:111529. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.111529>
5. **Shiotani H., Mizokuchi T., Yamashita R., Naito M., Kawakami Y.** Acute effects of long-distance running on mechanical and morphological properties of the human plantar fascia. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2020;30(8):1360–1368. <https://doi.org/10.1111/sms.13690>

времени последней тренировки и повторной оценкой параметров стопы в разные сроки восстановления после беговой нагрузки.

#### **5. Заключение**

У бегунов на длинные дистанции выявлена высокая распространенность плоскостопия I–II степени при отсутствии деформаций III степени. Установлены статистически значимые половые различия в распределении степеней уплощения продольного свода стопы. При этом форма переднего отдела стопы и ось нижних конечностей не имели достоверной связи с состоянием свода, ИМТ и другими антропометрическими показателями. Полученные данные подчеркивают необходимость комплексной морфо-антропометрической оценки стоп у бегунов для индивидуализации профилактических и спортивно-медицинских рекомендаций.

#### **Author contributions:**

**Медведева Анна Игоревна** — обзор литературы, интерпретация полученных результатов.

**Ilya V. Chupa** — study conduct, data collection and processing, literature analysis, article text writing.

**Evgeniy E. Achkasov** — study concept and design, scientific supervision, article final version approval.

**Vladimir N. Nikolenko** — scientific consulting, editing, article final version approval.

**Leonid A. Gridin** — results interpretation, editing.

**Vladislav V. Kurshev** — results interpretation; editing.

**Anna I. Medvedeva** — literature review, results interpretation.

6. **Солтани Н., Маджлеси М., Фатахи А.** Немедленные и долгосрочные эффекты антипронационных стелек на пространственно-временные параметры ходьбы у людей с плоскостопием. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2025;15(4):28–36. [**Soltani N., Majlesi M., Fatahi A.** Immediate and long-term effects of anti-pronation insoles on spatiotemporal gait parameters in individuals with flat feet. *Sports medicine: research and practice.* 2025;15(4):28–36. (In Russ.)). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.4.7>
7. **Alshwekany S., Alarfaj Y.Y., Musaed S., Faraj F., Mahzari Q.A., Alhablani M., et al.** The impact of foot arch morphology on risk of overuse injuries in amateur runners: a prospective biomechanical study. *Journal of Posthumanism.* 2025;5(6):106–120. <https://doi.org/10.63332/joph.v5i6.1952>
8. **Mousavi S.H., Hijmans J., Minoonejad H., Rajabi R., Zwerwer J.** Factors associated with lower limb injuries in recreational runners: a cross-sectional survey including mental aspects and sleep quality. *J. Sports Sci. Med.* 2021;20(2):204–215. <https://doi.org/10.52082/jssm.2021.204>
9. **Stanković K., Booth B.G., Danckaers F., Burg F., Vermaelen P., Duerinck S., et al.** Three-dimensional quantitative analysis of healthy foot shape: a proof of concept study. *J. Foot Ankle Res.* 2018;11:8. <https://doi.org/10.1186/s13047-018-0251-8>
10. **Овсяник А.В.** Строение и типы стоп у студентов. В: Студенты и молодые ученые БГМУ — медицинской науке и здравоохранению Республики Беларусь: сб. науч. тр. студентов и молодых ученых. Минск; 2024, с. 83–85. [**Ovsyanik A.V.** Structure and types of feet in students. In: Students and young scientists of BSMU — medical science and healthcare of the Republic of Belarus: sb. науч. тр. студентов и молодых ученых. Минск; 2024, с. 83–85. (In Russ.))

- nik A.V.** Structure and types of students' feet. In: Students and young scientists of BSMU — to medical science and health-care of the Republic of Belarus: collection of scientific papers of students and young scientists. Minsk; 2024, pp. 83–85. (In Russ.).
- Sharma D., Agarwal P., Singh M.** Determination of types of foot in the Indian population and its association with ingrowing toenail. *J. Foot Ankle Surg. (Asia-Pacific)*. 2018;5(1):13–15. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10040-1082>
  - Vounotrypidis P., Noutsou P.** The Greek foot: is it a myth or reality? An epidemiological study in Greece and connections to past and modern global history. *Rheumatology (Oxford)*. 2015;54(Suppl 1):i182–i183. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/kev091.027>
  - Liliana A.** Immediate effects of the metatarsal dome element on the overload of the central metatarsals in young subjects. *Prog. Orthop. Sci.* 2024;10(4):100–112. [https://doi.org/10.47363/pos/2024\(10\)182](https://doi.org/10.47363/pos/2024(10)182)
  - Ferreira M., Nuñez-Samper M., Viladot R., Ruiz J., Isidro A., Ibáñez L.** What do we know about hallux valgus pathogenesis? *J. Foot Ankle.* 2020;14(3):223–230. <https://doi.org/10.30795/jfootankle.2020.v14.1202>
  - Александров Ю.М., Дьячкова Г.В.** Диагностика деформаций в области коленного сустава (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2012;(1):146–152. [Aleksandrov Yu.M., Diachkova G.V. Diagnostics of the knee zone deformities (Review of the literature). *Genij Ortopedii*. 2012;(1):146–152. (In Russ.)].
  - Ghorbani M., Yaali R., Sadeghi H.** Targeted exercise improves functional movement performance and alters movement screening relationships in females with flexible flatfeet. *Sci. Rep.* 2025;15(1):44472. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-28174-4>
  - Fukano M., Nakagawa K., Inami T., Higashihara A., Iizuka S., Narita T., Maemichi T., Yoshimura A., Yamaguchi S., Iso S.** Increase in foot arch asymmetry after full marathon completion. *J. Sports Sci.* 2021;39(21):2468–2474. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1939965>

#### Информация об авторах:

**Чупа Илья Вадимович\***, аспирант кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119048, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2; спортивный врач АНО «Клиника спортивной медицины “Лужники”», Россия, 119048, Москва, ул. Лужники, 24, стр. 1. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0662-8023> (i@ichupa.ru)

**Ачкасов Евгений Евгеньевич**, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой спортивной медицины и медицинской реабилитации ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119048, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9964-5199> (2215.g23@rambler.ru)

**Николенко Владимир Николаевич**, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой анатомии и гистологии человека ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119048, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2; заведующий кафедрой нормальной и топографической анатомии факультета фундаментальной медицины ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9532-9957> (vn.nikolenko@yandex.ru)

**Гридин Леонид Александрович**, д.м.н., профессор, генеральный директор АО «Московский центр проблем здоровья при Правительстве Москвы», Россия, 119049, Москва, ул. Житная, 14, стр. 3. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4941-8876> (leonidgridin@yandex.ru)

**Куршев Владислав Викторович**, доцент кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации, ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, 119048, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2; главный врач АНО «Клиника спортивной медицины “Лужники”», Россия, 119048, Москва, ул. Лужники, 24, стр. 1 (kurshev-vlad@ya.ru)

**Медведева Анна Игоревна**, студент ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН им. Патриса Лумумбы), Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1151-3050> (smirnula1@yandex.ru)

#### Information about the authors:

**Ilya V. Chupa\***, PhD student, Department of Sports Medicine and Medical Rehabilitation of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 8, bldg. 2 Trubetskaya str., Moscow, 119048, Russia; Sports Medicine Physician of the “Luzhniki” Sports Medicine Clinic, 24 bldg. 1 Luzhniki str., Moscow, 119048, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0662-8023> (i@ichupa.ru)

**Evgeniy E. Achkasov**, Dr. Sci. (Med.), Prof., Head of the Department of Sports Medicine and Medical Rehabilitation of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 8, bldg. 2 Trubetskaya str., Moscow, 119048, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9964-5199> (2215.g23@rambler.ru)

**Vladimir N. Nikolenko**, Dr. Sci. (Med.), Prof., Head of the Human Anatomy and Histology Department, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 8, bldg. 2 Trubetskaya str., Moscow, 119048, Russia; Head of the Normal and Topographic Anatomy Department, Basic Medicine Faculty, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9532-9957> (vn.nikolenko@yandex.ru)

**Leonid A. Gridin**, Dr. Sci. (Med.), Prof., General manager of the Moscow Centre of Healthcares, 14/3 Zhitnaya str., Moscow, 119049, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4941-8876> (leonidgridin@yandex.ru)

**Vladislav V. Kurshev**, Assoc. Prof. of the Department of Sports Medicine and Medical Rehabilitation of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 8, bldg. 2 Trubetskaya str., Moscow, 119048, Russia; Chief Physician Sports Medicine Physician of the «Luzhniki» Sports Medicine Clinic, 24 bldg. 1 Luzhniki str., Moscow, 119048, Russia (kurshev-vlad@ya.ru)

**Anna I. Medvedeva**, Student, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1151-3050> (smirnula1@yandex.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## Posterior thigh muscles flexibility profiling: a comparative study of trail and road runners

*Farid Rahman<sup>1,\*</sup>, Muhammad Shamil Muwaffaq<sup>1</sup>, Rizqy Febriansyah<sup>1</sup>,  
Muhammad Raihan Ishad<sup>1</sup>, Azliyana Azizan<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>University Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Universiti Teknologi MARA, Shah Alam, Selangor, Malaysia

### ABSTRACT

**Purpose of the study:** To identify and analyse differences in posterior thigh muscles flexibility profiles between recreational runners on trail and road surfaces.

**Methods:** This study employed an observational cross-sectional design. The sampling technique used was purposive sampling, in which respondents were selected based on predefined inclusion and exclusion criteria. Posterior thigh muscles flexibility was assessed using an inclinometer through the Passive Straight Leg Raise (PSLR) test. Data were analysed using an independent *t*-test based on normality of distribution and homogeneity of variances.

**Results:** The *p*-value was 0.321 for the right posterior thigh muscles and 0.927 for the left, indicating no statistically significant differences in flexibility between groups.

**Conclusions:** The type of running surface did not demonstrate a measurable effect on posterior thigh muscle flexibility in the study population. The findings of this study underscore the importance of implementing targeted training programs aimed at both preventing injury and strengthening the posterior thigh muscles.

**Keywords:** trail surface, road surface, runner, posterior thigh muscles injury, exercise

**Conflict of interests:** the authors declare no conflicts of interest.

**For citation:** Rahman F, Muwaffaq M.S., Febriansyah R., Ishad M.R., Azizan A. Posterior thigh muscles flexibility profiling: a comparative study of trail and road runners. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2026;16(1):67–78. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.6>

**Received:** 22 July 2025

**Accepted:** 21 February 2026

**Online first:** 01 June 2026

**Published:** 20 June 2026

\*Corresponding author

## Оценка гибкости мышц задней группы бедра: сравнительное исследование бегунов по пересеченной местности и шоссе

Фарид Рахман<sup>1, \*</sup>, Мухаммад Шамиль Муваффах<sup>1</sup>, Ризки Фебрианшах<sup>1</sup>,  
Мухаммад Райхан Ишад<sup>1</sup>, Азлияна Азизан<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Университет Мухаммадия Суракарта, Суракарта, Индонезия

<sup>2</sup>Технологический университет MARA, Шах-Алам, Селангор, Малайзия

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** выявить и проанализировать различия в профилях гибкости мышц задней группы бедра у бегунов-любителей, бегающих по пересеченной местности и шоссе.

**Методы:** в этом наблюдательном поперечном исследовании участвовали 78 бегунов-любителей, отобранных с помощью целенаправленной выборки. Гибкость мышц задней группы бедра оценивалась с помощью инклинометра с помощью пассивного подъема прямой ноги. Данные анализировались с помощью независимого *t*-критерия после проверки на нормальность и однородность.

**Результаты:** обнаружено отсутствие статистически значимых различий в гибкости между правыми и левыми мышцами задней группы бедра ( $p = 0,321$  и  $p = 0,927$  соответственно).

**Выводы:** в ходе исследования не было выявлено значимого влияния типа поверхности для бега на гибкость мышц задней группы бедра у участников исследования. Отмечена важность внедрения тренировочной программы для укрепления и профилактики травматизма мышц задней группы бедра.

**Ключевые слова:** поверхность тропы, поверхность дороги, бегун, травма подколенного сухожилия, упражнение

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

**Для цитирования:** Рахман Ф., Муваффах М.Ш., Фебрианшах Р., Ишад М.Р., Азизан А. Оценка гибкости мышц задней группы бедра: сравнительное исследование бегунов по пересеченной местности и шоссе. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2026;16(1):67–78. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.6>

Поступила в редакцию: 22.06.2025

Принята к публикации: 22.02.2026

Online first: 01.06.2026

Опубликована: 20.06.2026

\*Автор, ответственный за переписку

### 1. Introduction

Running is an activity that has grown rapidly globally and in Indonesia over the past decade. Running activity increased by 39 % in 2023 compared to 2022, with 53 % of runners being amateurs [1]. Community growth is also evident, with the global running community projected to increase by 59 % in 2024 [2, 3]. The same trend is also occurring in Indonesia, with more than 80000 active runners recorded in 2024 [4, 5]. However, despite this growth, the average daily step count of Indonesians remains at 5375, well below the recommended 11000 to 12000 steps per day as recommended by National Institutes of Health (2020) [6–8]. Road running is the most popular due to its accessibility and safety, while trail running is growing rapidly thanks to the significant motivation of emotional well-being and closeness to nature [9–11].

Running, however, is a high-risk activity for musculo-skeletal injuries due to repetitive mechanical loading and training errors. The most common injuries include patello-femoral pain, iliotibial band syndrome, shin splints, plantar fasciitis, posterior thigh muscles strains, and Achilles tendinopathy. Posterior thigh muscles injuries are not most prevalent injury. However, this type of injury received significant attention, accounting for 5 to 15 percent of long-distance

running injuries [12–14], with incidence rates of 0.2 to 0.7 per 1000 training hours. This injury is more prevalent among high-mileage runners (more than 60 kilometers per week), athletes engaged in interval or trail running, and runners over the age of 35 [15].

Both trail and road runners are susceptible to posterior thigh muscles injuries. In road running, repetitive motion and acceleration contribute to strain risk, while in trail running, the risk is elevated during downhill movement, on slippery terrain, or in sudden directional changes, which involve high eccentric posterior thigh muscles loading [16–18]. Key factors in posterior thigh muscles injuries include muscle strength, the posterior thigh muscles-to-quadriceps (H/Q) ratio, previous injury history, and particularly posterior thigh muscles flexibility [19, 20].

Furthermore, some studies show that flexibility can reduce posterior thigh muscles injuries during running activities. Additionally, a review by Afonso et al. (2021) [21] states that posterior thigh muscles flexibility is still not a significant risk factor for injury. However, biomechanical studies show that muscles with poorer flexibility have lower force absorption capacity, thereby increasing the incidence of injury, especially during stretching.

Research comparing posterior thigh muscles flexibility in trail and road running remains limited. Existing studies have mostly addressed movement mechanics, load distribution, muscle activation, neuromuscular responses, and injury risk. However, the distinct biomechanical demands of each surface, including ground impact, posterior thigh muscles activity, and gait patterns, may influence posterior thigh muscles strain differently. This makes it a relevant area for further investigation [22–24].

Analysing posterior thigh muscles flexibility in trail and road runners is essential for guiding physiotherapists in developing targeted injury prevention and rehabilitation strategies. The findings may also support decisions during the return-to-sport phase by identifying suitable terrains based on post-injury functional outcomes and recurrence risk. Moreover, these insights can inform coaches in designing training periodisation that combines both surfaces [25–28].

The aim of the study was to identify and analyse the differences in posterior thigh muscles flexibility profiles between trail and road runners. The hypothesis of this study is that different running surfaces, namely road surfaces and cross-country terrain, may result in differences in mechanical load and in the regulation of the musculoskeletal and neuromuscular systems. However, there is no significant difference in the elasticity (flexibility) of the posterior thigh muscles between runners who train regularly on one type of surface and those who train regularly on another surface.

## 2. Literature Review

### 2.1. Road Running

Road running involves running on asphalt or concrete and is classified as a high-impact aerobic exercise that engages large muscle groups to enhance cardiovascular fitness. Bearbero reported that endurance and strength training improve running economy,  $VO_2$  max, and gait efficiency [29, 30]. Furthermore, research by Singh in 2022 found that outdoor running is more effective than treadmill running for improving fitness and muscle mass [31].

The flat contour of road surfaces makes running more stable and predictable, with shorter stride length and ground contact time. Muscle activation is primarily driven by large muscle groups such as the gluteus, posterior thigh muscles, and quadriceps, requiring relatively simple coordination [32, 33].

### 2.2. Trail Running

Trail running is an activity that involves running in natural environments, typically not on roads, but rather on trails characterised by forests, mountains, hills, or mixed terrain. This activity emphasises the body's adaptation to uneven and unstable routes and surfaces with elevation differences, obstacles, and challenges [34].

Similar to road running, trail running also offers significant health benefits. Trail running trains the cardiovascular system's ability to optimise aerobic capacity and endurance through uneven terrain and track inclines. Furthermore, this activity can also enhance mental well-being, as scientific

studies show that exposure to nature can reduce cortisol levels (stress hormones), anxiety, and depression symptoms. During the activity, the mind tends to focus and concentrate, reducing negative thoughts and positively affecting mood. Due to its uneven terrain and inclines, trail running increases metabolic energy expenditure or energy use compared to regular running on flat surfaces or using a treadmill, making it an excellent programme for individuals pursuing an ideal body weight [35–38].

The terrain in trail running consists of irregular surfaces like rocks, soil, and roots, which demand greater balance and dynamic stability. This results in shorter, more variable strides and longer ground contact time for stabilisation. The activity engages stabiliser muscles such as the tibialis posterior, peroneus, and core muscles, requiring more complex movement coordination and environmental responsiveness [39, 40, 41].

### 2.3. Biomechanical load of road running and trail running

Trail and road running have different surface characteristics, which result in different demands and physical exertion. Therefore, it is crucial for the body to adapt to running on these surfaces (Table 1).

## 3. Methodology

### 3.1. Study design

This study used a cross-sectional approach to analyse posterior thigh muscles flexibility differences between trail and road runners. Data collection was conducted at a single time point with a sample of runners from the road runner and trail runner groups, who were members of running communities in the Special Region of Yogyakarta, Indonesia. This study was approved by the Health Research Ethics Committee (KEPK) of the Faculty of Health Sciences, UMS, with ethical approval number 4723/B.2/KEPK-FKUMS/I/2023.

### 3.2. Subjects

This study included 78 runners who underwent posterior thigh muscles flexibility assessments. The sample size was determined using G\*Power for an independent-samples *t*-test, with a significance level of 0.05, power of 80 %, and an expected effect size of 0.5, yielding 78 participants were selected using purposive sampling in accordance with predefined inclusion and exclusion criteria. Participants were grouped into trail and road runners based on their community registration data. Recruitment took place in September–October 2023, with data collection conducted from mid-November 2023 to mid-January 2024. Inclusion criteria for this study were:

1. All participants who ran more than 32.19 km per week over the past six months.
2. All participants who have run explicitly on hard surfaces (asphalt or concrete) and trail runners (hills) over the past 3 months.
3. Participants who were runners or joggers aged between 18 and 35 years at the time of recruitment.

Table 1

**Biomechanical load of trail and road running [38]**

Таблица 1

**Биомеханическая нагрузка при беге по пересеченной местности и шоссе [38]**

Variable	Road Running	Trail Running
Stride	Long and consistent strides due to flat surfaces	Short and quick strides, characterised by increased cadence and adjustments to varying terrain conditions
Contact Time	Generally shorter due to flat terrain, making running more efficient	Tends to be longer as runners are more cautious when stepping and landing
Impact Forces	Relatively high due to faster speeds and more complex surfaces	Relatively low due to slower speeds and more careful landing techniques
Joint Movements	Stable and predictable movements with minimal variation	More dominant characteristics include knee flexion and ankle dorsiflexion to adapt to the terrain
Running Economy	More effective and efficient due to consistent paths and minimal obstacles	Running economy tends to be lower than treadmill or road running due to the variability of the terrain
Biomechanical Variability	Relatively stable surfaces result in lower variability. However, longer stride patterns increase the risk of overuse injuries if not balanced with proper training	Constantly changing surfaces lead to high biomechanical variability. This increases the adaptive load and demands on neuromuscular performance

4. Chronic and acute musculoskeletal conditions experienced by participants in the past 6 months were exclusion criteria for this study.

**3.3. Outcomes**

The primary outcome was posterior thigh muscles flexibility, measured via passive straight leg raise (PSLR) test using and inclinometer, with good instrument reliability (ICC 0.81–0.88). A PSLR score > 800 indicated normal flexibility. Key exposure variables included previous injury history and weekly running distance over the past 3–6 months, assessed through self-reported questionnaires and fitness tracker data. To reduce bias, researchers used random sampling, validated instruments, and standardised measurement procedures.

**3.4. Procedure for measuring posterior thigh muscles flexibility with an inclinometer**

- a. Patient position:
  1. Patient position: supine lying on a mat or examination table.
  2. Both legs should be straight, with the knees and hips in full extension.
  3. Both arms should be relaxed at the sides of the body.
- b. Inclinometer preparation
 

The research team can ensure that the inclinometer is calibrated and the instrument is at 0 degrees when positioned on the tibia or femur.
- c. Movement manoeuvre
  1. The assessor passively lifts one leg (right or left) while ensuring knee extension and mobility occur at the hip joint.
  2. The assessor ensures the contralateral limb remains straight to prevent lifting or compensation, which can be manually held in place with a belt or by another assessor.

3. Ensure the inclinometer is aligned with the longitudinal line.

4. Pelvic stability was maintained throughout the procedure, and all measurements were conducted by the same assessor to ensure standardised testing conditions.

d. Results

1. The assessor records the angle the inclinometer displays (in degrees). Repeat the procedure once more to ensure reliability.
2. Repeat the procedure for the contralateral limb (if necessary) [42, 43]. Data on posterior thigh muscles flexibility were collected by the research team using the Passive Straight Leg Raise test with an inclinometer, as described above. Other primary exposure data were collected via an online questionnaire completed by the runners. All participants, divided into two groups, had equal opportunities to undergo measurements for both outcome data and characteristics or exposure.

**3.5. Data analysis**

Data in this study were analysed using SPSS version 26. Posterior thigh muscles flexibility was set as a continuous variable, and data distribution was assessed prior to inferential analysis. Variables with normal distribution were analysed using an independent samples *t*-test with a two-tailed significance level of  $p < 0.05$ , while the Mann–Whitney *U* test was applied when normality assumptions were not met. In addition to *p*-values, effect sizes were calculated using Cohen’s *d* to determine the magnitude of differences between groups, with values interpreted as small ( $\approx 0.2$ ), moderate ( $\approx 0.5$ ), or large ( $\geq 0.8$ ). Negligible effect sizes indicate limited practical or clinical differences despite statistical findings. Demographic characteristics, including runner

type and history of iliotibial band syndrome, were analysed descriptively using frequencies and percentages to support the interpretation and discussion of the results.

#### 4. Results

In October 2023, 177 runners from Yogyakarta-based communities were identified. Eighty-three met the inclusion criteria: aged 18–35 and running an average of 32.19 km per week over the past six months, with consistent engagement

in road or trail running. Ninety-four were excluded due to age ( $n = 68$ ), recent lower limb injuries ( $n = 12$ ), or refusal to participate ( $n = 14$ ). During follow-up, five participants were excluded due to incomplete data, yielding a final sample of 78 runners included in the analysis.

Descriptive analysis showed the mean age was  $27.67 \pm 4.76$  for road runners and  $23.36 \pm 4.72$  for trail runners (range: 18–34 years). Mean right posterior thigh muscles flexibility was  $95.89 \pm 14.04$  in road runners and  $92.69 \pm 13.66$  in trail

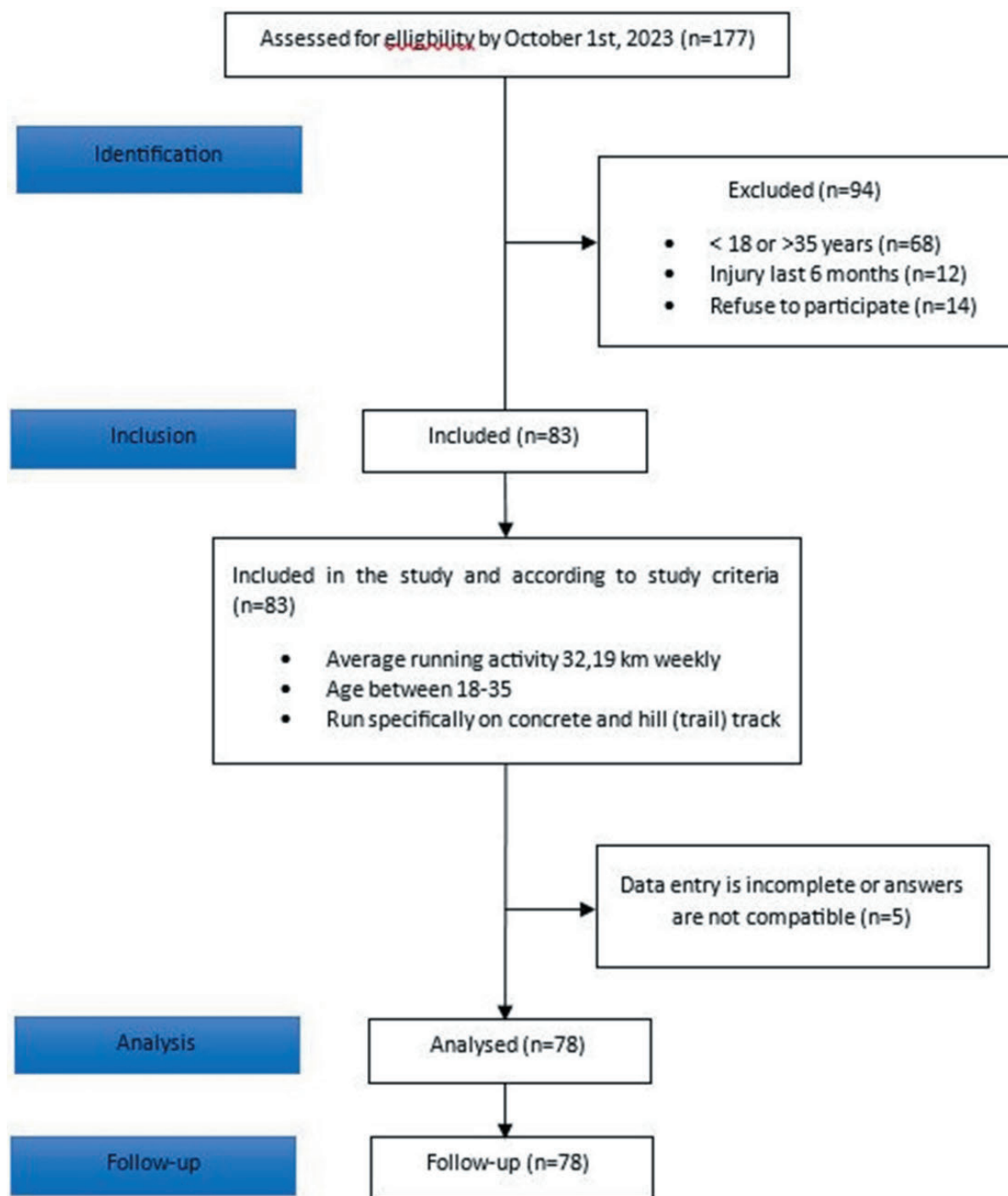


Fig. 1. Flow Chart Diagram for Research Sampling  
Рис. 1. Блок-схема выборки исследования

Table 2

**Descriptive Characteristics of Trail and Road Runners**

Таблица 2

**Описательные характеристики бегунов по пересеченной местности и шоссе**

Variable	Group A (Hard Surface Runners)						Group B (Trail Runners)					
	N	%	Mean ± SD	Min	Max	Sig*	N	%	Mean ± SD	Min	Max	Sig*
<b>Demographics</b>												
Age	39	100	27.67 ± 4.76	18	34		39	100	23.36 ± 4.72	18	34	
Weekly Running Distance (km/week)	39	100	37.05 ± 3.28	33	45		39	100	36.49 ± 3.14	33	43	
Posterior thigh muscles Flexibility												
Right Posterior thigh muscles Flexibility (°)	39	100	95.89 ± 14.04	65	130	0.64	39	100	92.69 ± 13.66	70	130	0.64
Left Posterior thigh muscles Flexibility (°)	39	100	93.97 ± 14.33	70	120		39	100	93.85 ± 14.35	65	120	
Injury History (> 6 months)												
Posterior thigh muscles Strain (+)												
Right	9	23.1	NA	NA	NA		15	38.5	NA	NA	NA	
Left	13	33.3	NA	NA	NA		13	33.3	NA	NA	NA	
Iliotibial band syndrome (+)												
Right	17	43.6	NA	NA	NA		13	33.3	NA	NA	NA	
Left	22	56.4	NA	NA	NA		26	66.7	NA	NA	NA	

Note: \* Homogeneity Test between Group A and B. \*\* The injury occurred more than six months ago and is no longer present. Mean ± SD = Average ± Standard Deviation; Min / Max = Minimum and Maximum values; Sig\* = Statistical significance value  $p > 0.05$ ; NA = Not Available (data not provided)  
 Примечание: \* Проверка однородности между группами А и В. \*\* Травма произошла более шести месяцев назад и в настоящее время отсутствует.  
 Mean ± SD = Среднее ± стандартное отклонение; Min / Max = минимальное и максимальное значения; Sig\* = статистическая значимость при  $p > 0.05$ ; NA = нет данных (данные не получены)

Table 3

**Comparison of Posterior thigh muscles Flexibility Between Trail and Road Runners**

Таблица 3

**Сравнение гибкости мышц задней группы бедра у бегунов по пересеченной местности и по шоссе**

Variable	Trail Runners (n = 39)	Road Runners (n = 39)	p-value	Effect Size (Cohen's d)
Right Posterior thigh muscles Flexibility	92.69 ± 13.66	95.89 ± 14.04	0.310	0.230
Left Posterior thigh muscles Flexibility	93.85 ± 14.35	93.97 ± 14.33	0.920	0.008

runners. Left posterior thigh muscles flexibility was similar between groups (road: 93.97 ± 14.33; trail: 93.85 ± 14.35), all within the normal range. Less than 40 % of participants in both groups had a prior posterior thigh muscles injury (> 6 months ago). Notably, iliotibial band syndrome (+) on the left side was reported by over 50 % of participants in both groups.

Analysis showed no significant differences in posterior thigh muscles flexibility between trail and road runners for either side (right:  $p = 0.310$ ; left:  $p = 0.920$ ). The mean right and left posterior thigh muscles flexibility in trail runners were 92.69 ± 13.66 and 93.85 ± 14.35, while in road runners were 95.89 ± 14.04 and 93.97 ± 14.33. An independent *t*-test was used for the right side (normal distribution), and the Mann-Whitney test for the left (non-normal distribution).

Effect sizes (Cohen's  $d = 0.230$  and  $0.008$ ) suggest negligible differences between groups.

**5. Discussion**

Most running injuries occur in the lower extremities, with posterior thigh muscles injuries accounting for 5–15 % of all running injuries. Although relatively low compared to other injuries, this condition can reduce running performance. Long-distance runners on any track face the same risk of increased posterior thigh muscles strain injuries, primarily due to the characteristics of long-distance running, which involves prolonged and repetitive activity, leading to muscle overload, particularly in the posterior thigh muscles, resulting in increased stiffness. This study found no difference in flexibility profiles

between runners on hard surfaces (concrete or asphalt) and trail runners. The workload characteristics of the running surface can explain this.

The posterior thigh muscles workload between trail and road runners appears relatively comparable due to shared fundamental characteristics such as load type, duration, intensity, muscle activation patterns, terrain influences, and injury risk; however, biomechanical analyses reveal distinct differences. Trail runners experience greater eccentric contraction loads, particularly when navigating downhill terrain, while road runners are exposed to consistent and repetitive workloads, including higher loading during sprints and constant speeds, in contrast to the slower pace, prolonged contraction durations, and increased stabilisation demands in trail running [24, 44].

Regarding posterior thigh muscles flexibility, the repetitive and rhythmic nature of road running may lead to muscle stiffness and shortening over time without adequate mobility exercises, whereas trail running encourages more varied posterior thigh muscles activation due to terrain gradients, elevation changes, and stride adaptations. Nonetheless, the high eccentric contraction demands in trail running can also increase the risk of tightness if recovery is inadequate [24, 44, 45].

Running on hard surfaces such as asphalt and concrete causes greater impact forces than other surfaces, which leads to greater demands on muscles and joints, including the posterior thigh muscles. The ability to absorb impact, especially on the knee joints on these surfaces, can increase posterior thigh muscles stiffness when done repeatedly and for long periods of time [46].

Conversely, trail running surfaces with uphill and downhill inclines demand varied posterior thigh muscles activity, involving concentric contractions during ascent and eccentric contractions during descent, the latter contributing to increased muscle strain. This variation results in a comparable risk of repetitive microtrauma and reduced posterior thigh muscles flexibility over time, similar to that observed in hard-surface runners. These biomechanical differences underscore the importance of incorporating flexibility training for the lower extremities in running programmes to mitigate injury risk [47, 48].

According to Sanchez's 2023 study, among three types of running surfaces, concrete, synthetic track, and grass, the highest average and peak acceleration occurred on concrete, leading to greater biomechanical load on the lower limbs. Peak acceleration on concrete was approximately 36 percent higher than on synthetic track and grass. Runners on the concrete tend to exhibit fewer steps with longer strides, which often results in overstriding or excessive heel strike, increasing running acceleration and contributing to posterior thigh muscles overload [49, 50].

However, posterior thigh muscles injuries are not solely attributed to the running surface, as other contributing factors include footwear, running technique, foot strike, and landing patterns. Repeated ground contact during

landing may cause cumulative overload, potentially resulting in chronic posterior thigh muscles injuries.

Factors determining posterior thigh muscles flexibility quality include muscle imbalance between the posterior thigh muscles, glutes, quadriceps, and muscle strength. Research has found that runners with weak gluteus muscles tend to have posterior thigh muscles flexibility issues. Additionally, running form also affects posterior thigh muscles function. For example, poor running technique, such as overstriding or suboptimal pelvic performance, can increase posterior thigh muscles performance, as pelvic performance is related to overall lower limb efficiency. Running form is associated with foot strike pattern, cadence, body posture, and arm swing. Another factor is stretching habits. For instance, regular stretching can improve or maintain posterior thigh muscles function and flexibility. Dynamic stretching is recommended before running activities as it enhances posterior thigh muscles efficiency [51–53].

The study revealed a negative correlation between low posterior thigh muscles flexibility and peak strain during running, indicating that reduced flexibility leads to increased muscle strain and a higher risk of injury. Conversely, good flexibility enhances anterior pelvic tilt during both stance and swing phases, promoting optimal coordination between the gluteus and posterior thigh muscles to generate forward propulsion for improved running performance [54–56].

Additionally, a study by Skroce found no significant differences in static balance outcomes (BESS),  $VO_2$  Max prediction, or adaptations in functional characteristics such as speed and stride length. Trail running demands greater postural control and muscle activity due to its unstable terrain, while road running offers a stable, rhythmic activity that effectively stimulates cardiovascular responses, making it a safer option for beginners. Its predictable nature is particularly suitable for individuals initiating a running programme [16, 57].

The running surface influences how runners adjust their stride to maintain balance, with leg muscle stiffness varying depending on surface type. On hard surfaces like asphalt or concrete, leg stiffness tends to decrease, while on elastic surfaces such as grass or soil, stiffness increases. Both low and high levels of limb stiffness pose risks of injury to bones, ligaments, and muscles, including the posterior thigh muscles. Low stiffness can impair elastic movement control, reducing the muscles' and tendons' ability to absorb and regulate forces efficiently. Conversely, high stiffness often correlates with reduced muscle flexibility, which hinders movement efficiency and leads to unnatural running techniques, ultimately limiting the body's ability to adapt to changes in force and heel strike impact [58–61].

Reduced leg stiffness during running on harder or more complex surfaces, such as concrete, is associated with increased muscle activity to absorb impact and maintain stability, including greater activation of the posterior thigh muscles. In contrast, when leg stiffness increases during the late swing (eccentric) phase, the activity of the posterior thigh

muscles, particularly the semimembranosus, tends to be elevated [62, 63].

During running, the knee performs repetitive extension, especially at the end of the swing phase, when the posterior thigh muscles is maximally lengthened and contracts eccentrically to assist hip flexion and lower leg rotation. Running on sloped surfaces increases knee joint load and the risk of posterior thigh muscles injury. According to Park et al., a 19 % increase in knee extension moment over time contributes to injury by accumulating joint stress and fatigue [62]. Eccentric posterior thigh muscles activity intensifies during downhill or trail running, increasing workload and inflammation risk. This demands more negative work from the hip and knee. As downhill gradients grow, ankle force declines, shifting greater load to the knee. Trail runners should focus on knee flexion ROM training to boost negative work and stability on slopes.

Research indicates that running on moderately sloped surfaces, with inclination or declination angles of approximately 4 degrees or a grade of  $\pm 6.98$  %, does not significantly impact lower limb joint performance or ground reaction force (GRF), making such terrain safe for use in training or post-injury rehabilitation programmes [64].

However, posterior thigh muscles flexibility is not the sole factor contributing to posterior thigh muscles injuries. Studies have shown that while flexibility is indeed a risk factor, other elements such as gender, muscle imbalances, core stability, environmental conditions, fatigue, genetics, and a history of previous posterior thigh muscles injuries also play significant roles. Posterior thigh muscles injuries typically result from a combination of intrinsic and extrinsic factors; therefore, a comprehensive understanding of these variables is essential to develop effective and well-targeted prevention and intervention strategies [65].

Based on the results of this study, there are clinical practice implications regarding the role of physiotherapy for the characteristics of these two surfaces due to different biomechanical challenges. For runners who are used to hard surfaces (asphalt or concrete), physiotherapy can optimise running biomechanics analysis to identify inefficient movements and strategic training programmes for muscle strengthening to achieve balanced muscle function, especially in the gluteus, posterior thigh muscles, quadriceps, and calf muscles. This is an effort in the preventive programme for runners.

Preventive programmes serve not only to reduce injury risk but also to improve running performance. These programmes should be structured according to specific goals and focus on three essential components: strength, agility, and flexibility, all of which influence the risk of posterior

thigh muscles injury and support the correction of running form to ensure runner safety [66].

Additionally, physiotherapists should consider individual risk factors such as knee extension deficits, posterior thigh muscles-to-quadriceps strength ratio, and eccentric posterior thigh muscles strength. Evidence suggests that eccentric training programmes can reduce posterior thigh muscles injury risk by 56 to 70 percent, improving H/Q ratio balance, reducing asymmetry, and enhancing flexibility [67]. Thus, physiotherapy interventions should focus on individual risk profiles and prevention rather than symptoms and post-injury therapy.

The clinical practice implications for trail runners include training strategies that enhance physical capacity, particularly proprioception, balance, core strength, and efficient running form adapted to trail environments. These strategies are especially relevant for preventive programs to reduce the risk of posterior thigh muscles and other running-related injuries. In physiotherapy, the findings support the development of intervention and rehabilitation programs during the sport-specific, functional, and return-to-sport phases, as well as reinjury prevention. Additionally, the baseline data from this study can inform educational initiatives regarding the selection of running shoes that align with individual foot anatomy and running style [68, 69].

This study has several limitations. The sample size was relatively small, and several potential confounding factors were not considered, including training programs, footwear, stretching routines, running speed and form, prior injury history, muscle strength, anatomical variations, and gender. These variables may influence posterior thigh muscles flexibility both directly and indirectly. Although flexibility is important, it is only one component in a complex system related to injury risk. Focusing solely on flexibility, without considering elements such as muscle strength and neuromuscular coordination, is unlikely to significantly reduce posterior thigh muscles injury incidence. This study considers data on differences in exercise intensity or the type of shoes worn by respondents. The cross-sectional study design cannot show a causal relationship, only a correlation between variables. Future research should examine these factors in greater depth.

## 6. Conclusion

This study found that the type of running surface did not demonstrate a measurable effect on posterior thigh muscle flexibility in the study population. The findings of this study underscore the importance of implementing targeted training programs aimed at both preventing injury and strengthening the posterior thigh muscles.

### Authors' contribution

**Farid Rahman** — conceptualization, methodology, investigation, data collection and interpretation, writing — original draft, writing — editing, visualization, and project administration, formal analysis.

**Muhammad Shamil Muwaffaq** — conceptualization, methodology, investigation, writing — original draft, writing — editing, visualization, project administration, formal analysis.

**Rizqy Febriansyah** — conceptualization, methodology, investigation, writing — original draft, writing — editing, visualization, project administration, formal analysis.

**Muhammad Raihan Ishad** — conceptualization, methodology, writing — original draft, writing — editing, visualization, project administration, formal analysis.

**Azliyana Azizan** — conceptualization, methodology, data collection and interpretation, writing — original draft, writing — editing, visualization, and project administration, formal analysis.

### Вклад авторов

**Фарид Рахман** — разработка концепции, методология, проведение исследования, сбор и интерпретация данных, написание первоначального варианта статьи, редактирование текста, визуализация и управление проектом, формальный анализ.

**Мухаммад Шамиль Муваффақ** — разработка концепции, методология, проведение исследования, написание первоначального варианта статьи, редактирование текста, визуализация, управление проектом, формальный анализ.

**Ризки Фебрианья** — разработка концепции, методология, проведение исследования, написание первоначального варианта статьи, редактирование текста, визуализация, управление проектом, формальный анализ.

**Мухаммад Райхан Ишад** — разработка концепции, методология, проведение исследования, написание первоначального варианта статьи, редактирование текста, визуализация, управление проектом, формальный анализ.

**Азлияна Азизан** — разработка концепции, методология, проведение исследования, написание первоначального варианта статьи, редактирование текста, визуализация, управление проектом, формальный анализ.

### References / Список литературы

1. Popularity of Running Up 39% Year on Year Spurred By The Gen Z Zoom. Running Industry Alliance [internet]; 2024. Available at: <https://www.runningindustryalliance.com/great-run-popularity-of-running-up-39-year-on-year-spurred-by-the-gen-z-zoom/> (accessed 29 May 2025).
2. Strava Releases Annual Year in Sport Trend Report, Revealing That Working Out Is No Longer About Burning Out. Strava. Strava Press [internet]; 2024. Available at: [https://press.strava.com/articles/strava-releases-annual-year-in-sport-trend?utm\\_source](https://press.strava.com/articles/strava-releases-annual-year-in-sport-trend?utm_source) (accessed 29 May 2025).
3. Malchrowicz-Moško E., León-Guereño P., Tapia-Serrano M.A., Sánchez-Miguel P.A., Waśkiewicz Z. What Encourages Physically Inactive People to Start Running? An Analysis of Motivations to Participate in Parkrun and City Trail in Poland. *Front Public Health*. 2020;8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.581017>
4. Ali H. Garmin Fitness Report 2024: Lari, Tennis dan Golf Paling Digemari di Indonesia. *tabloidpulsa.id* [internet]; 24 December 2024. Available at: <https://tabloidpulsa.id/garmin-fitness-report-2024-lari-tenis-dan-golf-paling-digemari-di-indonesia/> (accessed 29 May 2025).
5. Arradian D. Data Garmin: Demam Lari Melanda Indonesia, Jumlah Pelari Meningkatkan 3 Kali Lipat di 2024. *SindoNews* [internet]; 10 Juli 2024. Available at: <https://tekno.sindonews.com/read/1412413/123/data-garmin-demam-lari-melanda-indonesia-jumlah-pelari-meningkat-3-kali-lipat-di-2024-1720526856?> (accessed 29 May 2025).
6. Garmin Ungkap Tren Kebugaran di Tahun 2024: Lari, Tennis, dan Golf Jadi Olahraga Favorit di Indonesia. *Trendtech Indonesia* [internet]; 25 December 2024. Available at: <https://trendtech.id/garmin-fitness-report-2024/> (accessed 29 May 2025).
7. Higher daily step count linked with lower all-cause mortality. *National Institutes of Health* [internet]; 24 March 2020. Available at: <https://www.nih.gov/news-events/news-releases/higher-daily-step-count-linked-lower-all-cause-mortality> (accessed 29 May 2025).
8. Barraclough A. 20 surprising things we learned from the RW Running Survey 2023. *Runner's World* [internet]; 20 September 2023. Available at: <https://www.runnersworld.com/uk/news/a45036050/runners-world-running-survey-2023/> (accessed 02 June 2025).
9. Huo X., Tian H., Wang Z., Xu J., Tang Z. Recreation specialization and leisure satisfaction among long-distance running: an examination of the mediating role of place dependence and place identity. *Front. Psychol.* 2025;16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1543861>
10. Bratman G.N., Hamilton J.P., Hahn K.S., Daily G.C., Gross J.J. Nature experience reduces rumination and subgenual prefrontal cortex activation. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2015;112(28):8567–8572. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510459112>
11. Alnaim M.M., Mesloub A., Alalouch C., Noaime E. Reclaiming the Urban Streets: Evaluating Accessibility and Walkability in the City of Hail's Streetscapes. *Sustainability*. 2025;17(7):3000. <https://doi.org/10.3390/su17073000>
12. Lopes A.D., Hespanhol L.C., Yeung S.S., Costa L.O.P. What are the Main Running-Related Musculoskeletal Injuries? *Sports Med.* 2012;42(10):891–905. <https://doi.org/10.1007/BF03262301>
13. Hsu C.L., Yang C.H., Wang J.H., Liang C.C. Common Running Musculoskeletal Injuries and Associated Factors among Recreational Gorge Marathon Runners: An Investigation from 2013 to 2018 Taroko Gorge Marathons. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020;17(21):8101. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218101>
14. Fredette A., Roy J.S., Perreault K., Dupuis F., Napier C., Esculier J.F. The Association Between Running Injuries and Training Parameters: A Systematic Review. *J. Athl. Train.* 2022;57(7):650–671. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0195.21>
15. Maniar N., Carmichael D.S., Hickey J.T., Timmins R.G., San Jose A.J., Dickson J., et al. Incidence and prevalence of hamstring injuries in field-based team sports: a systematic review and meta-analysis of 5952 injuries from over 7 million exposure hours. *Br. J. Sports Med.* 2023;57(2):109–116. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-104936>
16. Drum S.N., Rappel L., Held S., Donath L. Effects of Trail Running versus Road Running—Effects on Neuromuscular and Endurance Performance—A Two Arm Randomized Controlled

- Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2023;20(5):4501. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054501>
17. **Jiang X., Sárosi J., Bíró I.** Characteristics of Lower Limb Running-Related Injuries in Trail Runners: A Systematic Review. *Physical Activity and Health*. 2024;8(1):137–47. <https://doi.org/10.5334/paah.375>
  18. **Kakouris N., Yener N., Fong D.T.P.** A systematic review of running-related musculoskeletal injuries in runners. *J. Sport Health Sci*. 2021;10(5):513–522. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.04.001>
  19. **Mizutani Y., Taketomi S., Kawaguchi K., Takei S., Yamagami R., Kono K., et al.** Risk factors for hamstring strain injury in male college American football players -a preliminary prospective cohort study. *BMC Musculoskelet. Disord*. 2023;24(1):448. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06565-w>
  20. **Безуглов Э.Н., Хайтин В.Ю., Этемад О.А., Лебеденко Е.О., Гринченко А.П., Филимонова А.М.** Актуальные классификации мышечных травм: преимущества и недостатки. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(2):45–57. [**Bezuglov E.N., Khaitin V.Yu., Etemad O.A., Lebedenko E.O., Grinchenko A.P., Filimonova A.M.** Current classifications of muscle injuries: strengths and limitations. *Sports medicine: research and practice*. 2024;14(2):45–57. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.3>
  21. **Afonso J., Rocha-Rodrigues S., Clemente F.M., Aquino M., Nikolaidis P.T., Sarmiento H., et al.** The Hamstrings: Anatomic and Physiologic Variations and Their Potential Relationships With Injury Risk. *Front. Physiol*. 2021;12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.694604>
  22. **Hespanhol Junior L.C., van Mechelen W., Postuma E., Verhaegen E.** Health and economic burden of running-related injuries in runners training for an event: A prospective cohort study. *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 2016;26(9):1091–1099. <https://doi.org/10.1111/sms.12541>
  23. **Millet G.Y., Tomazin K., Verges S., Vincent C., Bonnefoy R., Boisson R.C., et al.** Neuromuscular Consequences of an Extreme Mountain Ultra-Marathon. *PLoS One*. 2011;6(2):e17059. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017059>
  24. **Vernillo G., Giandolini M., Edwards W.B., Morin J.B., Samozino P., Horvais N., et al.** Biomechanics and Physiology of Uphill and Downhill Running. *Sports Med*. 2017;47(4):615–629. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0605-y>
  25. **Opar D.A., Williams M.D., Shield A.J.** Hamstring Strain Injuries. *Sports Med*. 2012;42(3):209–226. <https://doi.org/10.2165/11594800-000000000-00000>
  26. **Ayala F., López-Valenciano A., Gámez Martín J.A., De Ste Croix M., Vera-García F., García-Vaquero M., et al.** A Preventive Model for Hamstring Injuries in Professional Soccer: Learning Algorithms. *Int. J. Sports Med*. 2019;40(05):344–353. <https://doi.org/10.1055/a-0826-1955>
  27. **Kamandulis S., Cadefau J.A., Snieckus A., Mickevicius M., Lukonaitiene I., Muanjai P., et al.** The effects of high-velocity hamstring muscle training on injury prevention in football players. *Front. Physiol*. 2023;14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1219087>
  28. **Безуглов Э.Н., Малякин Г.И., Этемад О.А., Баранова Д.С., Виноградов М.А., Гончаров Е.Н.** Эпидемиология травматизма в ведущей футбольной команде Российской премьер-лиги в соревновательных сезонах 2021–2022 и 2023–2024. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(4):13–20. [**Bezuglov E.N., Malyakin G.I., Etemad O.A., Baranova D.S., Vinogradov M.A., Goncharov E.N.** Injury epidemiology of the Russian Premier League leading soccer team during the competitive seasons 2021–2022 and 2023–2024. *Sports medicine: research and practice*. 2025;14(4):13–20. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.4.5>
  29. **Rodríguez-Barbero S., González-Ravé J.M., Vanwanseele B., Juárez Santos-García D., Muñoz de la Cruz V., González-Mohino F.** Effects of 20 Weeks of Endurance and Strength Training on Running Economy, Maximal Aerobic Speed, and Gait Kinematics in Trained Runners. *Applied Sciences*. 2025;15(2):903. <https://doi.org/10.3390/app15020903>
  30. **Selandani A.A., Rahman F.** Effects of aerobic interval training on heart rate recovery (HRR) and blood A pressure in overweight young adults. *Sports medicine: research and practice*. 2025;15(1):17–25. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.1.3>
  31. **Singh G., Kushwah G., Singh T., Ramírez-Campillo R., Thapa R.K.** Effects of six weeks outdoor *versus* treadmill running on physical fitness and body composition in recreationally active young males: a pilot study. *PeerJ*. 2022;10:e13791. <https://doi.org/10.7717/peerj.13791>
  32. **Giandolini M., Horvais N., Rossi J., Millet G.Y., Morin J.-B., Samozino P.** Effects of the foot strike pattern on muscle activity and neuromuscular fatigue in downhill trail running. *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 2017;27(8):809–819. <https://doi.org/10.1111/sms.12692>
  33. **Selvakumar S., Li S.M., Fahey P., Cheung R.T.H.** Effect of surface inclination on vertical loading rate and footstrike pattern in trail and road runners. *Sports Biomech*. 2025;24(11):3242–3251. <https://doi.org/10.1080/14763141.2023.2278163>
  34. **Perrotin N., Gardan N., Lesprillier A., Le Goff C., Seigneur J.M., Abdi E., et al.** Biomechanics of Trail Running Performance: Quantification of Spatio-Temporal Parameters by Using Low Cost Sensors in Ecological Conditions. *Applied Sciences*. 2021;11(5):2093. <https://doi.org/10.3390/app11052093>
  35. **Bircher S., Enggist A., Jehle T., Knechtle B.** Effects of an extreme endurance race on energy balance and body composition — a case study. *J. Sports Sci. Med*. 2006;5(1):154–162.
  36. **Brosky N.T., Martin C.K., Burton J.H., Church T.S., Ravussin E., Redman L.M.** Effect of Aerobic Exercise-induced Weight Loss on the Components of Daily Energy Expenditure. *Med. Sci. Sports Exerc*. 2021;53(10):2164–2172. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002689>
  37. **Fruchart E.** Judgments of happiness during trail running: Pleasure, engagement, and meaning. *Psychol. Sport Exerc*. 2021;55:101938. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.101938>
  38. **Jiménez-Redondo G., Castro-Frecha B., Martínez-Noguera F.J., Alcaraz P.E., Marín-Pagán C.** Physiological Responses in Trail Runners during a Maximal Test with Different Weighted-Vest Loads. *Sports*. 2024;12(7):189. <https://doi.org/10.3390/sports12070189>
  39. **Vermand S., Ferrari F.J., Cherdo F., Garson C., Lavenant M., Alex M.C., et al.** Running biomechanical alterations during a 40-km mountain race. *J. Sports Med. Phys. Fitness*. 2022;62(10):1323–1328. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.22.13049-5>
  40. **Easthope C.S., Hausswirth C., Louis J., Lepers R., Vercauysen F., Brisswalter J.** Effects of a trail running competition on muscular performance and efficiency in well-trained young and master athletes. *Eur. J. Appl. Physiol*. 2010;110(6):1107–1116. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1597-1>
  41. **Brukner P., Khan K.** EBOOK *Brukner & Khan's Clinical Sports Medicine* [internet]. McGraw-Hill Education; 2019. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=G76ZDwAAQBAJ>

42. **Medeiros D., Miranda L., Marques V., Ribeiro-Alvares J., Baroni B.** Accuracy of the Functional Movement Screen (FMSTM) Active Straight Leg Raise Test to Evaluate Hamstring Flexibility in Soccer Players. *Int. J. Sports Phys. Ther.* 2019;14:877–884. <https://doi.org/10.26603/ijsp20190877>
43. **Aspetar Hamstring Protocol.** Aspetar [internet]; 2025. Available at: <https://www.aspetar.com/en/professionals/aspetar-clinical-guidelines/aspetar-hamstring-protocol> (accessed 06 June 2025).
44. **Trama R., Blache Y., Hintzy F., Rossi J., Millet G.Y., Hautier C.** Does neuromuscular fatigue generated by trail running modify foot-ground impact and soft tissue vibrations? *Eur. J. Sport Sci.* 2023;23(7):1155–1163. <https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2093649>
45. **Pradas E., Falcón D., Peñarrubia-Lozano C., Toro-Román V., Carrasco L., Castellar C.** Effects of Ultratrail Running on Neuromuscular Function, Muscle Damage and Hydration Status. Differences According to Training Level. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021;18(10):5119. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105119>
46. **Tessutti V., Ribeiro A.P., Trombini-Souza F., Sacco I.C.N.** Attenuation of foot pressure during running on four different surfaces: asphalt, concrete, rubber, and natural grass. *J. Sports Sci.* 2012;30(14):1545–1550. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.713975>
47. **Eston R.G., Mickleborough J., Baltzopoulos V.** Eccentric activation and muscle damage: biomechanical and physiological considerations during downhill running. *Br. J. Sports Med.* 1995;29(2):89–94. <https://doi.org/10.1136/bjism.29.2.89>
48. **Kellis E., Blazeovich A.J.** Hamstrings force-length relationships and their implications for angle-specific joint torques: a narrative review. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 2022;14(1):166. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00555-6>
49. **Ferro-Sánchez A., Martín-Castellanos A., de la Rubia A., García-Aliaga A., Hontoria-Galán M., Marquina M.** An Analysis of Running Impact on Different Surfaces for Injury Prevention. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2023;20(14):6405. <https://doi.org/10.3390/ijerph20146405>
50. **Waite N., Goetschius J., Lauver J.D.** Effect of Grade and Surface Type on Peak Tibial Acceleration in Trained Distance Runners. *J. Appl. Biomech.* 2021;37(1):2–5. <https://doi.org/10.1123/jab.2020-0096>
51. **Jaotawipart S., Kuruma H., Matsumoto T., Tsutsumi S., Takashina H., Iwamoto N., et al.** Comparing activity of the gluteus maximus and hamstring muscles in fatigue conditions between hamstring injury-experienced and inexperienced individuals. *J. Bodyw. Mov. Ther.* 2024;40:1693–1701. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2024.09.008>
52. **Wang V.Z.** Hamstring Strain in Sprinting Athletes: Biomechanics, Risk Factors, and Injury Prevention Strategies. *Theoretical and Natural Science.* 2025;68(1):204–214. <https://doi.org/10.54254/2753-8818/2025.20270>
53. **Silva M.P., Fonseca P., Fernandes R.J., Conceição F.** Is Running Technique Important to Mitigate Hamstring Injuries in Football Players? *Applied Sciences.* 2024;14(24):11643. <https://doi.org/10.3390/app142411643>
54. **Wan X., Qu F., Garrett W.E., Liu H., Yu B.** The effect of hamstring flexibility on peak hamstring muscle strain in sprinting. *J. Sport Health Sci.* 2017;6(3):283–289. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2017.03.012>
55. **Wan X., Li S., Best T.M., Liu H., Li H., Yu B.** Effects of flexibility and strength training on peak hamstring musculotendinous strains during sprinting. *J. Sport Health Sci.* 2021;10(2):222–229. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.08.001>
56. **Longo U.G., Steliano G., Berton A., Candela V., Barneschi G., Marescalchi M., et al.** 2019 Rome Marathon, hamstring injuries in long distance runners: influence of age, gender, weight, height, number of marathons and impact profile. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2021;61(12):1653–1660. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.21.12027-4>
57. **Skroce K., Bettega S., D’Emanuele S., Boccia G., Schena F., Tarperi C.** Flat Versus Simulated Mountain Trail Running: A Multidisciplinary Comparison in Well-Trained Runners. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2023;20(6):5189. <https://doi.org/10.3390/ijerph20065189>
58. **Huygaerts S., Cos F., Cohen D.D., Calleja-González J., Guittart M., Blazeovich A.J., et al.** Mechanisms of Hamstring Strain Injury: Interactions between Fatigue, Muscle Activation and Function. *Sports.* 2020;8(5):65. <https://doi.org/10.3390/sports8050065>
59. **Danielsson A., Horvath A., Senorski C., Alentorn-Geli E., Garrett W.E., Cugat R., et al.** The mechanism of hamstring injuries – a systematic review. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2020;21(1):641. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03658-8>
60. **Davis J.J., Gruber A.H.** Leg Stiffness, Joint Stiffness, and Running-Related Injury: Evidence From a Prospective Cohort Study. *Orthop. J. Sports Med.* 2021;9(5):23259671211011213. <https://doi.org/10.1177/23259671211011213>
61. **Tokutake G., Kuramochi R., Murata Y., Enoki S., Koto Y., Shimizu T.** The Risk Factors of Hamstring Strain Injury Induced by High-Speed Running. *J. Sports Sci. Med.* 2018;17(4):650–655.
62. **Park S.K., Jeon H.M., Lam W.K., Stefanyshyn D., Ryu J.** The effects of downhill slope on kinematics and kinetics of the lower extremity joints during running. *Gait Posture.* 2019;68:181–186. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.11.007>
63. **Suskens J.J.M., Tol J.L., Kerkhoffs G.M.M.J., Maas H., van Dieën J.H., Reurink G.** Activity distribution among the hamstring muscles during high-speed running: A descriptive multichannel surface EMG study. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2023;33(6):954–965. <https://doi.org/10.1111/sms.14326>
64. **Telhan G., Franz J.R., Dicharry J., Wilder R.P., Riley P.O., Kerrigan D.C.** Lower Limb Joint Kinetics During Moderately Sloped Running. *J. Athl. Train.* 2010;45(1):16–21. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-45.1.16>
65. **van Dyk N., Bahr R., Burnett A.F., Whiteley R., Bakken A., Mosler A., et al.** A comprehensive strength testing protocol offers no clinical value in predicting risk of hamstring injury: a prospective cohort study of 413 professional football players. *Br. J. Sports Med.* 2017;51(23):1695–1702. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097754>
66. **Sugiura Y., Sakuma K., Fujita S., Sakuraba K.** Hamstring Injury Prevention Program and Recommendation for Stride Frequency during Tow-Training Optimization. *Applied Sciences.* 2021;11(14):6500. <https://doi.org/10.3390/app11146500>
67. **Geraci A., Mahon D., Hu E., Cervantes J.E., Nho S.J.** Prevention and Rehabilitation of the Athletic Hamstring Injury. *Arthrosc. Sports Med. Rehabil.* 2025;7(2):101021. <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2024.101021>
68. **Hakam H.T., Kentel M., Kowal M., Królikowska A., Reichert P., Daszkiewicz M., et al.** Antigravity treadmill training after knee surgery: A scoping review. *Adv. Clin. Exp. Med.* 2024;34(6):1011–1024. <https://doi.org/10.17219/acem/189612>
69. **Vincent H.K., Madsen A., Vincent K.R.** Role of Antigravity Training in Rehabilitation and Return to Sport After Running Injuries. *Arthrosc. Sports Med. Rehabil.* 2022;4(1):e141–e149. <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2021.09.031>

**Information about the authors:**

**Farid Rahman\***, M.Or., Associate Professor, Department of Physiotherapy, University Muhammadiyah Surakarta. Jl. a. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura, Surakarta, Indonesia, 57162. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7397-4306> (farid.rahman@ums.ac.id)

**Muhammad Shamil Muwaffaq**, Student, Department of Physiotherapy, University Muhammadiyah Surakarta. Jl. a. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura, Surakarta, Indonesia, 57162. (j130235056@student.ums.ac.id)

**Rizqy Febriansyah**, Student, Department of Physiotherapy, University Muhammadiyah Surakarta. Jl. a. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura, Surakarta, Indonesia, 57162. (j130235127@student.ums.ac.id)

**Muhammad Raihan Ishad**, Student, Department of Physiotherapy, University Muhammadiyah Surakarta. Jl. a. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura, Surakarta, Indonesia, 57162. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4326-9640> (j120229240@student.ums.ac.id)

**Azliyana Azizan**, PT, PhD, Senior Lecturer, Centre of Physiotherapy, Faculty of Health Sciences, Universiti Teknologi MARA, Jalan Ilmu 1/1, Shah Alam, Selangor, 40450, Malaysia. (azliyana9338@uitm.edu.my)

**Информация об авторах:**

**Фарид Рахман\***, магистр физиотерапии, доцент кафедры физиотерапии Университета Мухаммадия Суракарта. Jl. А. Яни Тромол Пос 1 Пабелан, Каргасура, Суракарта, Индонезия, 57162. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7397-4306> (farid.rahman@ums.ac.id)

**Мухаммад Шамиль Муваффақ**, студент, кафедра физиотерапии, Университет Мухаммадия Суракарта. Jl. а. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Каргасура, Суракарта, Индонезия, 57162. (j130235056@student.ums.ac.id)

**Ризки Фербрианшах**, студент, кафедра физиотерапии, Университет Мухаммадия Суракарта. Jl. а. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Каргасура, Суракарта, Индонезия, 57162. (j130235127@student.ums.ac.id)

**Мухаммад Райхан Ишад**, студент, кафедра физиотерапии, Университет Мухаммадия Суракарта. Jl. а. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Каргасура, Суракарта, Индонезия, 57162. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4326-9640> (j120229240@student.ums.ac.id)

**Азлияна Азизан**, PT, PhD, старший преподаватель, Центр физиотерапии, Факультет медицинских наук, Университет Технологии Мара, Jalan Ilmu 1/1, Шах Алам, Селангор, 40450, Малайзия. (azliyana9338@uitm.edu.my)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author





## ЦЕНТР МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ СЕЧЕНОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

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



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

