



ФНКЦ РР

ISSN 2658-6843 (Print)
ISSN 2949-1436 (Online)

Том 7, № 1
МАРТ 2025

**ФИЗИЧЕСКАЯ
И РЕАБИЛИТАЦИОННАЯ
МЕДИЦИНА,
МЕДИЦИНСКАЯ
РЕАБИЛИТАЦИЯ**

PHYSICAL AND REHABILITATION
MEDICINE, MEDICAL REHABILITATION

Официальное научное издание
специализированной медицинской прессы для врачей

Подписной индекс 71395

УЧРЕДИТЕЛИ

- ФГБНУ «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии»
- ООО «Эко-Вектор»
Свидетельство о регистрации СМИ
ПИ № ФС77-74092 от 10.19.2018

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Эко-Вектор»

Адрес: 191181, Санкт-Петербург,
Аптекарский переулок, д. 3, литера А,
помещение 1Н

E-mail: info@eco-vector.com

WEB: https://eco-vector.com

РЕКЛАМА

Отдел рекламы

Тел.: +7 (968) 545 78 20

E-mail: adv2@eco-vector.com

РЕДАКЦИЯ

Зав. редакцией

Ульяна Григорьевна Пугачёва

E-mail: upugacheva@yandex.ru

Адрес: 107031, Москва,

ул. Петровка, д. 25, стр. 2

https://journals.eco-vector.com/2658-6843

ПОДПИСКА

Подписка на печатную версию
через интернет:

- www.journals.eco-vector.com
- www.akc.ru
- www.pressa-rf.ru

ОТКРЫТЫЙ ДОСТУП

В электронном виде журнал
распространяется бесплатно —
в режиме немедленного
открытого доступа

ИНДЕКСАЦИЯ

- РИНЦ
- Google Scholar
- Ulrich's International Periodicals Directory
- WorldCat

Журнал включён в перечень
периодических изданий ВАК,
в которых рекомендована публикация
работ соискателей учёных степеней
кандидата и доктора наук

ОРИГИНАЛ-МАКЕТ

подготовлен в издательстве «Эко-Вектор».

Литературный редактор: *М.Н. Шошина*

Корректор: *М.Н. Шошина*

Вёрстка: *Е.А. Трухтанова*

Сдано в набор 14.03.2025.

Подписано в печать 31.01.2025.

Выход в свет 09.04.2025.

Формат 60 × 88%. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 10,6.

Цена свободная.

Тираж 500 экз. Заказ № 5-3246-lv.

Отпечатано в ООО «Типография Экспресс В2В»
191180, Санкт-Петербург, наб. реки Фонтанки,
д. 104, лит. А, пом. 3Н, оф. 1.
Тел.: +7 (812) 646 33 77

16+

© ООО «Эко-Вектор», 2025

ISSN 2658-6843 (Print)

ISSN 2949-1436 (Online)

Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация

Том 7 | Выпуск 1 | 2025

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ ЖУРНАЛ

Главный редактор

Иванова Галина Евгеньевна, д.м.н., профессор (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-3180-5525

Первый заместитель главного редактора

Позин Сергей Никифорович, д.м.н., проф., академик РАН (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-1811-6936

Заместители главного редактора по направлениям

Белкин А.А., д.м.н., проф. (Екатеринбург, Россия)

ORCID: 0000-0002-0544-1492

Прокопенко С.В., д.м.н., проф. (Красноярск, Россия)

ORCID: 0000-0002-4778-2586

Цыкунов М.Б., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-0994-8602

Мишина И.Е., д.м.н., проф. (Санкт-Петербург, Россия)

ORCID: 0000-0002-7659-8008

Семиглазова Т.Ю., д.м.н., проф. (Санкт-Петербург, Россия)

ORCID: 0000-0002-4305-6691

Валиуллина С.А., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-1622-0169

Редакционная коллегия

Аронов Д. М., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-0484-9805

Батышева Т.Т., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-0928-2131

Бердникович Е.С., к.п.н., доц. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-7608-2255

Бойцов С.А., д.м.н., проф., член-корр. РАН (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-6998-8406

Бубнова М.Г., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-2250-5942

Буйлова Т.В., д.м.н., проф. (Нижегород, Россия)

ORCID: 0000-0003-0282-7207

Герасименко М.Ю., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-1741-7246

Гречко А.В., д.м.н., проф., член-корр. РАН (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-3318-796X

Даминов В.Д., д.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-7141-6052

Данилов А.Б., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-2958-4479

Дымочка М.А., д.м.н., доц. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-0617-5093

Zampolini Mauro, Professor, MD (Foligno, Perugia, Italy)

ORCID: 0000-0001-8089-8583

Зилов В.Г., д.м.н., проф., академик РАН (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-3908-6801

Кадьков А.С., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-7491-7215

Касаткин В.Н., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-1142-9796

Корчажкина Н.Б., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-6713-8778

Кузовлев А.Н., д.м.н., доц. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-5930-0118

Лебединский К.М., д.м.н., проф. (Россия, Санкт-Петербург)

ORCID: 0000-0002-5752-4812

Левин О.С., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-3872-5923

Лайшева О.А., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-8084-1277

Мельникова Е.И., д.м.н., доцент (Россия, Санкт-Петербург)

ORCID: 0000-0002-2076-4062

Молчанов И.В., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-8520-9468

Никитин И.Г., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-1699-0881

Николаев Н.С., д.м.н., проф. (Россия, Чебоксары)

ORCID: 0000-0002-1560-470X

Олескин А.В., д.б.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-6816-1615

Перепелца С.А., д.м.н., проф. (Россия, Калининград)

ORCID: 0000-0002-4535-9805

Петриков С.С., д.м.н., проф., член-корр. РАН (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-3292-8789

Петрова М.В., д.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-4272-0957

Пирадов М.А., д.м.н., проф.,

академик РАН (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-6338-0392

Поляев Б.А., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-9648-2336

Румянцев А.Г., д.м.н., проф., академик РАН (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-1643-5960

Сарана А.М., к.м.н. (Россия, Санкт-Петербург)

ORCID: 0000-0001-3198-8990

Sobotka Lubos, Professor, MD (Hradec Kralove, Czech Republic)

ORCID: 0000-0001-0372-5790

Суворов А.Ю., к.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-4901-2208

Супонева Н.А., д.м.н., проф., член-корр. РАН (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-3956-6362

Weerkamp-Bartholomeus Paula, Professor, MD (Voerendaal, The Netherlands)

ORCID: 0000-0001-8904-5333

Хасанова Д.Р., д.м.н., проф. (Россия, Казань)

ORCID: 0000-0002-8825-2346

Хатькова С.Е., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-3071-4712

Чичановская Л.В., д.м.н., доц. (Россия, Тверь)

ORCID: 0000-0001-5956-2306

Шамалов Н.А., д.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-6250-0762

Шакула А.В., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-9952-9630

Шестопалов А.Е., д.м.н., проф. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-5278-7058

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции. К публикации принимаются только статьи, подготовленные в соответствии с правилами для авторов. Направляя статью в редакцию, авторы принимают условия договора публичной оферты. С правилами для авторов и договором публичной оферты можно ознакомиться на сайте: <https://journals.eco-vector.com/2658-6843>. Полное или частичное воспроизведение материалов, опубликованных в журнале, допускается только с письменного разрешения издателя — издательства «Эко-Вектор».



FOUNDERS

- Federal Research and Clinical Center for Resuscitation and Rehabilitation
- Eco-Vector

PUBLISHER

Eco-Vector

Address: 3 liter A, 1H,
Aptekarsky pereulok, 191181,
Saint Petersburg, Russian Federation
E-mail: info@eco-vector.com
WEB: <https://eco-vector.com>

ADVERTISE

Adv. department

Phone: +7 (968) 545 78 20
E-mail: adv2@eco-vector.com

EDITORIAL OFFICE

Executive editor

Ulyana G. Pugacheva
E-mail: upugacheva@yandex.ru
Address: 25 bld 2, Petrovka street,
Moscow, 107031, Russian Federation
<https://journals.eco-vector.com/2658-6843>

SUBSCRIPTION

For print version:
www.journals.eco-vector.com

PUBLICATION ETHICS

Journal's ethic policies are based on:

- ICMJE
- COPE
- ORE
- CSE
- EASE

OPEN ACCESS

Immediate Open Access is mandatory
for all published articles

INDEXATION

- Russian Science Citation Index
- Google Scholar
- Ulrich's International Periodicals Directory
- WorldCat

TYPESET

complete in Eco-Vector
Copyeditor: *M.N. Shoshina*
Proofreader: *M.N. Shoshina*
Layout editor: *E.A. Trukhtanova*

ISSN 2658-6843 (Print)

ISSN 2949-1436 (Online)

Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation

Volume 7 | Issue 1 | 2025

QUARTERLY PEER-REVIEW MEDICAL JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF

Galina E. Ivanova, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-3180-5525

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Sergey N. Puzin, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Academician of RAS (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-1811-6936

VICE EDITORS-IN-CHIEF

A.A. Belkin, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Ekaterinburg, Russia)

ORCID: 0000-0002-0544-1492

S.V. Prokopenko, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Krasnoyarsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-4778-2586

M.B. Tsykunov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-0994-8602

I.E. Mishina, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Saint-Petersburg, Russia)

ORCID: 0000-0002-7659-8008

T.Y. Semiglazova, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Saint-Petersburg, Russia)

ORCID: 0000-0002-4305-6691

S.A. Valiullina, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-1622-0169

EDITORIAL COUNCIL

D.M. Aronov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-0484-9805

T.T. Batysheva, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-0928-2131

E.S. Berdnikovich, Cand. Sci. (Psychol), Assistant Professor (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-7608-2255

S.A. Boytsov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member of the RAS

(Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-6998-8406

M.G. Bubnova, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-2250-5942

T.V. Buylova, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Nizhni Novgorod, Russia)

ORCID: 0000-0003-0282-7207

M.Y. Gerasimenko, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-1741-7246

A.V. Grechko, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member of the RAS

(Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-3318-796X

V.D. Daminov, MD, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-7141-6052

A.B. Danilov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-2958-4479

M.A. Dymochka, MD, Assistant professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-0617-5093

Zampolini Mauro, MD, Professor (Foligno, Perugia, Italy)

ORCID: 0000-0001-8089-8583

V.G. Zilov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Academician of RAS (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-3908-6801

A.S. Kadykov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-7491-7215

V.N. Kasatkin, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-1142-9796

N.B. Korchazhkina, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-6913-8778

A.N. Kuzovlev, MD, Assistant professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-5930-0118

K.M. Lebedinskiy, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Saint-Petersburg, Russia)

ORCID: 0000-0002-5752-4812

O.S. Levin, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-3872-5923

O.A. Laysheva, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-8084-1277

E.I. Melnikova, MD, Assistant professor, Dr. Sci. (Med.)

(Saint-Petersburg, Russia)

ORCID: 0000-0002-2076-4062

I.V. Molchanov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-8520-9468

I.G. Nikitin, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-1699-0881

N.S. Nikolaeв, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Cheboksary, Russia)

ORCID: 0000-0002-1560-470X

A.V. Oleskin, Professor, Dr. Sci. (Biol.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-6816-1615

S.A. Perepelitsa, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Kalininograd, Russia)

ORCID: 0000-0002-4535-9805

S.S. Petrikov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member of the RAS

(Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-3292-8789

M.V. Petrova, MD, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-4272-0957

M.A. Piradov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Academician of RAS

(Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-6338-0392

B.A. Polyayev, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-9648-2336

A.G. Rummyantsev, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Academician of RAS

(Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-1643-5960

A.M. Sarana, MD, Cand. Sci. (Med.) (Saint-Petersburg, Russia)

ORCID: 0000-0003-3198-8990

Sobotka Lubos, Professor, MD, PhD (Hradec Kralove, Czech Republic)

ORCID: 0000-0001-0372-5790

A.Y. Suvorov, MD, Cand. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-4901-2208

N.A. Suponeva, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member

of the RAS (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-3956-6362

Weerkamp-Bartholomeus Paula, Professor, MD (Voerendaal, Netherlands)

ORCID: 0000-0001-8904-5333

D.R. Khasanova, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Kazan, Russia)

ORCID: 0000-0002-8825-2346

S.E. Khatkova, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-3071-4712

L.V. Chichanovskaya, MD, Assistant professor, Dr. Sci. (Med.) (Tver, Russia)

ORCID: 0000-0001-5956-2306

N.A. Shamalov, MD, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-6250-0762

A.V. Shakula, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-9952-9630

A.E. Shestopalov, MD, Professor, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-5278-7058

The editors are not responsible for the content of advertising materials. The point of view of the authors may not coincide with the opinion of the editors. Only articles prepared in accordance with the guidelines are accepted for publication. By sending the article to the editor, the authors accept the terms of the public offer agreement. The guidelines for authors and the public offer agreement can be found on the website: <https://journals.eco-vector.com/2658-6843/>. Full or partial reproduction of materials published in the journal is allowed only with the written permission of the publisher — the Eco-Vector publishing house.

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- Д.В. Торшин, О.А. Шевелев, М.В. Петрова, И.В. Борисов, М.К. Левин, Э.М. Менгисту, А.В. Гречко*
Терапевтическая гипотермия в комплексе мероприятий второго этапа реабилитации
у пациентов после ишемического инсульта 5
- Н.С. Нагаев, В.А. Белкин, А.А. Белкин, Е.Н. Рудник, Р.А. Жигужевский, И.Ф. Рахматуллин, А.В. Рознин*
Локомоторная терапия в безопорном состоянии у пациентов с хроническим нарушением сознания:
проспективное нерандомизированное моноцентровое исследование 13
- К.П. Иванов, В.Т. Долгих*
Динамическая оценка индексов функционирования сердечно-сосудистой системы и адаптационного
потенциала пациентов после ишемического инсульта при проведении реабилитационных мероприятий 24
- О.В. Попова, И.Н. Новоселова, С.А. Валиуллина, С.В. Мещеряков, А.Г. Гаглоев*
Эпидуральная стимуляция в коррекции спастического синдрома у детей с последствиями
позвоночно-спинномозговой травмы 37

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

- К.А. Блинова, И.Е. Мишина, Г.Е. Иванова, Е.Н. Копышева, А.К. Кострыгин, А.С. Пугачева*
Тест с шестиминутной ходьбой в кардиоонкореабилитации: обзор 45
- И.А. Яцков, В.Б. Калиберденко, С.П. Марьяненко, С.Ф. Узунов, Е.А. Сапронова*
Современный взгляд на реабилитацию пациентов с заболеваниями органов дыхательной системы 55
- С.Г. Щербак, Д.А. Воложжанин, С.В. Макаренко, А.С. Голота, Т.А. Камилова*
Иммунологические аспекты синдрома перетренированности 65

CONTENTS

ORIGINAL STUDY ARTICLES

- Dmitry V. Torshin, Oleg A. Shevelev, Marina V. Petrova, Ilya V. Borisov, Maxim K. Levin, Elias M. Mengistu, Andrey V. Grechko*
Therapeutic hypothermia as part of a second-stage rehabilitation program for patients after ischemic stroke. 5
- Nikita S. Nagaev, Vladimir A. Belkin, Andrey A. Belkin, Evgeniy N. Rudnik, Roman A. Zhiguzhevsky, Ildar F. Rakhmatullin, Andrey V. Roznin*
Locomotor therapy in unweighted conditions in patients with chronic disorders of consciousness.
A prospective non-randomized single-center study. 13
- Kirill P. Ivanov, Vladimir T. Dolgikh*
Dynamic assessment of cardiovascular system functioning indices and adaptive potential in patients
after ischemic stroke during rehabilitation 24
- Olga V. Popova, Irina N. Novoselova, Svetlana A. Valiullina, Semen V. Meshcheryakov, Alexey G. Gagloev*
Epidural stimulation for the management of spasticity in children with spinal cord injury sequelae 37

REVIEWS

- Ksenia A. Blinova, Irina E. Mishina, Galina E. Ivanova, Elena N. Kopysheva, Alexander K. Kostrygin, Anna S. Pugacheva*
Six-minute walk test in cardio-oncology rehabilitation: a review. 45
- Igor A. Yatskov, Vitalii B. Kaliberdenko, Sofiya P. Maryanenko, Stanislav F. Uzunov, Ekaterina A. Sapronova*
Modern approaches to the rehabilitation of patients with respiratory diseases 55
- Sergey G. Scherbak, Dmitry A. Vologzhanin, Stanislav V. Makarenko, Aleksandr S. Golota, Tatyana A. Kamilova*
Immunological aspects of overtraining syndrome 65

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab646048>

Терапевтическая гипотермия в комплексе мероприятий второго этапа реабилитации у пациентов после ишемического инсульта

Д.В. Торшин¹, О.А. Шевелев^{1, 2}, М.В. Петрова^{1, 2}, И.В. Борисов¹, М.К. Левин¹, Э.М. Менгисту²,
А.В. Гречко^{1, 2}

¹ Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Москва, Россия;

² Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Внедрение новых методик, способствующих повышению эффективности реабилитации пациентов после перенесённого ишемического инсульта, остаётся актуальной задачей. Обнадёживающие экспериментальные данные о нейропротекторных эффектах гипотермии, а также положительные результаты применения краниocereбральной гипотермии в остром периоде ишемического инсульта послужили основой проведения данного исследования.

Цель исследования — оценить эффективность краниocereбральной гипотермии в комплексе реабилитационных мероприятий у пациентов в раннем восстановительном периоде ишемического инсульта.

Материалы и методы. В одноцентровое проспективное пилотное исследование включено 95 пациентов (70 — в основной группе; 25 — в контрольной) в раннем восстановительном периоде ишемического инсульта средней тяжести (5–15 баллов по шкале NISSH) и степенью ограничения повседневной деятельности 3–4 балла по модифицированной шкале Рэнкина. Обе группы получали базовые реабилитационные мероприятия, при этом пациенты основной группы дополнительно ежедневно в течение 10 дней получали сеансы краниocereбральной гипотермии (по 90 минут). При помощи неинвазивной радиотермометрии до и после курса лечения в обеих группах измеряли интракраниальную температуру в лобной области. Клиническую эффективность краниocereбральной гипотермии оценивали с помощью функциональных и когнитивных шкал.

Результаты. Применение оценочных шкал позволило выявить существенное улучшение уровня функциональной независимости пациентов, увеличение мобильности и способности к самообслуживанию.

Заключение. Краниocereбральная гипотермия может быть рекомендована для включения в комплекс реабилитационных мероприятий раннего восстановительного периода ишемического инсульта в целях повышения эффективности лечения.

Ключевые слова: ишемический инсульт; ранний восстановительный период; краниocereбральная гипотермия.

Как цитировать:

Торшин Д.В., Шевелев О.А., Петрова М.В., Борисов И.В., Левин М.К., Менгисту Э.М., Гречко А.В. Терапевтическая гипотермия в комплексе мероприятий второго этапа реабилитации у пациентов после ишемического инсульта // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2025. Т. 7, № 1. С. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab646048>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab646048>

Therapeutic hypothermia as part of a second-stage rehabilitation program for patients after ischemic stroke

Dmitry V. Torshin¹, Oleg A. Shevelev^{1,2}, Marina V. Petrova^{1,2}, Ilya V. Borisov¹, Maxim K. Levin¹, Elias M. Mengistu², Andrey V. Grechko^{1,2}

¹ Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russia;

² Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Implementation of new approaches to enhance the effectiveness of poststroke rehabilitation remains a pressing challenge. Promising experimental data on the neuroprotective effects of hypothermia and the beneficial outcomes of craniocerebral hypothermia in the acute phase of ischemic stroke formed the basis for this study.

AIM: To evaluate the effectiveness of craniocerebral hypothermia as part of a rehabilitation program at the early recovery phase of ischemic stroke.

MATERIALS AND METHODS: This single-center prospective pilot study included 95 patients (70 in the intervention group and 25 in the control group) who were at the early recovery phase of moderate ischemic stroke (National Institutes of Health Stroke Scale [NIHSS] score 5–15) with an activity limitation of 3–4 on the modified Rankin Scale. Both groups received standard rehabilitation therapy, while patients in the intervention group additionally underwent daily 90-minute craniocerebral hypothermia sessions for 10 days. Intracranial temperature in the frontal region was measured before and after treatment in both groups using noninvasive radiothermometry. Clinical effectiveness of the craniocerebral hypothermia was assessed using functional and cognitive scales.

RESULTS: Scale-based assessment revealed significant improvements in functional independence, mobility, and self-care ability.

CONCLUSION: Craniocerebral hypothermia may be recommended as part of an early rehabilitation program after ischemic stroke to improve treatment outcomes.

Keywords: ischemic stroke; early recovery period; craniocerebral hypothermia.

To cite this article:

Torshin DV, Shevelev OA, Petrova MV, Borisov IV, Levin MK, Mengistu EM, Grechko AV. Therapeutic hypothermia as part of a second-stage rehabilitation program for patients after ischemic stroke. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2025;7(1):5–12.

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab646048>

Список сокращений

КЦГ — краниocereбральная гипотермия

ОБОСНОВАНИЕ

Терапевтическая гипотермия как реабилитационная технология до настоящего времени не нашла своего должного места в комплексном подходе к восстановительной терапии у пациентов, перенёсших ишемический инсульт. В то же время опубликованы результаты нескольких пилотных исследований успешного применения краниocereбральной гипотермии (КЦГ) в первые сутки развития фокальной церебральной ишемии. В работах после однократной процедуры охлаждения головы длительностью около 24 часов показаны быстрое и стабильное снижение неврологического дефицита, повышение уровня сознания, а также уменьшение летальности [1–3].

Применение курса КЦГ при длительности процедур охлаждения 90–120 минут в комплексной реабилитации пациентов с хроническими/продлёнными нарушениями сознания после тяжёлых повреждений головного мозга способствовало улучшению слуховой, зрительной, двигательной и речевой функций, а также повышению уровня бодрствования и коммуникативности по данным пересмотренной версии шкалы восстановления после комы CRS-R (Coma Recovery Scale-Revised) [4].

Улучшение результатов терапии острейшего периода нарушений мозгового кровообращения и комплексной реабилитации пациентов с хроническими/продлёнными нарушениями сознания, предположительно, связано с селективной гипотермией коры больших полушарий, индуцируемой краниocereбральным охлаждением. Снижение температуры приводит к развитию комплекса нейропротекторных метаболических и эпигенетических реакций клеток мозга при действии низких температур [5].

Принимая во внимание обнадеживающие экспериментальные данные о нейропротекторных эффектах гипотермии, а также результаты клинических исследований КЦГ в острейшем периоде ишемического инсульта, нами выполнено пилотное исследование по применению методики терапевтической гипотермии в комплексе реабилитационных мероприятий у пациентов, находящихся на втором этапе реабилитации после перенесённого острого ишемического инсульта.

Цель исследования — оценка эффективности КЦГ в комплексе реабилитационных мероприятий у пациентов в раннем восстановительном периоде ишемического инсульта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Исследование является одноцентровым проспективным пилотным. Основная и контрольная группы пациентов были сформированы случайным образом с использованием метода конвертов.

Критерии соответствия

Критерии включения: пациенты с перенесённым ишемическим инсультом в каротидной или вертебробазилярной системе давностью до 6 месяцев, степень ограничения повседневной деятельности по модифицированной шкале Рэнкина 3–4 балла [6] и неврологическим дефицитом по шкале NIHSS 5–15 баллов, что расценивалось как инсульт средней степени тяжести [7, 8].

Критерии невключения: тяжёлые когнитивные нарушения с отсутствием способности к полноценному контакту; тяжёлые сопутствующие соматические заболевания.

Критерии исключения: индивидуальная непереносимость процедуры КЦГ; отказ пациента от дальнейшего участия в исследовании.

Условия проведения

Исследование проведено в отделении медицинской реабилитации для пациентов с нарушением функции центральной нервной системы Научно-исследовательского института реабилитологии им. проф. Пряникова И.В. (ФНКЦ РР).

Продолжительность исследования

Исследование проводилось в период с декабря 2023 по декабрь 2024 года.

Описание медицинского вмешательства

В базовый комплекс терапевтических и реабилитационных мероприятий пациентов обеих групп входили медикаментозная терапия, направленная на лечение основного и сопутствующих заболеваний, а также физиотерапия (магнитотерапия и электролечение), лечебная физкультура и массаж. Пациентам основной группы дополнительно применяли лечебный курс КЦГ (10 ежедневных сеансов по 90 минут каждый). Для КЦГ использовали отечественный аппарат «АТГ-01» (Концерн «Калашников», Россия, РУ ФСР № 2011/11788 от 12.12.2017), позволяющий поддерживать температуру кожи краниocereбральной области головы на уровне $5 \pm 2^\circ\text{C}$ на протяжении всей процедуры. На голову пациента надевали шлем-криоаппликатор, поверх него — термоизолирующий шлем, позволяющий плотно фиксировать криоаппликатор на поверхности головы и избегать внешних теплопритоков. Управление режимами теплоотведения осуществлялось автоматически.

Методы регистрации исходов

Для измерения температуры коры больших полушарий использовали неинвазивную радиотермометрию при помощи радиотермометра «РТМ-01-РЭС» (РЭС, Россия, РУ ФСР 2007/01307). Метод радиотермометрии основан на регистрации мощности собственного

электромагнитного излучения глубоких тканей в сверхвысокочастотном диапазоне [9]. Измеряли температуру в лобных отделах коры головного мозга в 10.00, 15.00 и 21.00 до проведения курса лечения и на следующий день после его окончания.

Тестирование пациентов обеих групп проводили с помощью шкалы тяжести инсульта Национального института здоровья США (National Institutes of Health Stroke Scale, NIHSS), оценки функционального состояния и степени инвалидизации по модифицированной шкале Рэнкина (modified Rankin Scale, mRS), индекса мобильности Ривермид (Rivermead Mobility Index, RMI), оценки уровня повседневной активности и степени инвалидизации по шкале Бартел (Barthel Index, BI), Монреальской шкалы оценки когнитивных функций (Montreal Cognitive Assessment, MoCA) и госпитальной шкалы тревоги и депрессии (Hospital Anxiety and Depression Scale, HADS). Первая точка регистрации всех исследуемых показателей производилась до начала лечения, вторая — на следующий день после его окончания.

Статистический анализ

Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета прикладных программ STATISTICA, версия 6 (StatSoft, США). Для оценки динамики признака в группе использовали критерий Вилкоксона. Для оценки различия между независимыми группами применяли U-критерий Манна-Уитни. Значения принимались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В исследование включено 95 пациентов в раннем восстановительном периоде ишемического инсульта, подтвержденного методом мультиспиральной компьютерной томографии или магнитно-резонансной томографии головного мозга, которые случайным образом распределены

в две группы — основную ($n=70$) и контрольную ($n=25$). Распределение исследуемых пациентов по полу, возрасту и локализации поражения в головном мозге представлено в табл. 1.

Частота и характер сопутствующих заболеваний в обеих группах существенно не отличались. Статистически значимой разницы в исходной температуре коры лобной доли в обеих группах не было.

Основные результаты исследования

По окончании лечения в основной группе наблюдалось статистически значимое ($p < 0,05$) понижение температуры в коре лобной доли в утренние, дневные и вечерние часы в отличие от группы сравнения (табл. 2).

В табл. 3 представлены основные результаты тестирования пациентов с применением различных шкал в основной и контрольной группах. Исходное состояние пациентов, оцениваемое по показателям шкал двигательных функций, повседневной активности, функционального, когнитивного и психоэмоционального статуса, было схожим в обеих группах ($p > 0,05$). После курса КЦГ в основной группе отмечалась существенная динамика двигательных нарушений и функциональной независимости по сравнению с группой контроля. По завершении курса гипотермии пациенты основной группы могли не только передвигаться без применения вспомогательных средств (10 баллов в соответствии с индексом мобильности RMI), но и самостоятельно ходить за пределами квартиры по неровной местности (12 баллов). Существенно повысилась возможность самообслуживания (по шкале BI).

Динамика результатов лечения КЦГ по шкале NIHSS отражена на рис. 1, динамика когнитивных нарушений — на рис. 2, на котором отчетливо видно, что у больных ишемическим инсультом после курса КЦГ отмечается существенная динамика когнитивных нарушений по шкале MoCA в сравнении с контрольной группой ($p < 0,05$).

Уровень тревожности снижался в обеих группах больных, однако статистическая значимость отмечена

Таблица 1. Медико-социальная характеристика пациентов групп наблюдения

Table 1. Medical and social characteristics of patients in the observation groups

Пациенты	Группа, n (%)	
	Основная	Контрольная
Всего	70 (100)	25 (100)
Мужчины	32 (45,7)	12 (48)
Женщины	38 (54,3)	13 (52)
Возраст, лет	64,00 [56,00; 70,00]	67,00 [57,00; 74,00]
Каротидная система	27 (38,6), из них правое полушарие — у 15 (55,6) левое полушарие — у 12 (44,4)	8 (32), из них правое полушарие — у 5 (62,5) левое полушарие — у 3 (37,5)
Вертебробазилярная система	43 (61,4)	17 (68)

Таблица 2. Динамика температуры в коре лобной доли после курса краниocereбральной гипотермии в сравнении с группой контроля, Me [LQ; UQ]**Table 2.** Dynamics of the frontal lobe cortex temperature after a course of craniocerebral hypothermia in comparison with the control group Me [LQ; UQ]

Температура, град.		Группа	
		Основная	Контрольная
До лечения	утро	37,0 [36,7; 37,5]	37,1 [36,8; 37,4]
	день	37,1 [36,8; 37,7]	37,1 [36,8; 37,4]
	вечер	36,5 [36,0; 36,8]	36,4 [36,1; 36,9]
После курса лечения	утро	36,3 [35,9; 36,5]	36,8 [36,5; 37,0]
	день	36,7 [36,4; 36,8]	36,9 [36,7; 37,1]
	вечер	36,0 [35,5; 36,3]	36,3 [36,1; 36,5]
<i>p</i>	утро		
	день	<0,05	>0,05
	вечер		

Таблица 3. Результаты тестирования по шкалам до и после курса краниocereбральной гипотермии в основной и контрольной группах, Me [LQ; UQ]**Table 3.** Scaled test results before and after the course of craniocerebral hypothermia in the main and control groups (Me [LQ; UQ])

Тест	Динамика показателей в группах до и после лечения		<i>p</i>
	Основная	Контрольная	
Шкала NIHSS	11,0 [10,0; 11,0]	11,0 [10,0; 11,0]	>0,05
	5,0 [5,0; 6,0]	7,0 [7,0; 8,0]	<0,05
Шкала Рэнкина	3,0 [3,0; 4,0]	3,0 [3,0; 4,0]	>0,05
	2,0 [2,0; 3,0]	3,0 [3,0; 3,0]	<0,05
Индекс Ривермид	7,0 [6,0; 8,0]	7,0 [6,0; 8,0]	>0,05
	12,0 [11,0; 12,0]	10,0 [8,0; 10,0]	<0,05
Индекс Бартел	70,0 [60,0; 70,0]	70,0 [60,0; 70,0]	>0,05
	85,0 [85,0; 85,0]	80,0 [70,0; 85,0]	<0,05
Шкала MoCA	21,0 [20,0; 22,0]	21,0 [20,0; 22,0]	>0,05
	25,0 [24,0; 25,0]	23,0 [22,0; 23,0]	<0,05
Шкала HADS (тревога)	8,0 [7,0; 8,0]	8,0 [7,0; 8,0]	>0,05
	5,0 [4,0; 6,0]	6,0 [6,0; 7,0]	<0,05
Шкала HADS (депрессия)	8,0 [7,0; 8,0]	8,0 [6,0; 8,0]	>0,05
	5,0 [5,0; 6,0]	6,0 [5,0; 6,0]	>0,05

в основной группе ($p < 0,05$). Выраженность депрессии достоверно уменьшилась в обеих группах больных, однако по окончании курса лечения с применением КЦГ существенно не отличалась у пациентов контрольной группы ($p > 0,05$).

Таким образом, в ходе проведённого исследования с применением оценочных шкал продемонстрирована эффективность КЦГ в комплексной реабилитации в раннем восстановительном периоде ишемического инсульта.

Нежелательные явления

Нежелательных явлений при проведении КЦГ не выявлено.

ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведённого исследования продемонстрировано повышение клинической эффективности второго этапа комплексной реабилитации у пациентов, перенёсших инфаркт головного мозга, с применением курсовой КЦГ. Применение оценочных шкал позволило выявить существенное улучшение уровня функциональной независимости пациентов, увеличение мобильности и способности самообслуживания. Отчётливый регресс неврологического дефицита и повышение когнитивных функций подчёркивает нарастание процессов реализации

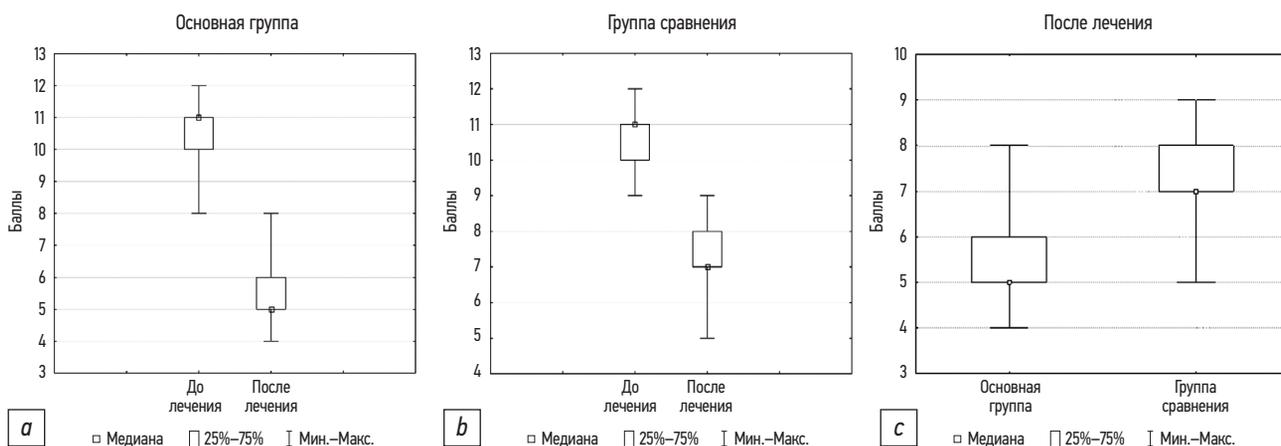


Рис. 1. Динамика тяжести инсульта после курса реабилитации по шкале NIHSS: *a* — основная группа; *b* — контрольная группа; *c* — сравнение эффективности лечения между группами ($p < 0,05$).

Fig. 1. Changes in stroke severity after the rehabilitation course according to the NIHSS scale: *a*) intervention group; *b*) control group; *c*) comparison of treatment efficacy between groups ($p < 0.05$).

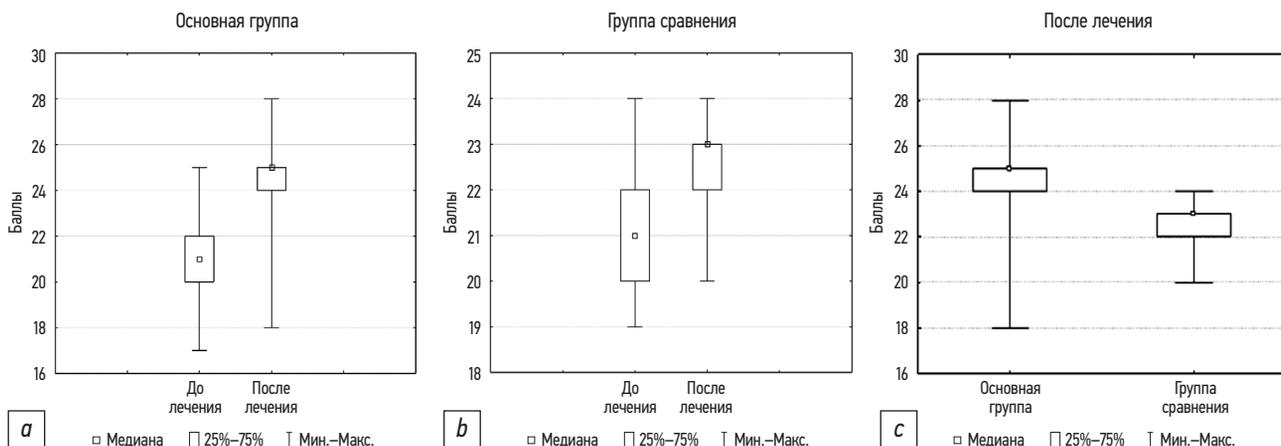


Рис. 2. Динамика когнитивных нарушений после курса реабилитации по шкале MoCA: *a* — основная группа; *b* — контрольная группа; *c* — сравнение эффективности лечения между группами ($p < 0,05$).

Fig. 2. Changes in cognitive impairment after the rehabilitation course according to the MoCA scale: *a*) intervention group; *b*) control group; *c*) comparison of treatment effectiveness between groups ($p < 0.05$).

корковых функций, развивающихся под влиянием селективной гипотермии коры больших полушарий.

Снижение температуры коры головного мозга, помимо метаболически обусловленных реакций цитопротекции, включающих снижение потребности клеток в кислороде и субстрате, торможения воспалительного ответа на повреждение, каскадов апоптоза и других патогенетических процессов, вызывает экспрессию ранних генов [10]. Биохимические процессы генной экспрессии, а именно транскрипция (биосинтез молекул информационной, или матричной, мРНК) и трансляция (процесс синтеза белка на основе кодовой последовательности нуклеотидов в мРНК), лежат в основе долговременной цитопротекции, обусловленной действием стресс-протекторных белков.

Классы белков, синтез которых активируется снижением температуры, весьма разнообразны, и большинство из них обладает выраженными эффектами, защищающими клетки мозга в неблагоприятных условиях [11]. В частности, белки холодового шока CSPs (cold shock proteins) повышают толерантность к гипоксии и ишемии, активируют процессы ремиелинизации после повреждения, улучшают аксональный транспорт и способствуют восстановлению микротубулярной системы. Белки теплового шока HSPs (hot shock proteins), продукция которых повышается в период согревания после гипотермии, но при сниженных температурах, выступают в качестве регуляторов окислительно-восстановительного состояния клеток, принимают участие в широком круге цитопротекторных реакций,

контролируют регуляцию активности воспалительного процесса. Перечень белков цитопротекции можно было бы продолжить, но важно подчеркнуть, что они способствуют стимуляции синаптогенеза, нейрогенеза и нейропластичности, что, предположительно, может лежать в основе механизмов позитивных клинических эффектов применяемой технологии гипотермии — КЦГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изученные в эксперименте нейропротекторные эффекты краниocereбральной гипотермии получили клиническое подтверждение, что позволяет перспективно рассматривать применение технологии краниocereбральной гипотермии на этапах реабилитации пациентов с ишемическим инсультом. Безусловно, требуются более масштабные исследования, которые могут стать основой для включения терапевтической гипотермии в клинические рекомендации по реабилитации больных ишемическим инсультом.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. О.А. Шевелев, М.В. Петрова, А.В. Гречко — разработка концепции, общее руководство, редактирование текста рукописи; Д.В. Торшин — диагностика, сбор, обработка данных; О.А. Шевелев, Д.В. Торшин — написание текста рукописи, анализ данных; И.В. Борисов, М.К. Левин, Э.М. Менгисту — анализ данных, статистическая обработка, написание текста рукописи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФНЦ ПР (протокол № 3/19/1 от 18.09.2019). Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источники финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении данного исследования.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных

с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При проведении исследования и создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе неприменима. Доступ к данным, полученным в настоящем исследовании, закрыт по решению автора в целях защиты авторских прав до получения окончательных результатов.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions. O.A. Shevelev, M.V. Petrova, A.V. Grechko — concept development, curating the work, reviewing and approving the manuscript; D.V. Torshin — diagnostics, data collection, processing; O.A. Shevelev, D.V. Torshin — writing of the manuscript text, data analysis; I.V. Borisov, M.K. Levin, E.M. Mengistu — data analysis, statistical processing, manuscript writing. All authors approved the manuscript (the publication version), and agreed to be responsible for all aspects of the work, ensuring proper consideration and resolution of issues related to the accuracy and integrity of any part of it.

Ethics approval. The study was approved by the local Ethics committee of the FNCC PP (Protocol No. 3/22/9 dated 12/14/2022). All study participants voluntarily signed an informed consent form before being included in the study.

Funding sources. This publication was not supported by any external sources of funding.

Disclosure of interests. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Statement of originality. The authors did not use previously published information (text, illustrations, data) while conducting this work.

Data availability statement. The editorial policy regarding data sharing is not applicable to this work. Access to the data is closed by the decision of the author in order to protect copyrights until the final results are gained.

Generative AI. Generative AI technologies were not used for this article creation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Shevelev OA, Butrov AV, Chebokсарov DV, et al. The pathogenetic role of cerebral hyperthermia in brain lesion. *Clinical Medicine (Russian Journal)*. 2017;95(4):302–309. doi: 10.18821/0023-2149-2017-95-4-302-309 EDN: YPIAWZ
2. Boyarintsev VV, Zhuravlev SV, Ardashev VN, et al. Characteristics of cerebral blood flow in the norm and pathologies in the course of craniocerebral hypothermia. *Aerospace and environmental medicine*. 2019;53(4):59–64. doi: 10.21687/0233-528X-2019-53-4-59-64 EDN: AKVOQV
3. Gutsalyuk AG, Petrova MV, Borozenets KF, et al. Craniocerebral hypothermia in the acute period of ischemic stroke. *S.S. Korsakov*

journal of neurology and psychiatry. 2023;123(12-2):43–48. doi: 10.17116/jnevro202312312243 EDN: MKAIPS

4. Petrova MV, Shevelev OA, Yuriev MYu, et al. Selective brain hypothermia in the comprehensive rehabilitation of patients with chronic consciousness disorders. *General Reanimatology*. 2022;18(2):45–52. doi: 10.15360/1813-9779-2022-2-45-52 EDN: ECBUKD

5. Jackson TC, Kochanek PM. A new vision for therapeutic hypothermia in the era of targeted temperature management: A speculative synthesis. *Ther Hypothermia Temp Manag*. 2019;9(1):13–47. doi: 10.1089/ther.2019.0001 EDN: QHDLRY

6. Suponeva NA, Yusupova DG, Zhirova ES, et al. Validation of the modified Rankin scale in Russia. *Neurology, neuropsychiatry, psychosomatics*. 2018;10(4):36–39. doi: 10.14412/2074-2711-2018-4-36-39 EDN: SLWIKP
7. Martin-Schild S, Albright KC, Tanksley J, et al. Zero on the NIHSS does not equal the absence of stroke. *Ann Emerg Med*. 2011;57(1):42–45. doi: 10.1016/j.annemergmed.2010.06.564
8. Hage V. The NIH stroke scale: A window into neurological status. *Nursing Spectrum*. 2011;24(15):44–49.
9. Shevelev OA, Petrova MV, Yuriev MYu, et al. Microwave radiothermometry in evaluating brain temperature changes

- (review). *General Reanimatology*. 2023;19(1):50–59. doi: 10.15360/1813-9779-2023-1-2129 EDN: CSP00F
10. Shevelev OA, Petrova MV, Saidov ShKh, et al. Neuroprotection mechanisms in cerebral hypothermia (review). *General Reanimatology*. 2019;15(6):94–114. doi: 10.15360/1813-9779-2019-6-94-114 EDN: MFDCOE
11. Shevelev OA, Petrova MV, Mengistu EM, et al. Mechanisms of low-temperature rehabilitation technologies. Natural and artificial hypothermia. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2023;5(2):141–156. doi: 10.36425/rehab345206 EDN: NOQORA

ОБ АВТОРАХ

* **Торшин Дмитрий Владимирович**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 107031, Москва, ул. Профсоюзная, д. 123А, стр. 14;
ORCID: 0000-0002-0134-5284;
eLibrary SPIN: 1205-9474;
e-mail: torshin.dmitrii@rambler.ru

Шевелев Олег Алексеевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-6204-1110;
eLibrary SPIN: 9845-2960;
e-mail: shevelev_o@mail.ru

Петрова Марина Владимировна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-4272-0957;
eLibrary SPIN: 9132-4190;
e-mail: mpetrova@fnkcr.ru

Гречко Андрей Вячеславович, д-р мед. наук, профессор,
чл.-корр. РАН;
ORCID: 0000-0003-3318-796X;
eLibrary SPIN: 4865-8723;
e-mail: avgrechko@fnkcr.ru

Борисов Илья Владимирович;
ORCID: 0000-0002-5707-118X;
eLibrary SPIN: 7800-6446;
e-mail: realzel@gmail.com

Левин Максим Константинович;
ORCID: 0009-0008-8631-9149;
e-mail: batterbin@yandex.ru

Менгисту Эльяс Месфин, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-6928-2320;
eLibrary SPIN: 1387-7508;
e-mail: drmengistu@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Dmitry V. Torshin**, MD, Cand. Sci. (Medicine);
address: 123A Profsoyuznaya st, bldg 14, Moscow, Russia, 107031;
ORCID: 0000-0002-0134-5284;
eLibrary SPIN: 1205-9474;
e-mail: torshin.dmitrii@rambler.ru

Oleg A. Shevelev, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-6204-1110;
eLibrary SPIN: 9845-2960;
e-mail: shevelev_o@mail.ru

Marina V. Petrova, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0003-4272-0957;
eLibrary SPIN: 9132-4190;
e-mail: mpetrova@fnkcr.ru

Andrey V. Grechko, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor,
corresponding member of the Russian Academy of Sciences;
ORCID: 0000-0003-3318-796X;
eLibrary SPIN: 4865-8723;
e-mail: avgrechko@fnkcr.ru

Ilya V. Borisov, MD;
ORCID: 0000-0002-5707-118X;
eLibrary SPIN: 7800-6446;
e-mail: realzel@gmail.com

Maxim K. Levin, MD;
ORCID: 0009-0008-8631-9149;
e-mail: batterbin@yandex.ru

Elias M. Mengistu, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-6928-2320;
eLibrary SPIN: 1387-7508;
e-mail: drmengistu@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab649890>

Локомоторная терапия в безопорном состоянии у пациентов с хроническим нарушением сознания: проспективное нерандомизированное моноцентровое исследование

Н.С. Нагаев¹, В.А. Белкин¹, А.А. Белкин^{1,2}, Е.Н. Рудник^{1,2}, Р.А. Жигужевский¹,
И.Ф. Рахматуллин³, А.В. Рознин¹

¹ Клинический институт мозга, Березовский, Россия;

² Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия;

³ ООО «Крисаф»

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Известно, что регулярная двигательная активность стимулирует синаптическую пластичность в центральной нервной системе. Нейроны, участвующие в движении и сенсорной интеграции, формируют новые связи, что способствует восстановлению утраченных функций (ангиогенез, нейрогенез, изменения в кортикальных путях). В связи с этим предполагалось, что использование аппарата «КРИСАФ» (локомоторная терапия в безопорном состоянии) у пациентов с хроническим нарушением сознания ввиду встроенных пассивных стереотипных двигательных циклов, имитирующих ползание/плавание/ходьбу, может модулировать восстановление функций больших полушарий, а впоследствии и влиять на уровень сознания по механизму афферентного онтогенетического «воспоминания».

Цель исследования — оценить динамику восстановления функций больших полушарий с помощью шкал CRS-R (пересмотренная версия шкалы восстановления после комы), BPS (поведенческая шкала боли), MAS (шкала спастичности Эшфорта), GOS-E (расширенная версия оригинальной шкалы исходов Глазго) у пациентов с хроническим нарушением сознания, получавших локомоторную терапию в безопорном состоянии.

Материалы и методы. Пациенты, включённые в описательное проспективное сравнительное когортное исследование в период с 2019 по 2024 год ($n=74$), были разделены на две группы — основную ($n=44$) и контрольную ($n=30$). Пациенты основной группы помимо основного курса реабилитационного лечения получили по 5 процедур локомоторной терапии в безопорном состоянии.

Результаты. Медиана оценки уровня сознания по шкале CRS-R у пациентов основной группы увеличилась с 6 (5,4–6,6) до 9 (8,1–9,9) баллов ($p=0,0006$), а в контрольной группе — с 5,5 (4,7–6,3) до 7 (6–8) баллов ($p=0,0609$), что свидетельствует о статистически значимой разнице ($p < 0,00001$).

Заключение. Выраженное улучшение оценки по шкале CRS-R на момент выписки у пациентов, получавших локомоторную терапию в безопорном состоянии, свидетельствует, что использование данного метода в комплексе реабилитационного лечения оказывает положительное влияние на уровень сознания пациента.

Ключевые слова: хроническое нарушение сознания; локомоторная терапия; безопорное состояние; шкала CRS-R.

Как цитировать:

Нагаев Н.С., Белкин В.А., Белкин А.А., Рудник Е.Н., Жигужевский Р.А., Рахматуллин И.Ф., Рознин А.В. Локомоторная терапия в безопорном состоянии у пациентов с хроническим нарушением сознания: проспективное нерандомизированное моноцентровое исследование // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2025. Т. 7, № 1. С. 13–23. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab649890>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab649890>

Locomotor therapy in unweighted conditions in patients with chronic disorders of consciousness. A prospective non-randomized single-center study

Nikita S. Nagaev¹, Vladimir A. Belkin¹, Andrey A. Belkin^{1, 2}, Evgeniy N. Rudnik^{1, 2}, Roman A. Zhiguzhevsky¹, Ildar F. Rakhmatullin³, Andrey V. Roznin¹

¹ Clinical Institute of the Brain, Berezovsky, Russia;

² Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia;

³ LLC «Krisaf»

ABSTRACT

BACKGROUND: It is known that regular physical activity stimulates synaptic plasticity in the central nervous system. Neurons involved in movement and sensory integration form new connections, contributing to the restoration of lost functions (angiogenesis, neurogenesis, changes in cortical pathways). Based on this, it was hypothesized that KRISAF device (locomotor therapy in unweighted conditions) in patients with chronic disorders of consciousness, due to the presence of passive stereotyped motor cycles mimicking crawling/swimming/walking, may modulate the recovery of cerebral hemisphere functions and subsequently affect the level of consciousness through the mechanism of afferent ontogenetic “recollection.”

AIM: To assess the changes in cerebral hemisphere function recovery based on the scores of the CRS-R, Behavioral Pain Scale, Ashworth Scale, and Glasgow Outcome Scale Extended (GOS-E) in patients with chronic disorders of consciousness undergoing locomotor therapy in unweighted conditions.

MATERIALS AND METHODS: A descriptive prospective comparative cohort study included 74 patients from 2019 to 2024. They were divided into two groups: intervention group ($n=44$) and control group ($n=30$). Patients in the intervention group, in addition to the main course of rehabilitation treatment, received 5 sessions of locomotor therapy in unweighted conditions.

RESULTS: The median level of consciousness score according to the CRS-R scale in the intervention group increased from 6 (5.4–6.6) to 9 (8.1–9.9) points ($p=0.0006$), while in the control group, it increased from 5.5 (4.7–6.3) to 7 (6–8) points ($p=0.0609$), indicating a statistically significant difference ($p < 0.00001$).

CONCLUSION: The significant improvement in the CRS-R score at discharge among patients undergoing locomotor therapy indicates that this treatment method has a positive effect on the level of consciousness.

Keywords: weightlessness; robotic-assisted; disorders of consciousness; CRS-R scale.

To cite this article:

Nagaev NS, Belkin VA, Belkin AA, Rudnik EN, Zhiguzhevsky RA, Rakhmatullin IF, Roznin AV. Locomotor therapy in unweighted conditions in patients with chronic disorders of consciousness. A prospective non-randomized single-center study. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2025;7(1):13–23. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab649890>

Список сокращений

BPS (Behavioral Pain Scale) — поведенческая шкала боли

CRS-R (Coma Recovery Scale-Revised) — пересмотренная версия шкалы восстановления после комы

MAS (Modified Ashworth Scale) — модифицированная шкала спастичности Эшворта

GOS-E (Glasgow Outcome Scale Extended) — расширенная версия оригинальной шкалы исходов Глазго

ОБОСНОВАНИЕ

Хроническое нарушение сознания относят к категории наиболее сложных повреждений центральной нервной системы, восстановление которого признано вершиной технологий нейрореабилитации. Мультидисциплинарные исследовательские команды во всём мире разрабатывают методы реабилитации пациентов с хроническим нарушением сознания, используя новейшие достижения в области нейрофизиологии, нейропсихологии и инженерных технологий. Большой частью они направлены на мультисайтовое адьювантное воздействие, т.е. обладают вспомогательным модулирующим эффектом на функционирующие системы генерации сознания. К числу наиболее перспективных методов неинвазивной стимуляции принадлежат транскраниальная магнитная стимуляция [1], транскраниальная электрическая стимуляция постоянным током, хроническая стимуляция срединного нерва [2–4], трансаурикулярное воздействие на блуждающий нерв [5] и пр.

Следует упомянуть фармакологические методы модуляции для пациентов с хроническим нарушением сознания. В одном из последних систематических обзоров [6] было показано, что амантадин способствует ускорению неврологического восстановления у пациентов с травматическим нарушением сознания, если препарат применяется в период между 4-й и 16-й неделями, о чём свидетельствует качественно проведённое рандомизированное контролируемое исследование. Несмотря на то, что крупных рандомизированных контролируемых исследований, подтверждающих использование других дофаминергических препаратов (бромокриптин, леводопа, апоморфин), не существует, имеется большое количество литературных данных, указывающих на их роль в улучшении бодрствования и реактивности при нарушениях сознания. Так, золпидем может повышать уровень сознания у небольшой группы пациентов; золпидем и интратекальный баклофен, вероятно, увеличивают уровень сознания через мезокортикальный путь. Авторы подчёркивают, что несмотря на положительные результаты применения адьювантных методов нейростимуляции, проявляющиеся в улучшении когнитивных и моторных функций, эффект лечения у пациентов с нарушением сознания остаётся переменным и зависит от индивидуальных особенностей и тяжести состояния.

Успехи в разработке базовых методов нейрореабилитации пациентов существенно скромнее, что связано с отсутствием стройной теории восстановления сознания. Наш интерес вызвали работы по влиянию кинезотерапии на мышечную спастичность. В исследовании A. Thibaut и соавт. [7] оценивалось влияние физической терапии (стретчинг, позиционирование, велокинез, вертикализация) на уровень спастичности (шкала Эшворта). Исследование продемонстрировало, что частота физической терапии оказывает значительное влияние на спастичность и наличие мышечных контрактур у пациентов с хроническим нарушением сознания. В исследовании, в которое было включено 109 пациентов с синдромом ареактивного бодрствования, состоянием минимального сознания и выходом из состояния минимального сознания, выявлено, что лица, получавшие менее 4 сеансов физической терапии в неделю (низкая физическая терапия), имели более высокий уровень мышечной спастичности (по шкале Эшворта) и более частое формирование мышечных контрактур по сравнению с пациентами, получавшими от 4 до 6 сеансов физической терапии. Отрицательная корреляция между частотой физической терапии и спастичностью наблюдалась преимущественно у пациентов с длительностью нарушения сознания более 12 месяцев после травмы. Кроме того, модель логистической регрессии показала, что частота физической терапии была значимым фактором, влияющим на уровень спастичности, при этом время после травмы и применение антиспастических препаратов незначительно влияли на уровень спастичности. Однако эти факторы наряду с частотой физической терапии ассоциировались с наличием мышечных контрактур. Объяснением полученным данным может служить тот факт, что регулярная двигательная активность стимулирует синоптическую пластичность в центральной нервной системе. Нейроны, участвующие в движении и сенсорной интеграции, формируют новые связи, что способствует восстановлению утраченных функций (ангиогенез, нейрогенез, изменения в кортикальных путях) [8].

В нескольких исследованиях [9–11], изучавших влияние робот-ассистированных тренировок на состояние пациентов с нарушением сознания, было подтверждено, что эти занятия безопасны для данной группы пациентов. Исследователями также подчёркивалась мысль, что данное направление требует дальнейшего изучения в многоцентровых рандомизированных исследованиях.

Подводя итог представленному обзору литературы, можно отметить, что в изучении процесса восстановления сознания у пациентов с хроническим нарушением сознания фокус интереса всё больше смещается с адьювантных фармакологических подходов на методы физической реабилитации и воздействия средой. Это может объясняться тем, что, во-первых, выборки пациентов недостаточно велики и очень гетерогенны по природе морфологических и функциональных повреждений, во-вторых, индивидуальные программы медицинской реабилитации включают в себя широкий диапазон мультидисциплинарных воздействий. В совокупности эти два обстоятельства не позволяют получить статистически значимые преимущества отдельного метода. В то же время физические методы реабилитации, равно как и разнообразное воздействие средой, широко применяются и в других сферах реабилитации, обнаруживая эффекты у пациентов разных групп, и нет веских причин отказывать пациентам с хроническим нарушением сознания в возможности получить пользу/преимущество от их использования. Особенно перспективными представляются методы, связанные с более продолжительным по времени воздействием и с использованием сложных двигательных паттернов, таких как ползание, плавание, с точки зрения их потенциального влияния на повышение уровня сознания. Одним из таких методов является локомоторная терапия в безопорном состоянии.

Восстановление сознания на фоне локомоторной терапии в безопорном состоянии основано на нескольких ключевых нейробиологических принципах:

- 1) нейропластичность: регулярная двигательная активность стимулирует синаптическую пластичность в центральной нервной системе; нейроны, участвующие в движении и сенсорной интеграции, формируют новые связи, что способствует восстановлению утраченных функций;
- 2) сенсомоторная интеграция: в процессе выполнения повторяющихся пассивных стереотипных двигательных движений обеспечивается комплексная сенсорная стимуляция, включая тактильные, проприоцептивные и вестибулярные сигналы, что способствует активации и реорганизации нейронных сетей, связанных с сознанием и движением;
- 3) активация корковых и подкорковых структур: стереотипная двигательная активность запускает нейрональные связи, участвующие в поддержании сознания и когнитивных функций (сюда входят корковые зоны — моторная и премоторная кора, а также подкорковые структуры — базальные ганглии и таламус);
- 4) стереотипная двигательная активность в условиях разгрузки веса способна снижать выраженность спастичности, что ограничивает поток патологической афферентации (барьер к инициации нормального функционирования сенсомоторного кольца), способствуя, в свою очередь, активации коркового моторного контроля.

Для осуществления локомоторной терапии у пациентов с хроническим нарушением сознания на сегодняшний день имеется очень ограниченный спектр оборудования. Одним из таких аппаратов мог бы стать роботизированный программно-аппаратный комплекс для локомоторной терапии в безопорном состоянии «КРИСАФ», исходно разработанный для реабилитации пациентов с позвоночно-спинно-мозговой травмой. Комплекс сочетает в себе применение роботизированной терапии и мультимодальной электростимуляции. Аппаратно-программный комплекс состоит из пяти модулей, от которых отходят тросы, к последним крепится подвешивающая система манжет. Пациента помещают в систему манжет в положении на животе. Манжеты фиксируют в области головы, верхних конечностей, груди, живота, таза, бёдер и дистальных отделов голеней. Вес пациента компенсируется пневматической системой, движение пациента осуществляется за счёт электрического привода. Программой заложена имитация трёх движений — плавания, ходьбы и прыжков (приседаний). Можно регулировать амплитуду движений, частоту, фазу, высоту положения участка тела во всех модулях. Все воссоздаваемые на аппарате движения (плавание, ходьба, прыжки) являются сложными двигательными паттернами, появляющимися у человека в результате онтогенеза. В результате возможна имитация естественных двигательных паттернов, которые в свою очередь создают сложный афферентный поток и потенцируют активность сенсомоторной коры.

Нами была сформулирована гипотеза: использование аппарата «КРИСАФ» у пациентов с хроническим нарушением сознания ввиду наличия пассивных стереотипных двигательных циклов, имитирующих ползание/плавание/ходьбу, может модулировать восстановление функций больших полушарий, а впоследствии и влиять на уровень сознания по механизму афферентного онтогенетического «воспоминания».

Цель исследования — оценить влияние локомоторной терапии в безопорном состоянии в составе реабилитационной программы на динамику восстановления функций больших полушарий на основании оценок по шкалам CRS-R (пересмотренная версия шкалы восстановления после комы), BPS (шкала болевого поведения), MAS (шкала спастичности Эшфорта), GOS-E (расширенная версия оригинальной шкалы исходов Глазго) у пациентов с хроническим нарушением сознания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Описательное проспективное сравнительное когортное исследование с последовательным набором двух групп (рис. 1).

Критерии соответствия

Критерии включения: пациенты с длительностью нарушения сознания более 28 дней; мужчины и женщины в возрасте старше 18 лет.

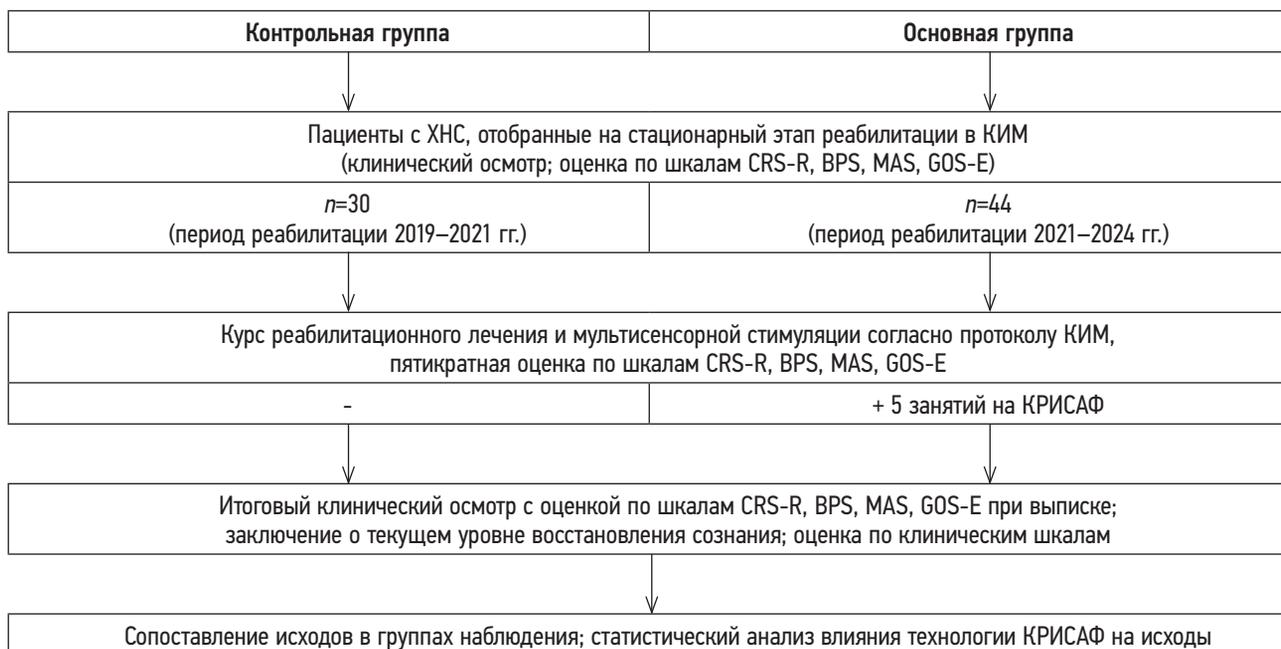


Рис. 1. Блок-схема дизайна исследования. ХНС — хроническое нарушение сознания; КИМ — Клиника института мозга.

Fig. 1. Flowchart of study design. XCH — chronic impairment of consciousness; КИМ — Clinical Institute of the Brain.

Критерии не включения: пациенты с продлённым нарушением сознания на момент госпитализации (менее 28 дней); возраст менее 18 лет; отсутствие возможности позиционирования пациента в безопорном состоянии (наличие контрактур, избыточный вес и т.д.).

Условия проведения

Исследование проведено на базе отделения реабилитации и интенсивной терапии реабилитационного центра Клиники института мозга (ОРИТ КИМ) в период с 2019 по 2024 год.

Маршрутизация пациентов в реабилитационный центр КИМ осуществлялась после предварительного телеконсилиума с участием лечащего профильного специалиста и врача ОРИТ консультируемого пациента, с одной стороны, и врача ОРИТ и отделения медицинской реабилитации КИМ — с другой.

Описание медицинского вмешательства

Пациенты были разделены на основную и контрольную группы. Пациенты основной группы помимо основного курса реабилитационного лечения получили по 5 процедур локомоторной терапии в безопорном состоянии на аппарате «КРИСАФ».

Протокол проведения реабилитационной сессии на комплексе аппаратно-программном для локомоторной терапии в безопорном состоянии. Сеанс терапии длится 30 минут, делится на три периода по 10 минут каждый. Первые 10 минут — работа в режиме «плавание» при частоте движения 0,7 Гц, амплитуда подбирается исходя из двигательных возможностей пациента,

учитывая влияние спастичности. Стимуляция стартует в фазу разгибания колена, происходит разгибание колен. Вторые 10 минут — работа в режиме «прыжки» при частоте движения 0,6–0,7 Гц, амплитуда подбирается исходя из двигательных возможностей пациента. Стимуляция стартует в фазу разгибания бёдер, результат стимуляции — толчковое движение ногами. Третьи 10 минут — работа в режиме «ходьба» при частоте движения 0,6–0,7 Гц, амплитуда подбирается исходя из двигательных возможностей пациента. Стимуляция — в фазу разгибания бёдер, в опорную фазу шага — поочерёдно.

Учитывая накопленный опыт применения электро-стимуляции во время занятий в роботизированных тренажёрах у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой [12], пациентам с хроническим нарушением сознания во время занятия на аппарате «КРИСАФ» также проводилась чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга, при этом электрические импульсы были синхронизированы с фазами сокращения различных мышечных групп.

Наложение электродов при чрескожной электрической стимуляции спинного мозга: активный электрод — между остистыми отростками Th12–L1, пассивный электрод — в подвздошной области живота. Амплитуда тока при стимуляции подбирается таким образом, чтобы визуально наблюдался мышечный ответ.

Исходы исследования

Основной исход исследования. Повышение баллов при оценке уровня сознания пациентов по шкале CRS-R

на момент выписки констатировалось как благоприятный клинический эффект после проведения локомоторной терапии в безопорном состоянии.

Методы регистрации исходов

Оценка состояния пациентов проводилась с помощью общепринятых шкал, выбранных для использования в рамках протокола исследования. Основной целью исследования была оценка динамики по шкале CRS-R, выбранной в качестве общепринятого инструмента оценки сознания у пациентов с хроническим нарушением сознания. В оценку также были включены шкалы BPS (Behavioral Pain Scale), MAS (шкала спастичности Эшфорта), GOS-E (Glasgow Outcome Scale Extended).

Статистический анализ

Данные представлены в виде медиан (Me) и доверительных интервалов значений (95% ДИ). В случае нормального распределения при сравнении групп использовался t-критерий Стьюдента; при отклонении гипотезы нормальности распределения выборок при сравнении групп применялся непараметрический критерий Вилкоксона. Критерием статистической значимости получаемых выводов считалась общепринятая в медицине величина $p < 0,05$. Накопление, корректировка, систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов осуществлялись в программах Microsoft Office Excel 2016 и программной среде R.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

Пациенты, включённые в исследование ($n=74$), были разделены на контрольную ($n=30$; 11 женщин и 19 мужчин) и основную ($n=44$; 16 женщин и 28 мужчин) группы, сопоставимые по полу, возрасту, сроку давности хронического нарушения сознания и степени нарушения сознания (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики сравниваемых групп

Table 1. Study groups

Параметр	Группа	
	Основная	Контрольная
Число пациентов; муж/жен	44; 28/16	30; 19/11
Возраст, лет	34,5 (18; 74)	36,7 (18; 68)
Генез нарушения сознания:		
• черепно-мозговая травма (Т90.5)	25 (56,8%)	11 (36,7%)
• цереброваскулярная болезнь (I69.0–I69.3)	19 (43,2%)	19 (63,3%)
• аноксия (Т98.1)		
Срок давности хронического нарушения сознания, сут	158,7	140,5

Основные результаты исследования

Динамика уровня сознания (оценка по шкале CRS-R) на момент поступления и при выписке представлена на рис. 2. Так, медиана (95% ДИ) оценки по шкале CRS-R на момент поступления у пациентов основной группы составила 6 (5,4–6,6) баллов, на фоне лечения зарегистрировано её значимое повышение до 9 (8,1–9,9) баллов ($p=0,0006$). У пациентов контрольной группы, в которой использовались аналогичные принципы реабилитационного лечения без применения КРИСАФ, оценка по шкале CRS-R до начала и после реабилитации увеличилась с 5,5 (4,7–6,3) до 7 (6–8) баллов, различия не были статистически значимыми ($p=0,0609$). При межгрупповом сравнении динамика показателей по CRS-R в основной группе была более выраженной, чем в группе контроля ($p < 0,00001$), что свидетельствует о явной эффективности локомоторной терапии в безопорном состоянии в отношении улучшения уровня сознания у пациентов с хроническим нарушением сознания.

На рис. 3 представлена динамика болевого поведения в соответствии со шкалой BPS у пациентов с хроническим нарушением сознания основной (график 1) и контрольной (график 2) группы. Так, у пациентов, прошедших локомоторную терапию, наблюдалась тенденция к снижению выраженности болевого поведения: медиана (95% ДИ) в основной группе при поступлении и выписке составила 0 (0–3) и 0 (0–0,9) баллов соответственно ($p=0,1021$), при этом обращает на себя внимание сокращение разброса значений по шкале на момент выписки. В контрольной группе существенного изменения выраженности болевого поведения на фоне лечения не выявлено: медиана оценки по шкале BPS на момент поступления и выписки составила 0 (0–2) баллов ($p=0,9169$). Вероятно, отсутствие достоверных изменений в обеих группах связано с низкой выраженностью боли при поступлении.

У всех пациентов определяли уровень мышечного тонуса в соответствии с общепринятой модифицированной шкалой Эшворта (динамика оценки представлена

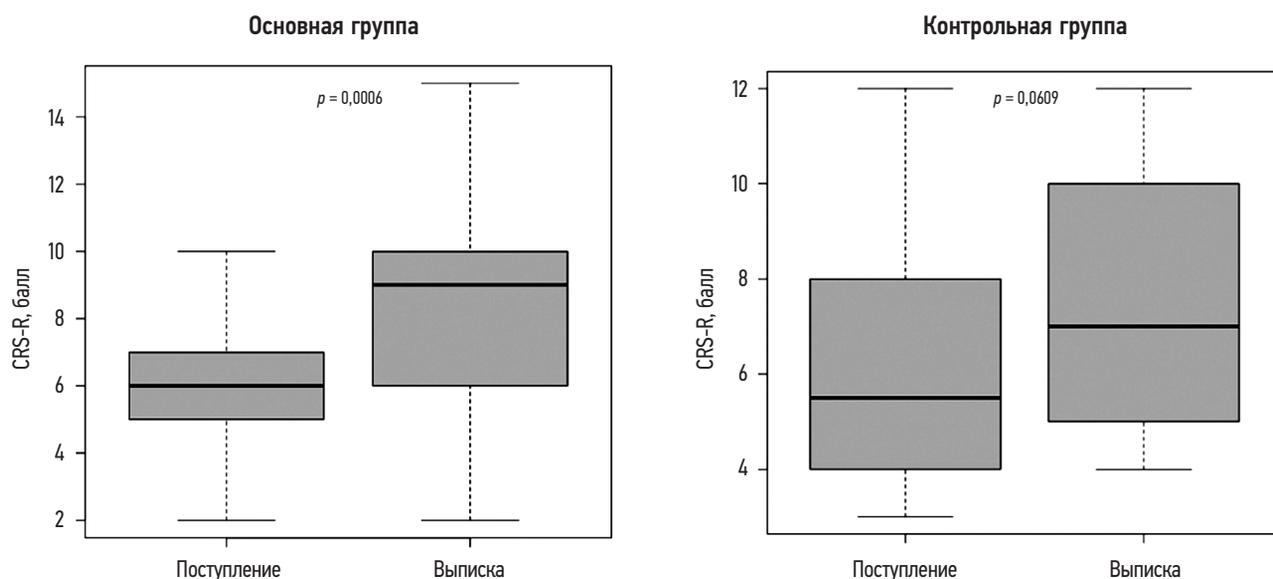


Рис. 2. Динамика оценок по шкале восстановления после комы CRS-R (пересмотренная версия) в период курса реабилитации.

Fig. 2. Changes in CRS-R scale scores during the rehabilitation course.

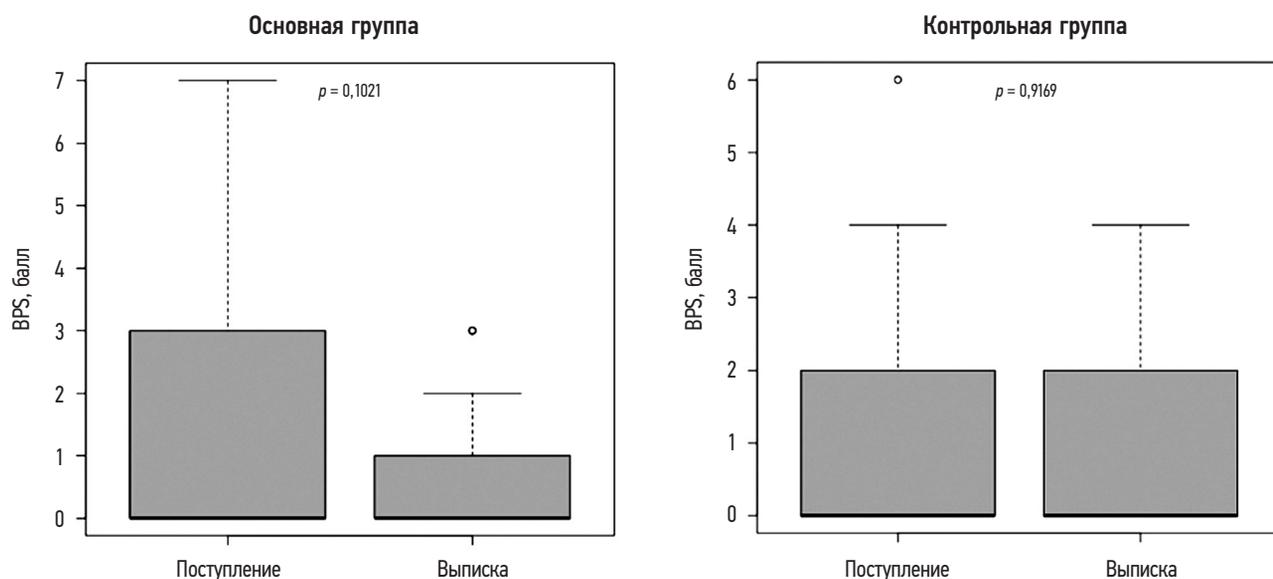


Рис. 3. Динамика выраженности болевого поведения по шкале BPS.

Fig. 3. Dynamics of the severity of pain behavior based on the BPS scale.

на рис. 4). У пациентов основной и контрольной групп на момент поступления медиана (95% ДИ) уровня спастичности составила 2 (1,7–2,3) и 2 (1,5–2,5) балла соответственно. На момент выписки зарегистрировали статистически значимое снижение оценки у пациентов, получавших локомоторную терапию, до 1 (0,7–1,3) балла ($p=0,0134$), тогда как аналогичный показатель у участников контрольной группы за время лечения существенно не изменился и составил 2 (1,5–2,4) балла ($p=0,1991$).

На рис. 5 представлена динамика восстановления уровня сознания по шкале GOS-E у пациентов основной и контрольной групп на фоне лечения. В обеих группах отмечали улучшение уровня сознания за время госпитализации ($p=0,0145$ и $p=0,0145$ для основной и контрольной группы при сравнении с показателем до начала лечения соответственно). При межгрупповом сравнении статистически значимых различий в динамике оценки по шкале GOS-E не выявлено ($p=0,5$).

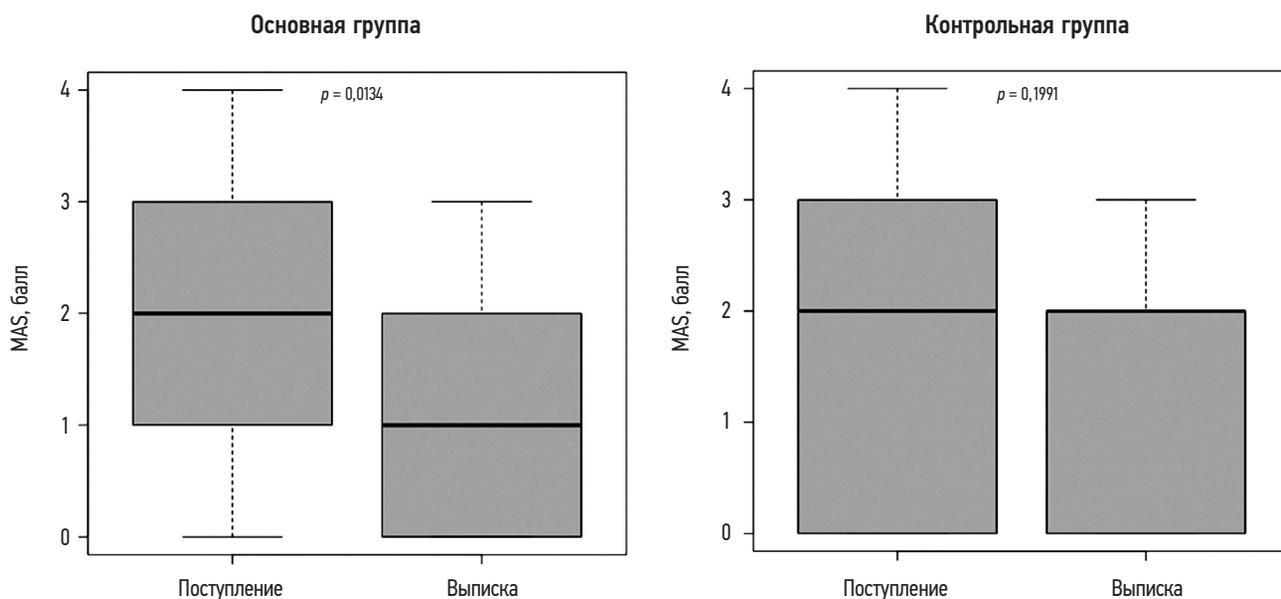


Рис. 4. Динамика оценки по шкале спастичности Эшворта.

Fig. 4. Dynamics of the evaluation according to the Ashworth scale.

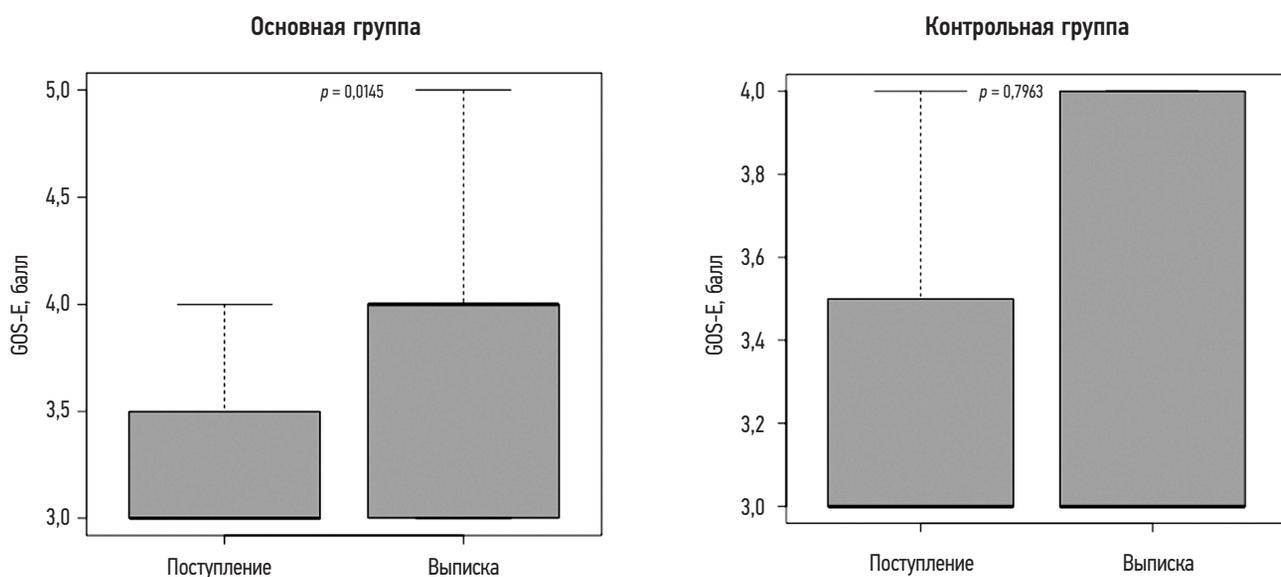


Рис. 5. Динамика оценки по оригинальной шкале исходов Глазго GOS-E (расширенная версия).

Fig. 5. Dynamics of the evaluation according to the GOS-E scale.

Нежелательные явления

В ходе исследования нежелательных явлений, а также различий в показателях жизненно важных функций, имеющих статистическую значимость, между пациентами исследуемых групп не зарегистрировано, что указывает на безопасность локомоторной терапии в безопорном состоянии у пациентов с хроническим нарушением сознания.

ОБСУЖДЕНИЕ

В обсуждении полученных данных уместно коснуться теории онтогенеза. Движения на этапах формирования человека как социального объекта играют ключевую роль. Показано, что произвольная деятельность появляется по мере того, как усложняется двигательное поведение. К концу первого года жизни у ребёнка формируется система контроля гравитационного градиента, позволяющая

обеспечить хождение на двух ногах (бипедия). Этому предшествует возникновение позотонических реакций и сложных двигательных паттернов (ползание). Именно на этом этапе (рис. 6) появляются признаки осознанного поведения и речевая продукция, так называемая гоминимная триада (прямохождение, мозг и речь) [13].

Если признать правомочность данных уникального отечественного исследования [14], то в период прохождения через родовые пути новорождённый пребывает в состоянии аутогибернации, что, по сути, является аналогом коматозного состояния, присущего тяжёлому церебральному повреждению, составляющему первопричину формирования продлённого и хронического нарушения сознания. Размышляя на эту тему, можно предположить, что имитация афферентного потока в соответствии с онтогенетическим сценарием формирования сознания может иметь эффект на повышение активности сенсорной коры. С другой стороны, спастичность как одно из типичных проявлений комплексного повреждения кортикоспинального тракта у пациентов с хроническим нарушением сознания являет собой сущность патологической афферентации, которая вызывает болезненную проприоцепцию и ограничивает пассивные движения вплоть до их невозможности при контрактурах. Это создаёт существенный барьер для эффективного реабилитационного лечения в виде болевого поведения и значительных ограничений при позиционировании и пассивной кинезитерапии.

В ходе проведённого исследования динамика снижения уровня спастичности у пациентов, получивших терапию КРИСАФ, оказалась статистически значимо выше. Одновременно с этим снизилась и выраженность болевого поведения. В группе, прошедшей эту терапию, наблюдалось снижение разброса значений по шкале BPS с 0–3 до 0–0,9 балла без статистически значимых различий оценки по BPS на момент поступления и выписки ($p=0,1021$). Мы предполагаем, что между регрессом спастичности и боли у пациентов с хроническим нарушением сознания имеется причинно-следственная связь, на которой и основан терапевтический эффект локомоторной терапии. Это подтверждается результатами тестирования по шкале CRS-R: у пациентов основной группы уровень сознания достоверно повысился с 6 до 9 баллов, в то время как в контрольной группе остался без изменений — 6–7 баллов. Шкала GOS-E продемонстрировала достоверную динамику в обеих группах без межгрупповых различий.

Гипотеза исследования о возможности повышения эффективности реабилитации пациентов с хроническим нарушением сознания с использованием механизма афферентного онтогенетического «воспоминания» по технологии пассивной локомоторной терапии «КРИСАФ» подтвердилась, а значит, является перспективной для дальнейшего изучения с расширением объёма выборки пациентов и детального анализа.



Рис. 6. Эволюция движения и сознания в процессе онтогенеза [13].

Fig. 6. Evolution of movement and consciousness in the process of ontogenesis [13].

Учитывая полученную положительную динамику при краткосрочном цикле (5 занятий + чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга), можно ожидать увеличение эффекта от терапии при более продолжительном цикле. Исследование также не исключило правомочность высказанной выше теории онтогенетического подхода к восстановлению сознания у пациентов с тяжёлыми формами острой церебральной недостаточности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применённый впервые в мировой практике метод безопорной локомоторной терапии на основе технологии «КРИСАФ» в комплексной реабилитации пациентов с хроническим нарушением сознания позволил достигнуть значительной динамики в повышении уровня сознания за счёт уменьшения мышечной спастичности и выраженности болевого поведения.

При проведении процедуры «КРИСАФ» проводился электроэнцефалографический мониторинг, анализ которого пока не завершён и будет описан в отдельной публикации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Н.С. Нагаев — сбор данных, клиническое обследование пациента, написание текста; В.А. Белкин — сбор данных, клиническое обследование пациента; А.А. Белкин — разработка дизайна, анализ данных; Е.Н. Рудник — сбор данных, клиническое обследование пациента; Р.А. Жигушевский — проведение локомоторной терапии в безопорном состоянии, сбор данных; И.Ф. Рахматуллин — автор концепции и создатель технологии «КРИСАФ»; А.В. Рознин — проведение локомоторной терапии в безопорном состоянии, сбор данных. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом автономной некоммерческой организации «Клинический институт мозга» (протокол № 002/0503 от 12.03.2023). Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. ООО «Крисаф» предоставил оборудование для проведения исследования. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При проведении исследования и создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Доступ к данным, полученным в настоящем исследовании, открыт. Получить можно, связавшись с автором, ответственным за переписку.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions. N.S. Nagaev — data collection, clinical examination of the patient, text writing; V.A. Belkin — data collection, clinical examination of the patient; A.A. Belkin — design development, data analysis; E.N. Rudnik — data collection, clinical examination of the patient; R.A. Zhiguzhevsky — unsupported locomotor therapy, data collection; I.F. Rakhmatullin — author of the concept and creator of the KRISAF technology; A.V. Roznin — unsupported locomotor therapy, data collection. Thereby, all authors provided approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of the autonomous non-profit organization “Clinical Institute of the Brain” (Protocol No. 002/0503 dated 12.03.2023). All study participants voluntarily signed an informed consent form prior to inclusion in the study.

Funding sources. No funding.

Disclosure of interests. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Statement of originality. During the conduction of the study and the creation of this work, the authors did not use previously published information (text, illustrations, data).

Data availability statement. Access to the data obtained in this study is open. It can be obtained by contacting the corresponding author.

Generative AI. Generative AI technologies were not used for this article creation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Wan X, Zhang Ye, Li Ya, Song W. An update on noninvasive neuromodulation in the treatment of patients with prolonged disorders of consciousness. *CNS Neurosci Ther.* 2024;30(5):e14757. doi: 10.1111/cns.14757 EDN: QVKTGV
2. Cooper JB, Jane JA, Alves WM, Cooper EB. Right median nerve electrical stimulation to hasten awakening from coma. *Brain Inj.* 1999;13(4):261–267. doi: 10.1080/026990599121638
3. Peri CV, Shaffrey ME, Farace E, et al. Pilot study of electrical stimulation on median nerve in comatose severe brain injured patients: 3 month outcome. *Brain Inj.* 2001;15(10):903–910. doi: 10.1080/02699050110065709
4. Wu X, Zhang C, Feng J, et al. Right median nerve electrical stimulation for acute traumatic coma (the Asia Coma Electrical Stimulation trial): Study protocol

for a randomised controlled trial. *Trials*. 2017;18(1):311. doi: 10.1186/s13063-017-2045-x

5. Noé E, Ferri J, Colomer C, et al. Feasibility, safety and efficacy of transauricular vagus nerve stimulation in a cohort of patients with disorders of consciousness. *Brain Stimul*. 2020;13(2):427–429. doi: 10.1016/j.brs.2019.12.005 EDN: OQELSD

6. Marino MH. Pharmacology in treatment of patients with disorders of consciousness. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2024;35(1):155–165. doi: 10.1016/j.pmr.2023.06.023 EDN: CAJLMD

7. Thibaut A, Wannez S, Deltombe T, et al. Physical therapy in patients with disorders of consciousness: Impact on spasticity and muscle contracture. *NeuroRehabilitation*. 2018;42(2):199–205. DOI: 10.3233/NRE-172229

8. Nudo RJ. Neural bases of recovery after brain injury. *J Commun Disord*. 2011;44(5):515–520. doi: 10.1016/j.jcomdis.2011.04.004

9. Esquenazi A, Lee S, Wikoff A, et al. A comparison of locomotor therapy interventions: Partial-body weight-supported treadmill, Lokomat, and G-EO training in people with traumatic brain injury. *PM R*. 2017;9(9):839–846. doi: 10.1016/j.pmrj.2016.12.010

10. Williams K, Christenbury J, Niemeier JP, et al. Is robotic gait training feasible in adults with disorders of consciousness? *J Head Trauma Rehabil*. 2020;35(3):E266–E270. doi: 10.1097/HTR.0000000000000523 EDN: DMNAZK

11. Esquenazi A, Lee S, Packel AT, Braitman L. A randomized comparative study of manually assisted versus robotic-assisted body weight supported treadmill training in persons with a traumatic brain injury. *PM R*. 2013;5(4):280–290. doi: 10.1016/j.pmrj.2012.10.009

12. Hofstoetter US, Krenn M, Danner SM, et al. Augmentation of voluntary locomotor activity by transcutaneous spinal cord stimulation in motor-incomplete spinal cord-injured individuals. *Artif Organs*. 2015;39(10):E176–E186. doi: 10.1111/aor.12615 EDN: VGFIL

13. Belkaniya GS, Dilenyan LR, Bagriy AS, et al. «Gravitational biology--anthropology» in justification of anthropogenic bases of health and illness. *Modern problems of science and education*. 2014;(4):280. EDN: STROTH

14. Bebenina IP. Neurological status of human foetus in labour and its analysis in evolutionary aspect. *S.S. Korsakov journal of neurology and psychiatry*. 1983;83(12):1800–1804. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

* **Белкин Андрей Августович**, д-р мед. наук, профессор;
адрес: Россия, 623702, Свердловская обл., Березовский,
ул. Шиловская, д. 28-6;
ORCID: 0000-0002-0544-1492;
eLibrary SPIN: 6683-4704;
e-mail: belkin@neuro-ural.ru

Нагаев Никита Сергеевич;
ORCID: 0009-0007-0561-4879;
eLibrary SPIN: 9610-4678;
e-mail: nagaevns@yandex.ru

Белкин Владимир Андреевич;
ORCID: 0000-0002-4043-743X;
eLibrary SPIN: 4402-0608;
e-mail: vbelkin@neuro-clinic.ru

Рудник Евгений Николаевич;
ORCID: 0000-0001-9979-1276;
e-mail: erudnik@mail.ru

Жигушевский Роман Андреевич;
ORCID: 0000-0001-6673-8866;
e-mail: zhiguzhevskiyra@mail.ru

Рахматуллин Ильдар Фарвазович;
ORCID: 0009-0003-5845-6385;
e-mail: rif@krisaf.com

Рознин Андрей Вадимович;
ORCID: 0009-0003-9950-4494;
e-mail: roznin.andrei@yandex.ru

AUTHORS' INFO

* **Andrey A. Belkin**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
address: 28-6 Shilovskaya st, Sverdlovsk region, Berezhovskiy,
Russia, 623702;
ORCID: 0000-0002-0544-1492;
eLibrary SPIN: 6683-4704;
e-mail: belkin@neuro-ural.ru

Nikita S. Nagaev;
ORCID: 0009-0007-0561-4879;
eLibrary SPIN: 9610-4678;
e-mail: nagaevns@yandex.ru

Vladimir A. Belkin;
ORCID: 0000-0002-4043-743X;
eLibrary SPIN: 4402-0608;
e-mail: vbelkin@neuro-clinic.ru

Evgeniy N. Rudnik;
ORCID: 0000-0001-9979-1276;
e-mail: erudnik@mail.ru

Roman A. Zhiguzhevsky;
ORCID: 0000-0001-6673-8866;
e-mail: zhiguzhevskiyra@mail.ru

Ildar F. Rakhmatullin;
ORCID: 0009-0003-5845-6385;
e-mail: rif@krisaf.com

Andrey V. Roznin;
ORCID: 0009-0003-9950-4494;
e-mail: roznin.andrei@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab642276>

Динамическая оценка индексов функционирования сердечно-сосудистой системы и адаптационного потенциала пациентов после ишемического инсульта при проведении реабилитационных мероприятий

К.П. Иванов^{1, 2}, В.Т. Долгих¹¹ Федеральное научно-клиническое учреждение здравоохранения «Федеральный научный центр реаниматологии и реабилитологии», Москва, Россия;² Государственный научный центр Российской Федерации — Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. На сегодняшний день инсульты занимают лидирующую позицию среди показателей первичной инвалидизации, что обуславливает необходимость поиска новых подходов к оценке восстановительного лечения пациентов с острыми нарушениями мозгового кровообращения, которые позволят более эффективно проводить мероприятия по медицинской реабилитации. Изучение в динамике функциональных нарушений сердечно-сосудистой системы при ишемическом инсульте, определение возможности оптимизации восстановительного лечения и усовершенствование реабилитационных мероприятий позволят улучшить клинический и социальный прогноз пациентов, повысить качество их жизни и уменьшить количество осложнений и летальность.

Цель исследования — оценить функциональное состояние сердечно-сосудистой системы и её адаптационный потенциал на втором этапе реабилитации у пациентов, перенёсших ишемический инсульт.

Материалы и методы. Для 66 пациентов в возрасте от 41 года до 82 лет после ишемического инсульта проведён второй этап реабилитации с исследованием функционального состояния сердечно-сосудистой системы. Осуществляли холтеровское мониторирование электрокардиограммы и артериального давления в первые и десятые сутки реабилитационного лечения. Проводили анализ параметров артериального давления и частоты сердечных сокращений. Динамику показателей сердечно-сосудистой системы, а также её адаптационный потенциал оценивали при помощи индексов функционирования сердечно-сосудистой системы.

Результаты. Интегральная оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы пациентов позволяет констатировать мобилизацию адаптационных возможностей организма при проведении реабилитационного лечения. Отмечено плавное снижение систолического и диастолического артериального давления, улучшение параметров пульсового давления, индекса функциональных изменений, адаптационного потенциала, вегетативного индекса Кердо, индекса Робинсона, коэффициента выносливости. Положительная тенденция функционирования сердечно-сосудистой системы отмечается в 83,33% наблюдений ($n=66$). У женщин наблюдается лучшая динамика по показателям работы системы кровообращения по сравнению с мужчинами.

Заключение. Использование индексов интегральной оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы актуально и патогенетически обосновано при реабилитационных мероприятиях после перенесённого ишемического инсульта. Отмечается отчётливая тенденция положительной динамики значений функционирования и повышения адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы, подтверждающая эффективность проводимых реабилитационных мероприятий. Представленные методы оценки могут быть предложены в качестве способа мониторинга эффективности реабилитации у постинсультных пациентов.

Ключевые слова: ишемический инсульт; реабилитация; сердечно-сосудистая система; холтеровское мониторирование ЭКГ; суточное мониторирование АД; индексы кровообращения.

Как цитировать:

Иванов К.П., Долгих В.Т. Динамическая оценка индексов функционирования сердечно-сосудистой системы и адаптационного потенциала пациентов после ишемического инсульта при проведении реабилитационных мероприятий // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2025. Т. 7, № 1. С. 24–36. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab642276>

DOI: <https://doi.org/10.366425/rehab642276>

Dynamic assessment of cardiovascular system functioning indices and adaptive potential in patients after ischemic stroke during rehabilitation

Kirill P. Ivanov^{1, 2}, Vladimir T. Dolgikh¹¹ Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russia;² Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Stroke is the leading cause of primary disability, necessitating the search for new approaches to evaluating restorative treatment in patients with acute cerebrovascular events. Such approaches would facilitate the more effective implementation of medical rehabilitation measures. Studying of the dynamics of cardiovascular system dysfunction during ischemic stroke, determination of the potential for optimizing restorative treatment, and improvement of rehabilitation measures will enhance the clinical and social prognosis for patients, improve their quality of life, and reduce the incidence of complications and mortality.

AIM: To evaluate the functional state of the cardiovascular system and its adaptive potential at the second stage of rehabilitation in patients after ischemic stroke.

MATERIALS AND METHODS: Sixty-six patients aged 41 to 82 years underwent the second stage of rehabilitation after ischemic stroke, with an assessment of the functional state of the cardiovascular system. Holter electrocardiogram and blood pressure monitoring was performed on the first and tenth days of rehabilitation treatment. The analysis included blood pressure and heart rate. The changes in cardiovascular system function and adaptive potential were assessed using cardiovascular system function indices.

RESULTS: An integral assessment of the functional state of the cardiovascular system demonstrated mobilization of the body's adaptive capabilities during rehabilitation. A gradual decrease in systolic and diastolic blood pressure was noted, along with improvements in pulse pressure parameters, the functional change index, adaptive potential, Kerdo's vegetative index, Robinson's index, and endurance coefficient. A positive trend in cardiovascular system function was observed in 83.3% of cases ($n=66$). Women demonstrated better progress in circulatory system performance compared with men.

CONCLUSION: During post-stroke rehabilitation, the use of integral indices to assess the functional state of the cardiovascular system is relevant and pathogenetically justified. A distinct positive trend in functional values and an increase in the adaptive potential of the cardiovascular system were observed, confirming the effectiveness of the rehabilitation measures taken. The proposed assessment methods may be useful for monitoring the effectiveness of rehabilitation in patients after ischemic stroke.

Keywords: ischemic stroke; rehabilitation; cardiovascular system; Holter electrocardiography; blood pressure monitoring; circulatory indices.

To cite this article:

Ivanov KP, Dolgikh VT. Dynamic assessment of cardiovascular system functioning indices and adaptive potential in patients after ischemic stroke during rehabilitation. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2025;7(1):24–36. DOI: <https://doi.org/10.366425/rehab642276>

Список сокращений

АП — адаптационный потенциал

ВИК — вегетативный индекс Кердо

ДАД/САД — диастолическое/систолическое артериальное давление

ДП — двойное произведение (индекс Робинсона)

ИФИ — индекс функциональных изменений

КВ — коэффициент выносливости

МОК — минутный объём кровообращения

ПД — пульсовое давление

ССС — сердечно-сосудистая система

УОС — ударный объём сердца

ЧСС — частота сердечных сокращений

ОБОСНОВАНИЕ

Диагностика, лечение и профилактика острых сосудистых нарушений головного мозга — важная медико-социальная проблема. Согласно материалам, подготовленным Федеральной службой государственной статистики, нозологические формы этой группы занимают второе место в структуре летальности среди всех сердечно-сосудистых заболеваний (39%). Удельный вес острых нарушений мозгового кровообращения, заканчивающихся летальным исходом, составляет 24,1% [1]. Приблизительно 87% инсультов являются ишемическими [2]. Патогенные факторы, действующие на организм при развитии ишемического инсульта, нарушают гемодинамику в артериях головного мозга и вызывают в последующем дегенеративные изменения [3–5].

На сегодняшний день инсультам принадлежит лидирующая позиция среди показателей первичной инвалидизации. Инвалидность с нетрудоспособностью отмечается у 20%, с ограниченной трудоспособностью — у 56% и всего 8% пациентов, перенёсших острое нарушение мозгового кровообращения, способны вернуться к трудовой деятельности [1, 6]. Ранее начало реабилитации способствует более полному и быстрому восстановлению нарушенных функций головного мозга [2, 7].

В Российской Федерации принята трёхэтапная система реабилитации больных после инсульта. Первый этап медицинской реабилитации [в острейший (до 72 часов) и острый (до 28 суток) периоды заболевания] проводится в медицинских учреждениях, оказывающих специализированную медицинскую помощь в стационарных условиях. Второй этап медицинской реабилитации (от 28 суток до 6 месяцев от начала заболевания) осуществляется в стационарных условиях в отделениях медицинской реабилитации пациентов с нарушением функции периферической нервной системы и костно-мышечной системы, медицинской реабилитации пациентов с нарушением функции центральной нервной системы и медицинской реабилитации пациентов с соматическими заболеваниями, созданных в медицинских организациях, в том числе в центрах медицинской реабилитации, санаторно-курортных организациях. Третий этап медицинской реабилитации

(от 6 месяцев до 2 лет) осуществляется в амбулаторных условиях и/или на базе дневного стационара¹ [2].

Определение возникающих функциональных нарушений при развитии ишемического инсульта, изучение в динамике патогенетических факторов функционально-метаболических и структурных нарушений сердечно-сосудистой системы при ишемическом инсульте, определение возможности оптимизации восстановительного лечения у пациентов после перенесённого ишемического инсульта, усовершенствование реабилитационных мероприятий и комплексный подход с позиции патофизиологии позволят глубже понять суть проблемы и улучшить клинический и социальный прогноз пациентов, повысить качество их жизни и уменьшить как количество осложнений, так и летальность в целом [8–10].

Цель исследования — оценить функциональное состояние и адаптационный потенциал сердечно-сосудистой системы у пациентов в раннем восстановительном периоде после ишемического инсульта.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Выполнено контролируемое (сравнительное) проспективное нерандомизированное клиническое исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения: пациенты с различными кардиальными и неврологическими нарушениями в раннем восстановительном периоде после ишемического инсульта.

¹ Приказ Минздрава России от 31.07.2020 № 788н (ред. от 07.11.2022) «Об утверждении Порядка организации медицинской реабилитации взрослых» (Зарегистрировано в Минюсте России 25.09.2020 № 60039). Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363102/?ysclid=m7gjdtdde877220660 Дата обращения: 15.02.2025.

Order of the Ministry of Health of Russia from 31.07.2020 N 788n (ed. from 07.11.2022) "Ob utverzhdenii Poryadka organizatsii meditsinskoi rehabilitatsii vzroslykh" (Registered in the Ministry of Justice of Russia 25.09.2020 N 60039). (In Russ.) Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363102/?ysclid=m7gjdtdde877220660 Accessed: 15 Feb 2025.

Критерии исключения: пациенты с наличием на электрокардиограмме значимых нарушений ритма сердца и признаков ишемии миокарда.

Условия проведения

Исследование проведено на базах ФГБНУ «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии» (ФНКЦ РР) и ФГБУН «Государственный научный центр Российской Федерации — Институт медико-биологических проблем Российской академии наук» (ГНЦ РФ – ИМБП РАН).

Продолжительность исследования

В первые и десятые сутки наблюдения фиксировали следующие параметры: среднесуточные средние, максимальные и минимальные значения частоты сердечных сокращений, систолического и диастолического артериального давления.

Описание исследования

Из пациентов обоего пола в возрасте от 41 года до 83 лет, перенёвших инфаркт головного мозга и включённых в исследование ($n=66$), сформированы три сопоставимые по числу участников группы.

Исследования проходили в два этапа — до проведения реабилитационных мероприятий (1-е сутки) и на 10-е сутки реабилитационного лечения. В начале первого этапа у всех пациентов регистрировали возраст, рост и вес. Программа реабилитации включала 10 ежедневных физиотерапевтических процедур: сухие углекислые ванны (оборудование — «Реабокс», Россия) со скоростью подачи диоксида углерода (Carbon dioxide, CO₂) 20 л/мин и температурой газовой смеси 30°C продолжительностью 15 минут; низкоинтенсивную магнитотерапию (оборудование — «Полюс-2М», Россия) на шейно-воротниковую область с частотой 50 Гц, режим непрерывный, магнитная индукция до 25 мТл, продолжительностью 15 минут; 10 ежедневных занятий лечебной физкультурой в индивидуальном режиме продолжительностью 45 минут с дополнительным использованием механотерапевтического оборудования [30 минут занятий на велотренажёре Bremshey Cardio Comfort Ambition (Bremshey, Германия) и 30 минут силовых тренировок на тренажёре Body-Solid EXM-2000/S (Body-Solid, США)]. Кроме того, пациенты ежедневно выполняли стояние у шведской стенки продолжительностью 20 минут; ежедневно в течение 10 дней получали лечебный массаж шейно-воротниковой области продолжительностью 30 минут, а также ежедневное внутривенное капельное введение Мексидола по 50 мг/1000 мл в течение 10 дней. По завершении второго этапа реабилитации при выписке из отделения пациенту выдавали выписку из медицинской карты, в которой указывали клинический и реабилитационный диагнозы, сведения

о реабилитационном потенциале, индивидуальный план медицинской реабилитации, факторы риска проведения реабилитационных мероприятий и следующий этап медицинской реабилитации [8].

Холтеровское мониторирование электрокардиограммы и суточное мониторирование артериального давления проводили с использованием оборудования Astrocord Holter System 2F (Медитек, Россия).

В ходе исследования проанализированы индивидуальные и средние показатели частоты сердечных сокращений (ЧСС), систолического и диастолического артериального давления (САД и ДАД). На основе данных САД и ДАД определяли пульсовое давление (ПД). Для оценки изменений в работе сердечно-сосудистой системы (ССС) и её адаптационного потенциала были рассчитаны индекс функциональных изменений, адаптационный потенциал, коэффициент выносливости, двойное произведение (индекс Робинсона), вегетативный индекс Кердо, ударный объём сердца и минутный объём кровообращения. Индекс функциональных изменений (ИФИ) представляет собой комплексный показатель, отражающий сложную систему функциональных взаимодействий, характеризующих состояние ССС. Этот показатель позволяет провести количественную оценку уровня здоровья и состояния организма в целом и рассчитывается по формуле Р.М. Баевского [11–13]:

$$\text{ИФИ} = 0,011\text{ЧСС} + 0,014\text{САД} + 0,008\text{ДАД} + 0,014\text{В} + 0,009\text{МТ} - 0,009\text{Р} - 0,27,$$

где В — возраст (в годах); МТ — масса тела (в кг); Р — рост (в см). Значения ИФИ (в баллах) до 2,59 указывают на удовлетворительную адаптацию, от 2,60 до 3,09 — на напряжение механизмов адаптации. При ИФИ от 3,10 до 3,49 баллов адаптация считается неудовлетворительной, свыше 3,5 определяются срыв адаптации и снижение функциональных резервов ССС.

Адаптационный потенциал (АП) рассчитывали по формуле, предложенной Л.А. Коневских [14]:

$$\text{АП} = 1,238 + 0,09 \times \text{ЧП},$$

где 1,238 и 0,09 — коэффициенты уравнения; ЧП — частота пульса. Значения АП (в баллах) менее 7,2 указывают на удовлетворительную адаптацию, от 7,21 до 8,24 — на напряжение механизмов адаптации; при показателях от 8,25 до 9,85 баллов адаптация считается неудовлетворительной, свыше 9,86 происходит срыв адаптационных механизмов.

Функциональное состояние ССС оценивали при помощи формулы Кваса [13]:

$$\text{КВ (коэффициент выносливости)} = (\text{САД} \times 10) / \text{ПД}.$$

Нормальное значение КВ (у.е.) составляет от 1200 до 1600 у.е., снижение значений указывает на ослабление, а увеличение — на усиление функционирования ССС.

Двойное произведение (ДП), или индекс Робинсона, позволяет косвенно судить о потреблении кислорода миокардом и рассчитывается по формуле Робинсона [13]:

$$\text{ДП} = (\text{САД} \times \text{ЧСС}) / 100.$$

Значения ДП (у.е.) классифицируются следующим образом: менее 70 — отличное, от 70 до 84 — хорошее, от 84 до 94 — среднее, от 95 до 110 — плохое, более 110 — очень плохое функциональное состояние. ДП отражает энергетический потенциал организма и показывает, сколько кислорода потребляет сердечная мышца: чем выше этот показатель, тем большую работу выполняет сердце [13, 15].

Вегетативный индекс Кердо (ВИК) отражает степень адаптации организма к окружающим условиям и рассчитывается по формуле:

$$\text{ВИК} = (1 - \text{ДАД} / \text{ЧСС}) \times 100.$$

Значения ВИК (у.е.) от -11 до 11 отражают баланс (нормотония) отделов вегетативной нервной системы, ниже -11 — характеризуют усиление парасимпатического тонуса вегетативной нервной системы (ваготония), а значения, превышающие 11, указывают на преобладание симпатического тонуса (симпатикотония). Отрицательные показатели ВИК характеризуют анаболический вариант обмена веществ и более экономичный режим работы сердца, в то время как положительные значения — усиление катаболических процессов, определяющих напряжённое функционирование и расходование адаптационных резервов организма.

Показатель ударного объёма сердца (УОС) отражает насосную функцию органа, обеспечивающую доставку кислорода к тканям. Расчёт значения УОС производился по формуле:

$$\text{УОС} = (90,97 + 0,54\text{ПД} - 0,57\text{ДАД} - 0,61\text{В}) \times k,$$

где В — возраст (в годах), $k=1,64$ [16].

Так как большой и малый круг кровообращения связаны последовательно, то при нормальной работе сердца УОС правого и левого желудочков обычно равны. Небольшая разница между ними может возникать кратковременно, в период резкого изменения работы сердца и гемодинамических нарушений. Диапазон физиологической нормы УОС — от 55 до 90 мл [16].

Показатель минутного объёма кровообращения (МОК) зависит от изменения ЧСС или объёма крови, выбрасываемого в систолу из левого желудочка за одно сокращение, и рассчитывается по формуле:

$$\text{МОК} = \text{УОС} \times \text{ЧСС} \text{ (л/мин)}.$$

Пульсовое давление (ПД) представляет собой показатель, отражающий состояние ССС, может служить индикатором патологических изменений, связанных с ригидностью артериальной сосудистой стенки [17], и рассчитывается по формуле:

$$\text{ПД} = \text{САД} - \text{ДАД}.$$

Физиологической нормой ПД считается диапазон от 26 до 40 мм рт.ст., низким уровнем — 21–25 мм рт.ст., а повышенным — более 40 мм рт.ст. [18]. Значение ПД выше 60 мм рт.ст. может указывать на наличие атеросклеротических изменений в стенках сосудов, а также на возможное развитие сердечной недостаточности [19].

В соответствии с клиническими рекомендациями Минздрава России [20], оптимальным уровнем САД считается показатель ниже 120 мм рт.ст., нормальным — диапазон от 120 до 129 мм рт.ст. Для ДАД оптимальным считается показатель менее 80 мм рт.ст., нормальным — от 80 до 84 мм рт.ст.

ЧСС — количество ударов сердца за определённый период времени. Пульс отражает количество импульсов крови, которые генерируются в артерии за тот же промежуток времени [21]. Диапазон физиологической нормы ЧСС колеблется в диапазоне 76–90 уд./мин, при этом брадикардия характеризуется низкой ЧСС (в пределах 60–75 уд./мин), а тахикардия — повышением ЧСС (более 90 уд./мин) [18]. В расчётах индексов, например, при расчёте адаптационного потенциала по Л.А. Коневских, обычно понятия и значения ЧСС и пульса принимаются идентичными.

Статистический анализ

Принципы расчёта размера выборки: серийная выборка на основании пола и возраста пациентов.

Статистический анализ проведён с использованием пакета Statistica версии 10.0. Для оценки характера распределения данных были применены визуально-графический метод и критерии согласия Шапиро–Уилка и Колмогорова–Смирнова. Распределение данных в выборках статистически значимо отличается от нормального, в связи с чем данные были представлены в виде среднего значения (Mean) и стандартного отклонения (SD). Для определения значимости различий были использованы непараметрический критерий Вилкоксона и параметрический t-критерий Стьюдента. На всех этапах исследования сравнивали показатели до и после проведения реабилитационных мероприятий. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$ [22].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

Обследовано 66 пациентов в возрасте от 41 года до 83 лет, из них мужчин — 32, женщин — 34, в отделении медицинской реабилитации для пациентов с нарушением функции центральной нервной системы Научно-исследовательского института реабилитологии им. проф. Пряникова И.В. (ФНКЦ РР), проходивших второй этап реабилитации после перенесённого инфаркта головного мозга.

Основные результаты исследования

Как видно из табл. 1, среднегрупповые значения САД и ДАД в целом по группам уменьшились: САД — на 1,87% ($p=0,043$), ДАД — на 0,39% ($p=0,698$). Наряду с этим статистически значимых изменений САД и ДАД в группах по возрастным категориям и половому признаку не отмечено, тем не менее показатели средних САД и ДАД в целом уменьшались. Необходимо отметить, что практически все

показатели САД (от min 116,78 до max 129,86 мм рт.ст.) и ДАД (от min 69,17 до max 81,57 мм рт.ст.) находились в границах физиологической нормы.

Значение пульсового давления в целом по группе уменьшилось на 4,3% ($p=0,036$), а в группе мужчин 68–83 лет — на 6,07% ($p=0,018$). Все значения пульсового давления как отдельно по возрастным группам, так и в целом по всей группе ($n=66$) являются повышенными, так как с возрастом происходит снижение эластичности артериальной стенки, что приводит к уменьшению её растяжимости [19]. Кроме того, в период до и после проведения реабилитационных мероприятий среднее значение ЧСС в целом по группе пациентов увеличилось на 2,08% ($p=0,030$); также повысилась ЧСС во всех группах, сформированных по возрастным и половым признакам, однако статистически значимое увеличение ЧСС отмечено только у мужчин в возрасте 41–59 и 68–83 лет — 5,51% ($p=0,040$) и 3,26% ($p=0,050$) соответственно. Фактически все показатели ЧСС по отдельным группам пациентов находились в границах физиологической нормы.

Таблица 1. Изменение показателей сердечно-сосудистой системы в ходе реабилитационных мероприятий по группам, Mean (SD)
Table 1. Changes in cardiovascular system indicators by groups during rehabilitation measures (Mean, SD)

Показатель	Возрастная группа					
	Женщины			Мужчины		
	1-е сут	10-е сут	p	1-е сут	10-е сут	p
41 год – 59 лет						
ИФИ	2,85 (0,44)	2,73 (0,37)	0,176	2,71 (0,26)	2,75 (0,25)	0,152
АП	6,93 (0,91)	7,08 (0,73)	0,406*	6,96 (0,46)	7,27 (0,79)	0,040*
КВ	1716,51 (302,48)	1782,88 (231,33)	0,310	1711,92 (437,06)	1863,38 (514,25)	0,046**
САД ср.	129,86 (17,96)	122,57 (12,12)	0,116	121,92 (11,20)	121,23 (12,85)	0,727
ДАД ср.	81,57 (9,93)	77,9 (7,56)	0,138	74,77 (11,32)	75,77 (10,86)	0,480
ЧСС ср.	63,29 (10,08)	64,86 (8,15)	0,406*	63,54 (5,16)	67,00 (8,80)	0,040*
ПД	48,29 (8,77)	44,71 (5,50)	0,116	47,15 (9,25)	45,46 (9,93)	0,442
ВИК	-32,54 (31,22)	-22,00 (21,52)	0,074	-18,18 (19,60)	-14,93 (23,40)	0,272
ДП	81,59 (14,20)	79,27 (10,94)	0,398	77,34 (8,28)	80,77 (10,17)	0,046**
УОС	61,96 (9,79)	62,27 (9,90)	0,917	69,37 (15,80)	66,83 (16,34)	0,013**
МОК	3,76(0,54)	3,78 (0,51)	0,499	3,96 (0,50)	3,89 (0,52)	0,861
60–67 лет						
ИФИ	2,90 (0,34)	2,84 (0,31)	0,152	2,92 (0,31)	2,95 (0,32)	0,214
АП	7,19 (0,73)	7,18 (0,70)	0,962*	7,17 (1,00)	7,20 (0,53)	0,861*
КВ	1711,54 (425,73)	1684,46 (333,52)	0,722	1717,14 (1858,22)	1858,22 (365,70)	0,110
САД ср.	124,33 (12,79)	121,27 (13,73)	0,351	127,00 (916,36)	126,40 (17,57)	0,327
ДАД ср.	74,1 (8,07)	72,00 (5,73)	0,203	76,20 (9,91)	79,60 (10,69)	0,193
ЧСС ср.	66,13 (8,10)	66,07 (7,76)	0,962*	65,90 (5,70)	66,20 (5,85)	0,861*

Таблица 1. Продолжение

Table 1. Continuation

Показатель	Возрастная группа					
	Женщины			Мужчины		
	1-е сут	10-е сут	<i>p</i>	1-е сут	10-е сут	<i>p</i>
ПД	50,20 (11,85)	49,27 (12,89)	0,824	50,80 (12,99)	46,80 (13,22)	0,205
ВИК	-12,83 (11,78)	-9,96 (12,02)	0,074	-16,48 (19,32)	-21,59 (25,01)	0,374
ДП	82,56 (15,27)	80,57 (16,04)	0,286	83,50 (11,14)	83,55 (13,17)	0,260
УОС	59,86 (14,70)	61,02 (13,46)	0,477	57,62 (15,20)	50,90 (14,54)	0,139
МОК	3,99 (0,54)	3,95 (0,55)	0,683	4,04 (0,65)	3,89 (0,66)	0,767
68 лет – 83 года						
ИФИ	2,87 (0,41)	2,86 (0,36)	0,638	2,84 (0,32)	2,82 (0,26)	0,735
АП	6,57 (0,77)	6,65 (0,69)	0,501*	6,77 (0,64)	6,95 (0,72)	0,050*
КВ	1490,96 (356,31)	1518,72 (383,11)	0,937	1662,96 (497,24)	1881,63 (754,18)	0,043**
САД ср.	118,8 (19,27)	117,8 (17,46)	0,965	119,8 (15,24)	116,78 (14,47)	0,345
ДАД ср.	69,75 (11,25)	69,17 (10,74)	0,695	72,33 (7,95)	72,22 (6,50)	1,000
ЧСС ср.	59,25 (8,60)	60,17 (7,61)	0,501*	61,44 (7,14)	63,44 (8,05)	0,050*
ПД	49,08 (13,14)	48,58 (12,49)	0,814	47,44 (15,00)	44,56 (16,99)	0,018**
ВИК	-18,22 (14,37)	15,48 (16,62)	0,582	-18,29 (11,86)	-14,64 (10,22)	0,090
ДП	71,05 (19,79)	71,16 (15,40)	0,388	73,54 (11,81)	73,86 (11,12)	1,000
УОС	55,51 (14,25)	55,61 (14,89)	0,695	49,23 (13,14)	46,77 (15,99)	0,128
МОК	4,10 (0,93)	4,40 (0,99)	0,026**	3,91 (0,49)	3,75 (0,46)	0,767
41–83 года, все пациенты						
	1-е сут		10-е сут		<i>p</i>	
ИФИ	2,85 (0,34)		2,83 (0,31)		0,369	
АП	6,94 (0,69)		7,06 (0,71)		0,030*	
КВ	1666,26 (403,34)		1753,22 (456,97)		0,023**	
САД ср.	123,23 (15,15)		120,92 (14,63)		0,043**	
ДАД ср.	74,32 (10,01)		74,03 (9,35)		0,698	
ЧСС ср.	63,39 (7,62)		64,71 (7,86)		0,030*	
ПД	48,91 (11,63)		46,89 (12,10)		0,036*	
ВИК	-18,25 (18,00)		-15,62 (18,40)		0,025**	
ДП	78,25 (14,34)		78,30 (13,56)		0,952	
УОС	59,36 (15,06)		57,84 (15,54)		0,416	
МОК	3,98 (0,61)		3,97 (0,66)		0,208	

Примечание. * — *t*-критерий Стьюдента ($p \leq 0,05$); ** — критерий Вилкоксона ($p \leq 0,05$). ИФИ — индекс функциональных изменений; АП — адаптационный потенциал; КВ — коэффициент выносливости; САД ср./ДАД ср. — среднее систолическое/диастолическое артериальное давление; ЧСС ср. — средняя частота сердечных сокращений; ПД — пульсовое давление; ВИК — вегетативный индекс Кердо; ДП — двойное произведение (индекс Робинсона); УОС — ударный объем сердца; МОК — минутный объем кровообращения.

Note. * — Student's *t*-test ($p \leq 0,05$); ** — Wilcoxon's ($p \leq 0,05$). ИФИ — functional change index; АП — adaptation potential; КВ — endurance coefficient; САД ср./ДАД ср. — mean systolic/diastolic blood pressure; ЧСС ср. — mean heart rate; ПД — pulse pressure; ВИК — Kerdo autonomic index; ДП — double product (Robinson index); УОС — cardiac stroke volume; МОК — circulatory minute volume.

Как видно из табл. 1, во всех исследуемых группах ИФИ до и после реабилитации находился в границах напряжённой адаптации (от 2,71 до 2,95 балла). Динамика ИФИ по группам пациентов выглядела следующим образом: отмечалась тенденция к уменьшению индекса у женщин 41–59, 60–67 и 68–83 лет на 4,21% ($p=0,176$), 2,07% ($p=0,152$), 0,35% ($p=0,638$) соответственно. У мужчин, наоборот, наблюдалось увеличение ИФИ в группах 41–59 и 60–67 лет на 1,48% ($p=0,152$) и 1,03% ($p=0,214$) соответственно, а также уменьшение индекса на 0,70% ($p=0,735$) в группе мужчин 68–83 лет. В целом статистически значимого увеличения ИФИ не зафиксировано. Таким образом, у женщин всех исследуемых групп прослеживалось уменьшение индекса ИФИ в сторону удовлетворительной адаптации, что является положительным фактором. У мужчин динамика ИФИ была неоднозначной, и только в одной из трёх групп наблюдалось снижение индекса.

Наряду с этим во всех группах показатель адаптационного потенциала до и после реабилитации был удовлетворительным (менее 7,2 балла), кроме группы мужчин 41–59 лет, в которой после реабилитационных мероприятий показатель увеличился с 6,96 до 7,27 балла. Динамика АП по группам выглядела следующим образом: увеличение АП у женщин 41–59 и 68–83 лет на 2,17% ($p=0,406$) и 1,22% ($p=0,501$) соответственно, а также уменьшение в группе 60–67 лет на 1,21% ($p=0,962$); у мужчин — увеличение в группах 41–59, 60–67 и 68–83 лет на 4,45% ($p=0,040$ статистически значимо), 0,42% ($p=0,861$) и 2,66% ($p=0,050$ статистически значимо) соответственно. Таким образом, у женщин динамика АП оказалась разнонаправленной, у мужчин прослеживалось увеличение АП. На 10-е сутки в целом по всей группе отмечалось увеличение АП на 1,73% ($p=0,030$), однако следует отметить, что все значения адаптационного потенциала составляли менее 7,2 ед., т.е. были удовлетворительными.

Показатель коэффициента выносливости находился в пределах 1200–1600 у.е. только у женщин 68–83 лет. Во всех остальных группах и в целом по группе пациентов ($n=66$) отмечали увеличение коэффициента более 1600 у.е. Статистически значимое увеличение зафиксировано у мужчин 41–59 и 68–83 лет и в целом по группе пациентов — 8,85% ($p=0,038$), 13,15% ($p=0,018$) и 5,22% ($p=0,003$) соответственно.

Минимальное значение ВИК отмечено у женщин 68–83 лет — 12,89 (3,68) у.е. (Mean, SD); максимальное — у мужчин 41–59 лет 15,72 (5,41) у.е. (Mean, SD). Показатель ВИК оказался увеличенным в отношении отрицательных значений на 14,41% ($p=0,025$) в целом по всей группе — с -18,25 (18,00) до -15,62 (18,40) у.е. (Mean, SD). Во всех возрастных группах у мужчин и у женщин отмечено увеличение отрицательного значения индекса. Только у мужчин 60–67 лет наблюдалось уменьшение отрицательного значения ВИК на 31,01% — с -16,48 (19,32) до -21,59 (25,01) у.е. (Mean, SD). Минимальное значение ВИК выявлено у женщин 41–59 лет — 32,54 (31,22) у.е.

(Mean, SD), максимальный показатель у женщин 60–67 лет — -9,96 (12,02) у.е. (Mean, SD). В целом по группе ($n=66$) ВИК оказался менее -5 ед., что указывает на низкое напряжение регуляторных систем организма и отражает усиление симпатического регуляторного влияния.

У пациентов всей группы ($n=66$) отмечалась тенденция увеличения двойного произведения, или индекса Робинсона, на 0,06% ($p=0,952$), и только у мужчин 41–59 лет увеличение ДП на 4,44% оказалось значимым ($p=0,046$). В целом ДП во всех группах находился в диапазоне 70–84 баллов, что свидетельствует о хорошей работе ССС. Вместе с тем ДП снижался у женщин 41–59 лет на 2,84%, в 60–67 лет — на 2,41%, но увеличивался (имея только характер тенденции) у пациенток 68–83 лет на 0,15%. ДП у мужчин был увеличенным во всех возрастных группах.

У пациентов всей группы отмечали тенденцию к уменьшению УОС на 2,55%. Вместе с тем наблюдали увеличение УОС у женщин всех возрастов, а у мужчин всех групп, наоборот, — уменьшение, в частности у мужчин 41–59 лет на 3,51% ($p=0,013$). Значение УОС ниже нормативных показателей (55–75 мл) отмечалось у мужчин 68–83 лет как в первые, так и на десятые сутки — 49,23 мл (13,14) и 46,77 мл (15,99) соответственно. Во всех остальных группах показатели УОС до и после реабилитационных мероприятий находились в границах физиологических референсных значений [16].

Для всей группы пациентов ($n=66$) значение МОК существенно не изменилось. У женщин наблюдалось увеличение в группах 41–59 и 68–83 лет, а в группе женщин 60–67 лет — уменьшение. У мужчин во всех возрастных группах наблюдали уменьшение МОК, особенно у мужчин 68–83 лет. В целом фактически показатели МОК находились в границах физиологических референсных значений нормы [16].

Нежелательные явления

Нежелательных эффектов при проведении комплекса реабилитационных мероприятий второго этапа у пациентов не зарегистрировано.

ОБСУЖДЕНИЕ

Адаптационная способность человеческого организма представляет собой индикатор его приспособляемости к изменяющимся условиям окружающей среды. Уровень адаптации представляет собой комплексный параметр, формирующийся в результате взаимодействия различных систем организма. Важную роль в функционировании этих систем играют гормональные связи гипофиза и коры надпочечников, а также состояние сердечно-сосудистой, дыхательной и нервной систем. Под воздействием стрессовых факторов в этих органах и системах происходят изменения, которые обусловлены исходным функциональным состоянием и отражают адаптационные возможности организма в данных условиях.

Резюме основного результата исследования

По результатам нашего исследования отмечено плавное снижение систолического и диастолического артериального давления, а также улучшение параметров пульсового давления, индекса функциональных изменений, адаптационного потенциала, вегетативного индекса Кердо, индекса Робинсона, коэффициента выносливости. Положительная тенденция функционирования сердечно-сосудистой системы отмечается в 66,67% наблюдений.

Обсуждение основного результата исследования

Показатели среднего САД и ДАД имели тенденцию к плавному снижению после реабилитационного лечения и находились в границах физиологической нормы.

Все значения пульсового давления как отдельно по группам, так и в целом для всей группы ($n=66$) оказались выше нормативных показателей, что обусловлено возрастными особенностями ССС. В ходе реабилитации динамика изменения пульсового давления в сторону уменьшения являлась положительным фактором для пациентов. Уменьшение пульсового давления может свидетельствовать о снижении сопротивления сосудистой стенки аорты во время систолы; также снижение расчётного показателя пульсового давления обусловлено наблюдавшимся у пациентов снижением САД и ДАД после реабилитационных мероприятий.

На фоне проводимого реабилитационного лечения отмечали увеличение ЧСС. Известно, что чем выше ЧСС, тем интенсивнее протекают обменные процессы в организме человека, и тем выше его потребность в энергии. Увеличение ЧСС приводит к повышению систолического объёма крови, выбрасываемого желудочком в аорту во время систолы, что в свою очередь может улучшить мозговое кровообращение в тех областях, которые утратили способность к саморегуляции после развития ишемии головного мозга [2]. Наряду с этим увеличение ЧСС в ответ на снижение артериального давления может быть обусловлено возрастными изменениями ССС, снижением эластичности сосудистой стенки, неспособностью барорецепторов к полноценной регуляции артериального давления. Уменьшение сердечного выброса отчасти компенсируется увеличением ЧСС [23].

Динамика ЧСС от низких показателей к границам диапазона нормативных значений является положительным результатом реабилитационных мероприятий.

ИФИ как комплексный показатель уровня функционирования ССС и уровня адаптационного потенциала формируется из основных индикаторных показателей здоровья — ЧСС, САД, ДАД, возраста, массы тела и роста. По всем отдельным возрастным группам и по всей группе в целом ($n=66$) значения ИФИ указывают на напряжение механизмов адаптации. Необходимо отметить, что на 10-е сутки отмечалось снижение ИФИ у пациентов всей группы без статистически

значимых различий, что отражает снижение напряжения регуляторных механизмов, наряду с этим на 10-е сутки отмечено увеличение АП до 7,2 балла (на 1,73%; $p=0,030$), что свидетельствует об удовлетворительном состоянии механизмов адаптации ССС [15].

Выносливость, определяемая по показателю коэффициента выносливости, представляет собой комплексное свойство человеческого организма, объединяющее в себе множество процессов, протекающих на различных уровнях — от клеточного до системного. В основе проявления выносливости лежат слаженная работа сердечно-сосудистой, дыхательной и центральной нервной систем. По мере нарастания утомления эффективность функционирования ССС, как правило, снижается. Если показатель коэффициента выносливости выше 1600 ед., то работа ССС ослаблена, а если ниже 1200 ед. — усилена [24]. На основе полученных результатов можно заключить, что исходно высокие значения коэффициента выносливости (более 1600 ед.) и его повышение на 5,22% ($p=0,023$) к 10-му дню наблюдения свидетельствуют об ухудшении работы ССС у пациентов. На основе этих данных можно заключить, что в процессе проведения реабилитационных мероприятий следует снизить силовые и скоростные нагрузки, делая акцент на дыхательных упражнениях и тренировках в аэробном режиме [24].

Вегетативный индекс Кердо представляет собой косвенную характеристику вегетативного баланса в организме. Уровни функционирования центрального и периферического контура кровообращения, а также ритма сердца зависят от преобладания парасимпатического или симпатического отделов вегетативной нервной системы. Реакция на нагрузку определяется типом саморегуляции сердца. Отрицательный ВИК свидетельствует о преобладании парасимпатической нервной системы, что указывает на более благоприятный анаболический вариант метаболизма и экономный режим функционирования и расходования резервов организма. Изначально во всех группах пациентов показатели ВИК имели отрицательные значения. После проведения реабилитационных мероприятий отмечалась положительная динамика индекса (на 14,41%) в целом по группе. В процессе наблюдения показатели ВИК у пациентов находились в зоне низкого напряжения регуляторных систем организма [16, 17]. Мобилизация адаптационных механизмов в процессе реабилитации находит своё отражение в положительной динамике ВИК в сторону диапазона физиологической нормы.

Двойное произведение (индекс Робинсона) во всех группах находилось в диапазоне 70–84 баллов (в пределах допустимых значений напряжения регуляторных механизмов ССС), что свидетельствует о хорошей работе ССС. Значения ДП в целом по группе увеличились, что свидетельствует о достаточном обеспечении миокарда кислородом и расценивается как положительный результат проводимой терапии.

Ударный объём сердца даёт представление о насосной функции сердца и состоянии обеспечения транспортировки кислорода к тканям. Показатели УОС при проведении реабилитационных мероприятий находились в границах физиологической нормы. Значения УОС ниже нормы в группе мужчин 68–83 лет могли свидетельствовать о снижении насосной функции сердца, увеличение УОС у женщин всех возрастных групп — о положительной динамике реабилитационных мероприятий. Наблюдаемая у мужчин всех возрастных групп тенденция снижения УОС требует корректировки применяемых методов реабилитации.

Минутный объём кровообращения характеризует инотропную и хронотропную функцию сердца. Параметры МОК у пациентов не выходили за рамки нормативных значений и в целом не претерпели существенных изменений к 10-му дню лечения. Увеличение МОК в группах женщин 41–59 и 68–83 лет свидетельствовало об улучшении насосной функции сердца и служило положительным фактором проведённой реабилитации. Наряду с этим тенденция к снижению МОК в остальных группах может

быть обусловлена рядом факторов, включающих исходное состояние миокарда, состояние пред- и постнагрузки, антропометрические данные, а также физическое и психологическое состояние пациента [16].

Динамика показателей функционирования ССС, представленных в количественной (в процентах) и качественной («+» — положительные, «-» — отрицательные изменения) оценке, приведена в табл. 2. Границы показателей в пределах физиологических норм оценены как положительные («+»). Данные представлены как результат сравнения значений индексов функционирования ССС к 10-му дню наблюдения в сравнении с первым днём. Из табл. 2 видно, что положительная динамика состояния ССС отмечается во всех возрастных группах. Положительная динамика суммарных качественных изменений по отдельным показателям зафиксирована в 55 (83,33%) случаях, отрицательная — в 11 (16,67%).

Отдельно необходимо обратить внимание на обоснованность применения показателей АП, УОС и ВИК при оценке адаптационного потенциала постинсультных

Таблица 2. Изменение показателей функционирования сердечно-сосудистой системы в динамике у пациентов при проведении второго этапа реабилитационных мероприятий

Table 2. Dynamics of changes in the indicators of cardiovascular system functioning during the 2nd stage of rehabilitation measures in patients

Пациенты	Возрастная группа, лет													
	41–59				60–67				68–83				41–83	
	Жен		Муж		Жен		Муж		Жен		Муж		Все	
ИФИ	-4,02	+	1,34	-	-2,10	+	0,76	-	-0,34	+	-0,74	+	-0,70	+
АП	2,04	+	4,48	-	-0,08	+	0,38	+	1,26	+	2,66	+	1,71	+
КВ	3,87	-	8,85	-	-1,58	+	8,22	-	1,86	+	13,15	-	5,22	-
САД ср.	-5,61	+	-0,57	+	-2,47	+	-0,47	+	-0,91	+	-2,50	+	-1,87	+
ДАД ср.	-4,55	+	1,34	+	-2,88	+	4,46	+	-0,84	+	-0,15	+	-0,39	+
ЧСС ср.	2,48	+	5,45	+	-0,10	-	0,46	+	1,55	+	3,25	+	2,08	+
ПД	-7,40	+	-3,59	+	-1,86	+	-7,87	+	-1,02	+	-6,09	+	-4,12	+
ВИК	-32,38	+	-17,90	+	-22,36	+	30,98	-	-15,05	+	-19,98	+	-14,43	+
ДП	-2,84	+	4,44	-	-2,41	+	0,07	-	0,16	-	0,43	-	0,06	-
УОС	0,50	+	-3,51	+	1,95	+	-11,66	+	0,18	+	-4,99	-	-2,55	+
МОК	0,51	+	-1,74	+	-1,11	+	-3,56	+	7,22	+	-4,15	+	-0,29	+
Динамика	+		+		+		+		+		+		+	

Примечание. Количественные показатели приведены в процентах (%). «+» — положительные изменения или положение показателя в границах физиологической нормы; «-» — отрицательные изменения. ИФИ — индекс функциональных изменений; АП — адаптационный потенциал; КВ — коэффициент выносливости; САД ср./ДАД ср. — среднее систолическое/диастолическое артериальное давление; ЧСС ср. — средняя частота сердечных сокращений; ПД — пульсовое давление; ВИК — вегетативный индекс Кердо; ДП — двойное произведение (индекс Робинсона); УОС — ударный объём сердца; МОК — минутный объём кровообращения.

Note. Quantitative indicators are given in %. “+” — positive changes or indicator within physiological norm; “-” — negative changes. ИФИ — functional change index; АП — adaptation potential; КВ — endurance coefficient; САД ср./ДАД ср. — mean systolic/diastolic blood pressure; ЧСС ср. — mean heart rate; ПД — pulse pressure; ВИК — Kerdo autonomic index; ДП — double product (Robinson index); УОС — cardiac stroke volume; МОК — circulatory minute volume.

больных. Несмотря на представленные в отдельных литературных источниках данные о наличии ограничений при использовании некоторых индексов функционирования ССС, мы считаем обоснованным их применение при оценке реабилитационного потенциала пациентов. Так, основным недостатком применяемого метода определения АП является то, что в качестве объективного критерия гемодинамики используется только один показатель — ЧСС. Единственный показатель, применяемый в расчёте индекса, не может служить надёжным критерием оценки функционального состояния ССС. В расчётах также не учитывается возраст пациента, существенно влияющий на показатели уровня адаптации.

Использование показателя УОС для оценки состояния гемодинамических параметров является спорным. В работе Г.Х. Лазиди [25] для анализа кардиогемодинамики при различных патологических состояниях был применён метод разведения индикатора, полученные данные проанализированы до и после лечения. В результате было установлено, что динамика изменений УОС, МОК и общего периферического сопротивления сосудов, рассчитанных по формуле Старра, не соответствует действительности по кривой разведения красителя ни по своей направленности, ни по выраженности, и нерелевантна в оценке показателей ССС как при однократном определении, так и в динамике.

ВИК представляет собой косвенный показатель оценки функций вегетативной нервной системы. Основным параметром, определяющим значение ВИК, является частное от деления ДАД на ЧСС, при этом утрачивается функциональное значение этих параметров. Физиологический смысл частного от деления двух разных параметров ССС исчезает, и единицы измерения его отсутствуют. До настоящего момента остаётся неисследованным вклад каждого из образующих ВИК параметров — ЧСС и ДАД — в его величину. Не исследованы также значения коэффициента корреляции между величинами ВИК и исходными параметрами для какой-либо группы пациентов.

Информативность показателей АП, УОС и ВИК для оценки различных функциональных состояний организма подлежит дальнейшему изучению и исследованию.

Ограничения исследования

Размер выборки был ограничен, что повышает вероятность возникновения случайных погрешностей. На этапе планирования исследования необходимый объём выборки определялся наличием фактических данных. Для подтверждения результатов требуется провести исследование с более обширной выборкой и охватить большее количество изучаемых параметров, чтобы минимизировать возможные ошибки, связанные с воздействием различных известных и неизвестных факторов на результаты.

Отсутствовала полная информация о клинико-функциональных показателях пациентов на первом этапе

реабилитационных мероприятий, проведённых в других (вне ФНКЦ РР) медицинских учреждениях до начала нашего исследования. Следует отметить, что данные были получены с использованием оборудования Astrocord Holter System. Исследуемые параметры определялись на основании показаний прибора с возможными погрешностями в измерениях.

К другим ограничениям исследования можно отнести отсутствие катamnестического наблюдения после второго этапа медицинской реабилитации, что не позволяет судить о стойкости полученного эффекта у больных ишемическим инсультом.

Анализ динамики изменений показателей, отражающих функционирование ССС, предоставляет возможность всесторонне оценить развитие патологического процесса, определить функциональные возможности и резервы ССС для восстановления утраченных функций, а также её адаптационные способности в контексте реабилитационных мероприятий. Следует отметить, что уже к 10-му дню наблюдения на втором этапе реабилитационных мероприятий у пациентов, перенёвших ишемический инсульт, отмечалось улучшение функционирования и повышение адаптационного потенциала ССС. Абсолютные изменения показателей являются небольшими, однако прослеживается отчётливая тенденция положительной динамики указанных значений.

Наблюдаемая отрицательная динамика функционирования ССС в группе мужчин 41–67 лет требует корректировки методов реабилитационного лечения в данной возрастной группе. Следует отметить, что основные параметры функционального состояния ССС, такие как ЧСС, САД, ДАД, и расчётные показатели индексов гемодинамики на протяжении наблюдения находились в пределах физиологических нормативных значений, что свидетельствует о достаточно высокой степени адаптации ССС при проведении второго этапа реабилитационных мероприятий, при этом отмечали индивидуальные особенности изменения состояния регуляторных систем организма, отражающих напряжение адаптационных механизмов, исходя из показателей возраста и пола пациентов. Способы оценки состояния ССС и, как следствие, адаптационного потенциала пациентов при помощи индексов повышает точность индивидуального прогноза медицинской реабилитации больных после второго этапа в условиях отделения медицинской реабилитации для пациентов с нарушением функции центральной нервной системы ФНКЦ РР и могут быть использованы специалистами на третьем этапе медицинской реабилитации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование индексов интегральной оценки функционального состояния ССС при проведении реабилитационных мероприятий после перенесённого инфаркта мозга является актуальным и патогенетически обоснованным.

Проведённые реабилитационные мероприятия имеют положительную динамику и характеризуются достаточной эффективностью и адекватностью. У женщин наблюдается лучшая динамика работы системы кровообращения, что может свидетельствовать о большей эффективности реабилитационных мероприятий по сравнению с мужчинами. Приведённые методы оценки функционирования ССС могут быть предложены в качестве способа мониторинга эффективности реабилитации у постинсультных пациентов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. К.П. Иванов — сбор материалов, статистическая обработка данных, написание статьи; В.Т. Долгих — поисково-аналитическая работа, редактирование. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Согласно заключению этического комитета ФНКЦ РР № 1 от 02 февраля 2025 года, в результате рассмотрения материала по существу его содержания комиссия считает возможным публикацию представленной статьи в журнале «Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитология». Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При проведении исследования и создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе неприемима, данные могут быть опубликованы в открытом доступе.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions. K.P. Ivanov — collection of materials, statistical processing of data, writing of the article; V.T. Dolgikh — search and analytical work, editing. Thereby, all authors provided approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval. According to the conclusion of the Ethics Committee of Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russia No. 1 dated February 2, 2025, as a result of reviewing the material on the merits of its content, the commission considers it possible to publish the presented article in the journal “Physical and Rehabilitation Medicine, Medical Rehabilitation”. All study participants voluntarily signed an informed consent form before inclusion in the study.

Funding sources. No funding.

Disclosure of interests. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Statement of originality. When conducting the research and creating this work, the authors did not use previously published information (text, illustrations, data).

Data availability statement. The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, the data may be published in the open access.

Generative AI. Generative AI technologies were not used for this article creation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Piradov MA, Maksimova MY, Tanashyan MM. *Stroke: Step-by-step instructions*. Manual for doctors. Moscow: GEOTAR-Media; 2019. 272 p. (Series: Medical Specialist Library). (In Russ.) doi: 10.33029/9704-4910-3-ins-2019-1-272 EDN: ZAMTOP
2. Alferova VV, Belkin AA, Voznyuk IA, et al. *Clinical recommendations for the management of patients with ischaemic stroke and transient ischaemic attacks*. Stakhovskaya LV, editor. Moscow; 2017. 196 p. (Library of practical doctor, series ‘Neurology’). (In Russ.) EDN: ZNFMEF
3. Kuriakose D, Xiao Z. Pathophysiology and treatment of stroke: Present status and future perspectives. *Int J Mol Sci*. 2020;21(20):7609. doi: 10.3390/ijms21207609 EDN: WVJPPP
4. Chamorro Á, Dirnagl U, Urra X, Planas AM. Neuroprotection in acute stroke: targeting excitotoxicity, oxidative and nitrosative stress, and inflammation. *Lancet Neurol*. 2016;15(8):869–881. doi: 10.1016/S1474-4422(16)00114-9
5. Khoshnam SE, Winlow W, Farzaneh M, et al. Pathogenic mechanisms following ischemic stroke. *Neural Sci*. 2017;38(7): 1167–1186. doi: 10.1007/s10072-017-2938-1 EDN: AUZPFB
6. Wafa HA, Wolfe CD, Bhalla A, Wang Y. Long-term trends in death and dependence after ischaemic strokes: A retrospective cohort study using the South London Stroke Register (SLSR). *PLoS Med*. 2020;17(3):e1003048. doi: 10.1371/journal.pmed.1003048 EDN: GAAVGW
7. Powers WJ, Rabinstein AA, Ackerson T, et al. Guidelines for the early management of patients with acute ischemic stroke: 2019 update to the 2018 guidelines for the early management of acute ischemic stroke: A guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. 2019;50(12): e344–e418. doi: 10.1161/STR.000000000000211 EDN: QSMWGB
8. Piradov MA. Strokes. In: Gelfand BR, Zabolotsky IB, editors. *Intensive therapy. National manual*. 2nd ed. Moscow: GEOTAR-Media; 2017. P. 288–309. (In Russ.)

9. Rost NS, Brodtmann A, Pase MP, et al. Post-stroke cognitive impairment and dementia. *Circ Res.* 2022;130(8):1252–1271. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.122.319951 EDN: WUIFUK
10. Abdurakhmonova RF, Izzatov KhN, Faizullaev AKh, Tursunova MSh. The effectiveness of complex neuroprotective therapy in the acute period of stroke. *Vestnik poslediplomnogo obrazovaniya v sfere zdravookhraneniya.* 2019;(4):98–105. EDN: AALHFC
11. Baevsky RM, Berseneva AP. *Assessment of adaptation capabilities of the organism and the risk of disease development.* Moscow: Meditsina; 1997. 235 p. (In Russ.)
12. Repalova NV, Avdeyva EV. Change in the adaptive potential of the cardiovascular system in foreign students under pre-examination stress. *International journal of applied and fundamental research.* 2021;(4):12–16. doi: 10.17513/mjpf.13197 EDN: LLJJGL
13. Ivanov SA, Nevzorova EV, Gulin AV. Quantitative evaluation of functional capability of cardio-vascular system. *Tambov university reports. Series: Natural and technical sciences.* 2017;22(6-2):1535–1540. doi: 10.20310/1810-0198-2017-22-6-1535-1540 EDN: YRNITB
14. Patent RUS № RU 2314019 C2. Konevskikh LA, Oranskij IE, Likhacheva EI. *Method for evaluating adaptation potential.* Available from: https://yandex.ru/patents/doc/RU2314019C2_20080110?ysclid=m7gkma2d41766214641 Accessed: 15 Feb 2025. EDN: JZOVXO
15. Yusupova NZ, Lyadova IV, Khairullina LR, Frolova OA. Assessment of the functional state of the organism of public catering workers. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* (Electronic edition). 2023;17(2):98–104. doi: 10.24412/2075-4094-2023-2-2-4 EDN: RVCKBJ
16. Tarabrina NYu, Grabovskaya EYu, Tarabrina VA, Abduramamov AR. Manifestation of the main indicators of the central cardiohemodynamics in wrestlers of different qualification. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry.* 2018;4(1):92–103. EDN: YXWVUO
17. Mokasheva EkN, Mokasheva EvN, Grebennikova IV, et al. Rapid assessment of cardiovascular system parameters using cardiorespiratory indices. *Advances in current biology.* 2023;143(2):144–150. doi: 10.31857/S0042132423020072 EDN: KMGQMJ
18. Milyutin SG, Sysoev VN, Borisov AM, et al. Dynamics of physiological levels of functional status of medical students in adapting to learning. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.* 2013;(2):103. EDN: RXUNPL
19. Bekmuradova MS, Khaidarov SN. Relation between increased pulse pressure and natriuretic peptide. *Journal of cardiorespiratory research.* 2022;3(1):26–29. (In Russ.)
20. Kobalava ZhD, Konradi AO, Nedogoda SV, et al. Arterial hypertension in adults. Clinical guidelines 2020. *Russian journal of Cardiology.* 2020;25(3):149–218. doi: 10.15829/1560-4071-2020-3-3786 EDN: TCRBRB
21. Dyomko AI, Almazova EG, Semenov OYu. Measurement and statistical processing of pulse time parameters. *Bulletin of cybernetics.* 2020;(3):34–45. doi: 10.34822/1999-7604-2020-3-34-45 EDN: IVYTNP
22. Lang TA, Sesik M. *How to describe statistics in medicine: Guidelines for authors, editors and reviewers.* Transl. from English, V.P. Leonov, editor. Moscow: Prakticheskaya meditsina; 2011. 477 p. (In Russ.) EDN: QLYKNZ
23. Khursa RV. Pulse pressure of the blood: Role in the hemodynamic and applied possibilities in functional diagnostics. *Medical news.* 2013;(4):13–18. EDN: QABMVJ
24. Tulyakova OV, Avdeeva MS, Smirnova AA. Functional state of students in the first year of study. *Novye issledovaniya.* 2021;(3):40–45. (In Russ.) EDN: OWHVIE
25. Lazidi GK. Method of detection of early symptoms of cardiovascular insufficiency in patients with chronic nonspecific lung diseases. *Kardiologiya.* 1972;12(7):45–52. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

*** Иванов Кирилл Петрович;**

адрес: Россия, 107031, Москва, ул. Петровка, д. 25, стр. 2;

ORCID: 0009-0000-9569-2246;

eLibrary SPIN: 5917-7650;

e-mail: kpivanov95@gmail.ru

Долгих Владимир Терентьевич, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0001-9034-4912;

eLibrary SPIN: 2052-1445;

e-mail: prof_dolgih@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Kirill P. Ivanov;**

address: 25 Petrovka st, bldg 2, Moscow, Russia, 107031;

ORCID: 0009-0000-9569-2246;

eLibrary SPIN: 5917-7650;

e-mail: kpivanov95@gmail.ru

Vladimir T. Dolgikh, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0001-9034-4912;

eLibrary SPIN: 2052-1445;

e-mail: prof_dolgih@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab642017>

Эпидуральная стимуляция в коррекции спастического синдрома у детей с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы

О.В. Попова¹, И.Н. Новоселова^{1, 2}, С.А. Валиуллина¹, С.В. Мещеряков¹, А.Г. Гаглоев¹¹ Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии — Клиника доктора Рошала, Москва, Россия;² Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Спастический и болевой синдромы выявляются у 60–78% пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы выше поясничного утолщения. Спастика и боль ухудшают реабилитационный прогноз и препятствуют осуществлению ухода за больными. Применяемые хирургические методы лечения первоначально дают хороший результат, но в отдалённом периоде имеют множество осложнений. Эпидуральная стимуляция спинного мозга на уровне поясничного утолщения значительно уменьшает спастический и болевой синдромы у 61,8% взрослых пациентов и может быть методом выбора коррекции спастического и болевого синдромов у детей с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы.

Цель исследования — оценить применение эпидуральной стимуляции спинного мозга в коррекции спастического и болевого синдромов у детей с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы в динамике.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 15 детей с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы в возрасте от 14 до 17 лет включительно, поступившие в НИИ НДХиТ с 2020 года. Диагностика актуального состояния проведена при помощи клинического осмотра с использованием шкал ASIA (определение степени нарушения проводимости спинного мозга), Эшфорта и Тардье (определение мышечного тонуса), MRS (определение мышечной силы), ВАШ (определение болевого синдрома), а также маятникового теста. Кроме того, проводилась электронейромиографическая оценка (F-волна) выраженности спастического синдрома.

Результаты. Эпидуральный стимулятор установлен 15 пациентам. У 12 (80%) детей наблюдалась положительная динамика в виде уменьшения спастичности в среднем на 1–2 балла по шкалам Эшфорта и Тардье, маятниковый тест показал положительную динамику в виде увеличения колебательных движений в 12 (80%) случаях, у 12 (80%) пациентов снизился болевой синдром, у 10 (66,7%) — увеличилась мышечная сила, у 9 (60%) — улучшились электронейромиографические показатели (уменьшение количества патологических F-волн), в 7 (46,7%) случаях была снижена доза антиспастического препарата. Положительной динамики не выявлено у 3 (20%) пациентов.

Заключение. Эпидуральная стимуляция у детей с выраженным спастическим синдромом вследствие позвоночно-спинномозговой травмы, резистентным к консервативному лечению, является методом выбора при лечении спастического синдрома. Правильный отбор пациентов, объективная оценка их актуального состояния увеличивают эффективность данной методики. Эпидуральная стимуляция не только позволяет снизить патологический мышечный тонус, но и купирует болевой синдром.

Ключевые слова: последствия позвоночно-спинномозговой травмы; спастический синдром; эпидуральная стимуляция спинного мозга; медицинская реабилитация; эпидуральный стимулятор.

Как цитировать:

Попова О.В., Новоселова И.Н., Валиуллина С.А., Мещеряков С.В., Гаглоев А.Г. Эпидуральная стимуляция в коррекции спастического синдрома у детей с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2025. Т. 7, № 1. С. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab642017>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab642017>

Epidural stimulation for the management of spasticity in children with spinal cord injury sequelae

Olga V. Popova¹, Irina N. Novoselova^{1, 2}, Svetlana A. Valiullina¹, Semen V. Meshcheryakov¹, Alexey G. Gagloev¹

¹ Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma — Dr. Roshal's Clinic, Moscow, Russia;

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Spasticity and pain syndromes occur in 60–78% of patients with spinal cord injury above the lumbar enlargement. Spasticity and pain negatively affect rehabilitation outcomes and complicate patient care. Surgery methods initially yield good results but are associated with numerous complications in the long term. Lumbosacral spinal cord epidural stimulation significantly reduces spasticity and pain in 61.8% of adults and may be a preferred method for managing spasticity and pain syndrome in children with spinal cord injury.

AIM: To assess the long-term effectiveness of epidural spinal cord stimulation in the management of spasticity and pain syndrome in children with spinal cord injury.

MATERIALS AND METHODS: The study included 15 children aged 14 to 17 years with spinal cord injury sequelae who were admitted to the Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma since 2020. The assessment of the current condition was conducted through clinical assessment using the ASIA scale (to assess the impairment of spinal cord conduction), Ashworth and Tardieu scales (to assess muscle tone), MRS (to evaluate muscle strength), VAS (to measure pain syndrome), and the pendulum test. Additionally, an electromyographic assessment (F-wave) was performed to evaluate the severity of spasticity.

RESULTS: An epidural stimulator was implanted in 15 patients. Positive outcomes were observed in 12 (80%) children, with a reduction in spasticity by an average of 1–2 points on the Ashworth and Tardieu scales. The pendulum test demonstrated improvement in 12 (80%) cases, showing an increase in oscillatory movements. Pain severity decreased in 12 (80%) patients, muscle strength improved in 10 (66.7%) patients, and electromyographic parameters (reduction in the number of pathological F-waves) improved in 9 (60%) patients. In 7 (46.7%) cases, the dose of antispastic medication was reduced. No clinical improvement was observed in 3 (20%) patients.

CONCLUSION: Epidural stimulation is the treatment of choice for children with severe spastic syndrome due to spinal cord injury that is refractory to conservative therapy. Proper patient selection and objective assessment of their current condition increase the effectiveness of this method. In addition to improving pathological muscle tone, epidural stimulation also alleviates pain.

Keywords: spinal cord injury; spastic syndrome; epidural stimulation of spinal cord; medical rehabilitation; epidural stimulator.

To cite this article:

Popova OV, Novoselova IN, Valiullina SA, Meshcheryakov SV, Gagloev AG. Epidural stimulation for the management of spasticity in children with spinal cord injury sequelae. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2025;7(1):37–44. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab642017>

Список сокращений

ВАШ (Visual Analog Scale) — визуальная аналоговая шкала боли

НИИ НДХиТ — Научно-исследовательский институт неотложной хирургии и травматологии

Шкала Тардьё (Tardieu Scale) — инструмент для оценки спастичности у пациентов с неврологическими заболеваниями

Шкала Эшфорта (Modified Ashworth Scale) — модифицированная шкала спастичности

ASIA (American Spinal Injury Association) — шкала повреждений при травме спинного мозга Американской ассоциации травм позвоночника

MRS (Medical Research Council Scale) — шкала оценки мышечной силы

ОБОСНОВАНИЕ

При средней выраженности спастического и болевого синдромов применяется консервативная терапия, которая заключается в правильном позиционировании, назначении лечебной физкультуры, преформированных физических факторов, а также медикаментозной терапии. В нейрофармакотерапии спастического и болевого синдромов у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой применяются миорелаксанты центрального, цереброспинального, спинального и синаптического уровней действия, ненаркотические анальгетики, адъюванты (препараты, которые не являются истинными обезболивающими, но могут оказывать анальгезирующий эффект при определённых состояниях) и средства, снижающие эмоциональную лабильность, депрессию и тревогу [1].

К хирургическим методам коррекции повышенного патологического тонуса и болевого синдрома наряду с интратекальным введением лекарственных средств (таких как баклофен), деструктивными операциями на нервные волокна (таких как задняя селективная ризотомия) относят эпидуральную стимуляцию [2]. Принцип эпидуральной стимуляции заключается в воздействии микротока на конкретную зону спинного мозга, благодаря чему достигаются формирование тормозящего действия надсегментарного аппарата, блокада болевых импульсов и вазодилатационный эффект. После имплантации системы уже в тестовом периоде у пациентов снижается мышечный тонус [3]. Методика эпидуральной стимуляции показала свою эффективность у взрослых пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой: у 61,8% — хороший результат, у 23,5% — удовлетворительный [4].

Выбору эпидуральной стимуляции как метода коррекции спастического и болевого синдромов способствует не только его эффективность, но и малоинвазивность, что позволяет уменьшить риск осложнений в результате оперативного вмешательства [5].

Цель исследования — оценить применение эпидуральной стимуляции спинного мозга в коррекции спастического и болевого синдромов у детей с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы в динамике.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проводилось неконтролируемое одноцентровое выборочное исследование: выборку составили пациенты в возрасте 14–17 лет с подтверждёнными клиническими и лучевыми методами исследования последствиями травм на уровне шейного/грудного отделов позвоночника, и выраженным спастическим и болевым синдромом, восстановительный период которых занял более 6 месяцев.

Тип экспериментального исследования — неослепленное: все пациенты знали, что им произведена имплантация системы для эпидуральной стимуляции спинного мозга.

Исследование было интервенционным: всем пациентам проведена имплантация системы для эпидуральной стимуляции спинного мозга компании Abbott Eterma (США) через 6 и более месяцев после травмы.

Критерии соответствия

Критерии включения: возраст от 14 до 17 лет включительно; восстановительный период (более 6 месяцев) позвоночно-спинномозговой травмы на шейном и грудном уровнях, подтверждённой клиническими и лучевыми методами обследования; выраженные спастический и болевой синдромы; добровольное информированное согласие пациента или родителей (опекунов) пациента на участие в научном исследовании.

Критерии исключения: возраст до 14 лет; поясничный уровень позвоночно-спинномозговой травмы; отсутствие спастического и/или болевого синдрома; восстановительный период со дня травмы менее 6 месяцев.

Условия проведения

Исследование проведено в ГБУЗ «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии — Клиника доктора Рошалья» Департамента здравоохранения города Москвы (НИИ НДХиТ).

Продолжительность исследования

Исследование проведено в период с сентября 2020 по март 2023 года.

Описание медицинского вмешательства

В основе используемого вида лечения лежит имплантация электродов в эпидуральное пространство для электростимуляции спинного мозга. Всем пациентам была проведена имплантация системы для эпидуральной стимуляции спинного мозга компании Abbott Eterma через 6 месяцев и более после травмы. После выписки из стационара наблюдение продолжалось, при этом имелась возможность коррекции режима стимуляции спинного мозга.

Анализ в подгруппах

Выделены две подгруппы — с медикаментозной коррекцией и без таковой.

Методы регистрации исходов

Для определения уровня и степени тяжести нарушения проводимости спинного мозга применяли шкалу ASIA Американской ассоциации травм позвоночника (American Spinal Injury Association). Для оценки выраженности спастического синдрома использовали шкалы Эшфорта (Modified Ashworth Scale) и Тардые (Tardieu Scale) [6].

Объективное подтверждение снижения патологического тонуса осуществляли с помощью маятниковых теста и определения F-волны при проведении электромиографии [7].

Оценку выраженности болевого синдрома проводили по визуальной аналоговой шкале боли (ВАШ) для детей от 8 лет и старше [8]. Для оценки мышечной силы использовали шкалу MRS (Medical Research Council Scale).

Параметры функционального исхода обозначали абсолютными значениями и вычисляли разницей между показателями по шкалам на момент поступления и выписки (показатель прироста/снижения, дельта, Δ) — Δ MoCA (Монреальская когнитивная шкала), Δ NIHSS (шкала тяжести инсульта национальных институтов США), Δ BI (индекс Бартел), Δ mRS (модифицированная шкала Рэнкина).

Статистический анализ

Размер выборки предварительно не рассчитывался. Выборка составила 15 человек, оценивался результат до и после установки эпидурального тестового стимулятора.

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью компьютерной программы Statistica v.6.0 StatSO Inc. (Dell Inc., США). Использовали вычислительные и графические возможности редактора электронных таблиц MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В исследование включено 15 детей (от 14 до 17 лет включительно), поступивших в НИИ НДХИТ с 2020 года

с диагнозом «Последствия травмы спинного мозга (Т91.3)». По полу пациенты были разделены следующим образом: 7 (46,7%) девочек, 8 (53,3%) мальчиков. Деление по уровню травмы было следующим: у 5 (33,3%) — грудной (от Th5 до Th11), у 10 (66,7%) — шейный (от C4 до C7, у одного пациента — C5–T3) отделы позвоночника.

Диагностика актуального состояния проведена при помощи клинического осмотра. При клиническом осмотре использовали шкалы ASIA (для определения степени нарушения проводимости спинного мозга), Эшфорта и Тардые (для определения мышечного тонуса), MRS (для определения мышечной силы), ВАШ (для определения болевого синдрома), также был проведён маятниковый тест; кроме того, выполнена электромиографическая оценка (F-волна) выраженности спастического синдрома.

Основные результаты исследования

Результаты исследования представлены в табл. 1.

Из 15 пациентов 3 (30%) не показали положительной динамики.

По шкале ASIA у 10 (66,67%) пациентов класс чувствительности остался на прежнем уровне, у 5 (33,33%) — наблюдалась положительная динамика в виде увеличения чувствительности, из них у 4 (26,67%) — на один уровень, у 1 (6,67%) — на два уровня чувствительности (изменения признака статистически значимы, $p=0,028$).

По шкале Эшфорта положительную динамику показали 12 (80%) пациентов, при этом в 3 (20%) случаях уменьшение спастического синдрома было оценено на 1 балл, в 9 (60%) — на 2 балла, в 1 (6,67%) — на 4 балла (изменения признака статистически незначимы, $p=0,000$).

По шкале Тардые результаты следующие: положительную динамику показали 12 (80%) пациентов, из них уменьшение спастического синдрома оценено на 1 балл у 3 (20%), на 2 балла — у 9 (60%), на 4 балла — у 1 (6,67%). Изменения признака статистически незначимы ($p=0,000$).

При проведении маятникового теста 3 (20%) пациента не показали положительной динамики после установки эпидурального стимулятора, в 2 (13,33%) случаях число колебательных движений увеличилось на 1 движение, в 8 (53,33%) — на 2 движения, в 2 (13,33%) — на 4 движения (изменения признака статистически значимы, $p=0,015$).

У 6 (40%) пациентов феномен F-волны не наблюдался и до установки эпидурального стимулятора, после его установки число пациентов составило 100% (изменения признака статистически незначимы, $p=0,009$).

До установки эпидурального стимулятора болевой синдром по шкале ВАШ отсутствовал у 3 (20%) пациентов, после установки — отсутствовал в 100% случаев (изменения признака статистически незначимы, $p=0,000$).

Таблица 1. Основные результаты исследования**Table 1.** Primary results

Пациент	Тест												F-волна	
	ASIA, уровень		Эшфорта, балл		Тардые, балл		Маятниковый, количество колебательных движений		ВАШ, балл		MRS, балл			
	До	После	До	После	До	После	До	После	До	После	До	После	До	После
1	A	A	2	2	2	2	5	5	0	0	50	50	-	-
2	A	A	2	2	2	2	5	5	0	0	50	50	-	-
3	B	B	3	2	2	1	2	4	4	0	8	10	-	-
4	C	D	3	1	3	1	2	6	8	0	54	92	+	-
5	B	C	2	1	2	1	4	5	4	0	50	60	-	-
6	C	C	4	2	4	2	3	5	4	0	42	67	+	-
7	A	A	4	2	4	2	3	5	4	0	50	50	+	-
8	B	B	4	2	4	2	2	4	5	0	9	10	+	-
9	A	A	2	2	2	2	3	3	0	0	8	10	-	-
10	B	B	5	3	4	2	1	3	3	0	25	25	+	-
11	C	D	4	2	4	2	4	6	4	0	74	85	+	-
12	C	C	4	2	4	2	3	4	6	0	60	79	-	-
13	B	D	4	0	4	0	1	5	4	0	24	24	+	-
14	B	C	4	2	4	2	3	5	5	0	50	60	+	-
15	C	C	4	2	4	2	4	6	4	0	54	60	+	-

По шкале MRS у 4 (26,67%) пациентов не наблюдалась положительной динамики (из них двое вообще не показывали положительной динамики реабилитационных мероприятий), в 7 (46,67%) случаях динамика была незначительной (изменения признака статистически значимы, $p=0,013$).

Представленные выше значения парного t-критерия Стьюдента отражены в табл. 2.

Дополнительные результаты исследования

У 12/15 (80%) пациентов до установки эпидурального стимулятора наблюдался выраженный спастический синдром (по шкале Эшфорта — 4 балла, по шкале Тардые — 3 балла), резистентный к комбинированной антиспастической терапии (Баклосан + Сирдалуд) в течение 4 месяцев. У 12 (80%) пациентов наблюдался болевой синдром (6 баллов по шкале ВАШ), не купируемый ни прямыми анальгетиками, ни адьювантными. После установки стимулятора у 11/15 (73,3%) человек наблюдалась положительная динамика в виде уменьшения спастического синдрома по шкале Эшфорта

Таблица 2. Значения парного t-критерия**Table 2.** Paired Student's t-test values

Тест	<i>p</i>
Шкала ASIA	0,028
Шкала Эшфорта	0,000
Шкала Тардые	0,000
Маятниковый тест	0,015
Шкала боли ВАШ	0,000
Шкала MRS	0,013
F-волна (миография)	0,009

до 2 баллов, по шкале Тардые — до 2 баллов. У 1 (6,67%) пациента после установки стимулятора спастический синдром отсутствовал (0 баллов по шкалам Эшфорта и Тардые). У 7 (46,7%) детей снизилась доза противоспастического препарата.

Нежелательные явления

Нежелательных явлений в ходе исследования не отмечено.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования демонстрируют положительное влияние эпидуральной стимуляции на выраженность спастического и болевого синдромов.

Резюме основного результата исследования

Эпидуральный стимулятор был установлен 15 пациентам. У 12 (80%) из них наблюдалась положительная динамика в виде уменьшения спастичности в среднем на 1–2 балла по шкалам Эшфорта и Тардье. У 10 (66,7%) детей увеличилась мышечная сила, у 9 (60%) — улучшились показатели электронейромиографии (уменьшение количества патологических F-волн), у 7 (46,7%) — снизилась доза противоспастического препарата. У всех пациентов после установки стимуляторов был купирован болевой синдром. Реабилитационные мероприятия, в соответствии со шкалой MRS, показали высокую эффективность у 4 (26,6%) пациентов, ещё у 7 — среднюю (46,7%), что также было оценено положительно. Положительной динамики не выявлено в 3 (20%) наблюдениях.

Обсуждение основного результата исследования

Полученные результаты подтверждают и дополняют данные, полученные ранее в зарубежных исследованиях касательно положительного влияния эпидуральной стимуляции для снижения спастического синдрома у взрослых пациентов [4, 5]. Необходимо обратить внимание, что важным отличием является то, что в детском возрасте имеются особенности, которые нужно учитывать при использовании эпидуральной стимуляции. Таким образом, критерии выбора у детей включают в себя не только выраженность спастического и болевого синдромов, но и психологические особенности. Ограничение касается также использования противоспастических препаратов в связи с быстрым периодом привыкания к ним и более высоким уровнем токсичности для детей по сравнению со взрослыми пациентами. Был сделан вывод, что применение эпидуральной стимуляции — это наиболее оптимальный метод лечения спастического и болевого синдромов в детском возрасте.

Ограничения исследования

Среди недостатков исследования можно назвать его небольшую выборку — 15 человек, что связано с новизной данного метода лечения. В ходе проведения исследования не выявлено факторов, способных существенным образом повлиять на его выводы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эпидуральная стимуляция у детей с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы с выраженным спастическим синдромом, резистентным к консервативному лечению, показала положительный клинический эффект — не только снижение патологического мышечного тонуса, но и купирование болевого синдрома. Так, в большинстве случаев наблюдалась положительная динамика в виде увеличения чувствительности, снижения патологического мышечного тонуса, увеличения колебательных движений и снижения дозы противоспастического препарата, а после установки эпидуральных стимуляторов в 100% случаев отсутствовали болевой синдром и феномен F-волны.

Таким образом, эпидуральная стимуляция у детей с выраженным спастическим синдромом вследствие позвоночно-спинномозговой травмы, резистентным к консервативной терапии, является методом выбора лечения спастического синдрома. Правильный отбор пациентов, объективная оценка их актуального состояния увеличивают эффективность данной методики.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. О.В. Попова — обзор публикаций по теме статьи, выбор и исследование пациентов, проведение исследования, предоставление полученных данных, написание текста рукописи; И.Н. Новоселова — концепция и дизайн, обзор публикаций по теме исследования, анализ полученных данных, научная редакция текста рукописи; С.А. Валиуллина — общее редактирование, утверждение рукописи для публикации; С.В. Мещеряков — общее редактирование, утверждение рукописи для публикации. А.Г. Гаглов — выбор и исследование пациентов, установка эпидуральных стимуляторов. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Благодарности. Авторы выражают признательность отделу реабилитации, отделу нейрохирургии, статистическому отделу, отделу переводов ГБУЗ «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии — Клиника доктора Рошала» Департамента здравоохранения города Москвы.

Этическая экспертиза. Одобрено локальным этическим комитетом ГБУЗ «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии — Клиника доктора Рошала» Департамента здравоохранения города Москвы (протокол № 4 от 24.11.2022). Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источники финансирования. Исследование поддержано грантом Правительства г. Москвы «Система комплексной реабилитации детей с острыми травматическими повреждениями на основе организационной модели с применением инновационных медико-конвергентных технологий» (проект № 2412-9).

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При проведении исследования и создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе неприменима. Доступ к данным, полученным в настоящем исследовании, закрыт в связи с конфиденциальностью информации о пациентах.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions. O.V. Popova — literature review on the topic of the article, selection and examination of patients, conducting the study, providing the obtained data, writing the manuscript; I.N. Novoselova — concept and design, literature review on the research topic, analysis of the obtained data, scientific editing of the manuscript text; S.A. Valiullina — overall editing, approval of the manuscript for publication; S.V. Meshcheryakov — overall editing, approval of the manuscript for publication. A.G. Gagloev — selection and examination of patients, implantation epidural stimulators. Thereby, all authors provided approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or

integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Acknowledgments. The authors express their gratitude to the rehabilitation department, neurosurgery department, statistical department, and translation department of the Research Institute of Emergency Surgery and Traumatology of the Moscow Healthcare Department.

Ethics approval. Approved by the local ethical committee of the State Budgetary Institution 'Research Institute of Emergency Children's Surgery and Traumatology — Clinic of Dr Roshal' of the Moscow City Health Department (Protocol No. 4 of 24.11.2022). All study participants voluntarily signed an informed consent form prior to inclusion in the study.

Funding sources. The study was supported by a grant from the Government of Moscow "System of Comprehensive Rehabilitation for Children with Acute Traumatic Injuries Based on an Organizational Model Using Innovative Medical-Convergent Technologies" (project No. 2412-9).

Disclosure of interests. The authors have no relationships, activities or interests for the last three years related with for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality. The authors did not use previously published information (text, illustrations, data) in conducting research and creating this work.

Data availability statement. Editorial policy on data sharing not applicable to this work. Access to the data obtained in this study is closed due to confidential patient information

Generative AI. Generative AI technologies were not used for this article creation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Ninel VG, Smol'kin AA, Korshunova GA, Norikin IA. Methods of neuromodulation in the treatment of spastic syndrome and their role in complex rehabilitation of patients after spine and spinal cord injuries. *Spine Surgery*. 2016;13(3):15–21. doi: 10.14531/ss2016.3.15-21 EDN: WKYPAN
2. Isagulian ED, Kononov NA. *Neuromodulation of pain. Effective control of severe pain syndromes*. Moscow: IP «T.A. Alekseev»; 2020. 840 p. (In Russ.)
3. Kamadey OO, Krivoshechekov EP. Neurophysiological aspects of chronic epidural spinal cord stimulation in patients with spastic and pain syndromes. *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ" (rehabilitation, doctor and health)*. 2019;(4):45–50. EDN: HPSXTG
4. Dountz PV, Pak OI, Elitskiy AS, Gorbarenko RS. Applying chronic epidural stimulation of spinal cord. *Pacific medical journal*. 2012;(3):88–91. EDN: TDRZWX
5. Rzaev DA, Rudenko VV, Pudovkin IL, et al. Spinal cord stimulation in treatment of the neuropathic pain syndromes: Initial experience. *Traumatology and orthopedics of Russia*. 2010;(2):68–71. doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-2-68-71 EDN: MUQZPB
6. Belova AN, Builova TW, Buliubash ID, et al. Scales, tests and questionnaires in medical rehabilitation: A guide for clinicians and researchers. Moscow: Antidor; 2002. 440 p. (In Russ.) EDN: SIXRNF
7. Kan'shina DS, Kuznetsov AN, Nikolaev SG, et al. The variability of representation and latency of the F-wav. *Neuromuscular diseases*. 2019;9(1):61–66. doi: 0.17650/2222-8721-2019-9-1-61-66 EDN: ZDFHBZ
8. Mokhov EM, Kadykov VA, SergeevAN, et al. Pain scoring systems and their application features in medicine (literature review). *Upper Volgamedical journal*. 2019;18(2):34–37. EDN: DEYKPY

ОБ АВТОРАХ

* **Попова Ольга Владимировна;**

адрес: Россия, 119180, Москва, ул. Б. Полянка, д. 22;

ORCID: 0000-0003-4434-0659;

eLibrary SPIN: 5125-6980;

e-mail: oglapopova@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Olga V. Popova, MD;**

address: 22 Bolshaya Polyanka st, Moscow, Russia, 119180;

ORCID: 0000-0003-4434-0659;

eLibrary SPIN: 5125-6980;

e-mail: oglapopova@mail.ru

Новоселова Ирина Наумовна, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0003-2258-2913;

eLibrary SPIN: 1406-1334;

e-mail: i.n.novoselova@gmail.com

Валиуллина Светлана Альбертовна, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-1622-0169;

eLibrary SPIN: 6652-2374;

e-mail: vsa64@mail.ru

Мещеряков Семен Владимирович, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0003-3701-4628;

eLibrary SPIN: 3277-3926;

e-mail: msaemon@rambler.ru

Гаглов Алексей Георгиевич;

ORCID: 0009-0009-1621-5659;

eLibrary SPIN: 7101-4640;

e-mail: Gagloev.ag@yandex.ru

Irina N. Novoselova, MD, Dr. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-2258-2913;

eLibrary SPIN: 1406-1334;

e-mail: i.n.novoselova@gmail.com

Svetlana A. Valiullina, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0002-1622-0169;

eLibrary SPIN: 6652-2374;

e-mail: vsa64@mail.ru

Semen V. Meshcheryakov, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-3701-4628;

eLibrary SPIN: 3277-3926;

e-mail: msaemon@rambler.ru

Alexey G. Gagloev;

ORCID: 0009-0009-1621-5659;

eLibrary SPIN: 7101-4640;

e-mail: Gagloev.ag@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab646435>

Тест с шестиминутной ходьбой в кардиоонкорезабилитации: обзор

К.А. Блинова¹, И.Е. Мишина^{1, 2}, Г.Е. Иванова³, Е.Н. Копышева², А.К. Кострыгин¹,
А.С. Пугачева¹

¹ Ивановский государственный медицинский университет, Иваново, Россия;

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

³ Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

При лечении рака молочной железы применяются лекарственные препараты, обладающие выраженной кардиотоксичностью. Одним из новых подходов к профилактике и лечению сердечной недостаточности и снижению толерантности к физической нагрузке у пациентов с раком молочной железы является кардиоонкорезабилитация. Проведение субмаксимальной пробы позволяет оценить переносимость физических нагрузок и эффективность проводимой реабилитации.

В данном обзоре изучены возможности применения теста с шестиминутной ходьбой и выполнена оценка эффективности программ кардиотренировок у пациентов с раком молочной железы при помощи анализа результатов рандомизированных клинических исследований.

Тест с шестиминутной ходьбой показал надёжность и валидность при проведении у онкологических пациентов, но на его результаты может влиять множество факторов.

Максимальную частоту сердечных сокращений, полученную в тесте с шестиминутной ходьбой, можно использовать при назначении интенсивности тренировок, а результаты пробы — для оценки эффективности программы реабилитации. Состояние здоровья в динамике можно оценивать с помощью пробы на моторизованной дорожке, а носимые медицинские устройства позволяют применять тест с шестиминутной ходьбой в дистанционной реабилитации. Необходимо проведение фактического тестирования с целью определения переносимости физических нагрузок: тест с шестиминутной ходьбой может использоваться для динамического контроля за состоянием здоровья пациенток как при проведении в классических условиях, так и на тредмиле.

Ключевые слова: кардиоонкорезабилитация; рак молочной железы; тест с шестиминутной ходьбой; кардиотренировки; назначение физических тренировок.

Как цитировать:

Блинова К.А., Мишина И.Е., Иванова Г.Е., Копышева Е.Н., Кострыгин А.К., Пугачева А.С. Тест с шестиминутной ходьбой в кардиоонкорезабилитации: обзор // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2025. Т. 7, № 1. С. 45–54. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab646435>

DOI: <https://doi.org/10.366425/rehab646435>

Six-minute walk test in cardio-oncology rehabilitation: a review

Ksenia A. Blinova¹, Irina E. Mishina^{1, 2}, Galina E. Ivanova³, Elena N. Kopysheva², Alexander K. Kostrygin¹, Anna S. Pugacheva¹

¹ Ivanovo State Medical University, Ivanovo, Russia;

² Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia;

³ The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russia

ABSTRACT

Breast cancer treatment often involves drugs with significant cardiotoxicity. One of the novel approaches to preventing and managing heart failure and reduced exercise tolerance in patients with breast cancer is cardio-oncology rehabilitation. A submaximal exercise test allows for the assessment of physical load tolerance and the effectiveness of rehabilitation programs.

The aim of this review was to evaluate the feasibility of using the six-minute walk test for prescribing and assessing the effectiveness of cardiac training programs in patients with breast cancer through the analysis of randomized clinical trials. The six-minute walk test has demonstrated reliability and validity when performed in oncology patients, although its results may be influenced by numerous factors.

The maximum heart rate obtained during the six-minute walk test can be used to determine training intensity, and the test results can assess the effectiveness of rehabilitation programs. Changes in health status can be monitored using treadmill testing, while wearable medical devices enable the use of the six-minute walk test in remote rehabilitation. Actual testing is necessary to determine exercise tolerance: the six-minute walk test can be utilized for dynamic monitoring of patients' health both in conventional settings and on a treadmill.

Keywords: cardiooncorehabilitation; breast cancer; six-minute walk test; cardio training; exercise prescription.

To cite this article:

Blinova KA, Mishina IE, Ivanova GE, Kopysheva EN, Kostrygin AK, Pugacheva AS. Six-minute walk test in cardio-oncology rehabilitation: a review. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2025;7(1):45–54. DOI: <https://doi.org/10.366425/rehab646435>

Список сокращений

РМЖ — рак молочной железы

ТШХ — тест с шестиминутной ходьбой

ЧСС — частота сердечных сокращений

ВВЕДЕНИЕ

Рак молочной железы (РМЖ) в течение многих лет остаётся в Российской Федерации ведущим онкологическим заболеванием женского населения (22,5%) [1]. Повышение качества ранней диагностики и высокая эффективность новых методов противоопухолевого лечения привели к увеличению продолжительности жизни пациентов, но вместе с этим стал актуальным вопрос коррекции побочных эффектов проведённой терапии [2]. Одним из частых осложнений противоопухолевого лечения является кардиотоксичность [3, 4]. Антрациклины вызывают непосредственную гибель кардиомиоцитов, приводят к необратимому поражению миокарда, связанного в 4–36% случаев с дозой химиопрепарата и длительностью его применения. Препараты группы моноклональных антител (трастузумаб) в 2–15% случаев способствуют развитию обратимой дисфункции кардиомиоцитов, обусловленной митохондриальными и протеиновыми повреждениями в клетках миокарда и не зависящей от кумулятивной дозы препарата [5]. Лучевая терапия, особенно у пациентов с левосторонним РМЖ, вызывает псевдовоспалительные изменения эндотелиальных клеток и увеличивает продукцию свободных радикалов, что приводит к отсроченному повреждению миокарда [6].

В экспериментах на животных было доказано, что физические упражнения у грызунов снижают накопление доксорубина в миокарде, способствуют образованию стабилизирующих белков в кардиомиоцитах и защищают от кардиотоксичности, вызванной противоопухолевым лечением [7, 8]. В дальнейшем те же результаты были получены у добровольцев, выполняющих физические тренировки во время лечения антрациклинами [7].

В систематическом обзоре J.M. Scott и соавт. [9], где были проанализированы результаты 48 рандомизированных клинических исследований, было показано, что у пациентов с РМЖ низкая кардиореспираторная выносливость является сильным, независимым и модифицируемым фактором риска преждевременной смертности и увеличивает риск сердечно-сосудистых заболеваний. Исследование M. Akyol и соавт. [10] установило, что у пациентов с РМЖ проявления кардиотоксичности зависят от имеющихся факторов риска её развития и наличия противоопухолевого лечения, при этом вид противоопухолевой терапии значимого влияния не оказывает.

Физические упражнения у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями являются ключевой терапевтической стратегией для вторичной профилактики

и повышения кардиореспираторной выносливости [11]. Кардиоонкологическая реабилитация на основе физических упражнений была предложена в качестве нового подхода к борьбе с развитием сердечной недостаточности и снижения толерантности к физической нагрузке у пациентов после противоопухолевого лечения [12].

При назначении физических упражнений пациентам с РМЖ необходимо определить их минимальную интенсивность, продолжительность и частоту, учитывая текущий уровень физической подготовки и общее состояние здоровья пациента. Кардиореспираторная выносливость оценивается при выполнении пациентом различных нагрузочных проб и выражается в максимальном потреблении кислорода (VO_{2max}) [13].

Нагрузочные пробы выполняются на эргометрах (велозагмометр или тредмил) и требуют максимального напряжения, а это означает, что участники подвергаются нагрузке с возрастающей интенсивностью до возникновения утомления, что часто плохо переносится онкологическими пациентами [14]. Выполнение таких тестов может давать неточные результаты у лиц, не привыкших к высокоинтенсивным упражнениям [15], и зависеть от индивидуальной мотивации [16]. Кроме того, такие пробы не всегда доступны в медицинских организациях на различных этапах лечения онкологического заболевания. Именно поэтому появились пробы с субмаксимальной нагрузкой, которые просты, недороги и достаточно точны, чтобы предоставить достоверную информацию о кардиореспираторной выносливости, из них для оценки функциональной переносимости физических упражнений, а также эффективности реабилитационных вмешательств среди различных категорий пациентов наиболее часто используется тест с шестиминутной ходьбой (ТШХ) [17].

В обзоре изучены возможности применения ТШХ для назначения физических упражнений и проведена оценка эффективности программ кардиотренировок у пациентов с РМЖ на основе анализа рандомизированных клинических исследований.

Методология поиска источников

Поиск проводился в базах данных PubMed, Scopus, Web of Science, PEDro, Google Scholar, по ключевым словам «тестирование с физической нагрузкой», «тест с шестиминутной ходьбой», «кардиотоксичность противоопухолевой терапии», «рак груди». Последний поиск осуществлялся 15 января 2025 года.

Всего на январь 2025 года отобрано 54 источника, из которых 15 (16,9%) составили систематические обзоры, 1 (1,1%) — клинические рекомендации Американского

общества клинической онкологии, 38 (42,7%) — рандомизированные клинические исследования. Статьи, описывающие применение ТШХ с целью подбора или оценки эффективности программы упражнений, были опубликованы в течение последних 15 лет. Выборка должна была включать пациенток, проходящих лечение РМЖ или завершивших его на момент вмешательства. Результат вмешательства оценивался по величине пройденной дистанции, максимальному потреблению кислорода ($VO_{2\text{пик}}$), параметрам оценки кардиореспираторной выносливости, наличию жалоб и клинических проявлений непереносимости физических нагрузок в ходе выполняемого теста.

ПРАВИЛА ПРОВЕДЕНИЯ ТЕСТА С ШЕСТИМИНУТНОЙ ХОДЬБОЙ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ, У ПАЦИЕНТОК С РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Настоящий обзор посвящён изучению возможности применения ТШХ при РМЖ для назначения физических упражнений и контроля эффективности программы кардиотренировок у пациенток с повышенным риском кардиотоксичности противоопухолевого лечения.

Согласно правилам проведения, ТШХ проводится в помещении, а именно в 30-метровом коридоре с двумя поворотными точками и маркерами каждые 3 м [18]. Испытуемым предлагается пройти как можно большее расстояние за 6 минут по твёрдой ровной поверхности, при этом основным результатом теста является пройденное расстояние. В многоцентровом ретроспективном наблюдательном исследовании D. Scutinaro и соавт. [19] показано, что результат ТШХ имеет важное прогностическое значение у пациентов с лёгкой и умеренной сердечной недостаточностью, поскольку пройденное расстояние менее 300 м было связано с высокой смертностью в течение первого года, а менее 468 м — с высокими показателями госпитализации [20].

Надёжность и валидность ТШХ изучались у онкологических пациентов. Так, в исследовании K. Schmidt и соавт. [21] 50 пациентов онкологического профиля прошли ТШХ и велоэргометрическую пробу для оценки переносимости физической нагрузки. Было определено, что во время ТШХ пациенты преодолели среднее расстояние 594 ± 81 м со средней интенсивностью $86,3 \pm 9,6\%$ от максимальной частоты сердечных сокращений (ЧСС), которое достоверно коррелировало с достигнутой во время велоэргометрии $VO_{2\text{пик}}$ $21,2 \pm 4,86$ мл/кг в минуту ($p < 0,001$), что, как утверждают авторы, позволяет использовать ТШХ в качестве альтернативы велоэргометрической пробе. При определении надёжности теста коэффициент внутриклассовой корреляции составил $r = 0,93$ (95% доверительный интервал $0,86-0,97$; $p < 0,001$), а коэффициент вариации — 3%.

Во время повторного тестирования участники прошли на $3,1\%$ (95% ДИ $1,1-5,2$) больше и с более высокой интенсивностью физической нагрузки ($+1,0$; 95% ДИ $0,3-1,8$). Пределы согласия находились между $43,1$ м и $76,4$ м. Авторы сделали вывод, что с высокой надёжностью и достоверностью можно использовать ТШХ у онкологических пациентов.

На результаты ТШХ, согласно уравнению Энрайта–Шерилла, влияют пол, возраст, вес и рост человека [22]. В систематическом обзоре с метаанализом J. But-Hadzic и соавт. [23] показано, что среднее расстояние, полученное при ТШХ в когорте пациенток с РМЖ, составляет $477,4 \pm 23,4$ м. При прогнозировании расстояния, пройденного при ТШХ, с использованием уравнения Энрайта–Шерилла для женщин [22] дистанция должна была составить $548 \pm 19,4$ м, что на 71 м выше фактически полученного расстояния ($p < 0,001$). У здоровых женщин того же возраста фактически измеренное расстояние при ТШХ составило $589,9 \pm 18,3$ м, что оказалось значительно больше пройденной дистанции у пациенток с РМЖ ($p < 0,0001$). В исследовании A. Ortiz и соавт. [24] начальная дистанция, пройденная при ТШХ пациентками, перенёсшими РМЖ, составила 436 ± 99 м, что соответствовало нормативным значениям здоровых женщин 80–89 лет. В работе G. Mascherini и соавт. [25] при анализе результатов ТШХ у 43 пациенток с РМЖ показано, что среднее значение дистанции составляет $497,2 \pm 24,9$ м, что гораздо ниже прогнозируемого нормального диапазона для данного возраста и пола.

Доказано также, что индекс массы тела оказывает большее влияние на результаты ТШХ у пациенток с РМЖ, чем у здоровых женщин: разница пройденной дистанции при одинаковом индексе массы тела составила 103 м [22], что свидетельствует о влиянии неучтённых факторов на результат теста (наличие заболевания, кардиотоксичность применяемой терапии, количество пройденных курсов лечения и др.). По данным L. Ying и соавт. [26], у пациенток, страдающих РМЖ, расстояние, пройденное при ТШХ, уменьшалось на $4,2$ м на единицу увеличения индекса массы тела ($p < 0,001$).

Влияние возраста на показатели ТШХ было неоднозначным. Так, в систематическом обзоре J. But-Hadzic и соавт. [23], включившим анализ 21 рандомизированного клинического исследования, доказано, что пациентки с РМЖ моложе 50 лет прошли в среднем меньшее расстояние, чем женщины старше 50 лет ($459,6 \pm 36,3$ м против $491,7 \pm 33$ м; $p < 0,001$). Возможно, такая разница зависит от кардиотоксичности получаемой химиотерапии, так как у молодых женщин чаще встречаются более агрессивные типы РМЖ, которые требуют назначения антрациклинов и моноклональных антител [27], тогда как у пациенток более старшего возраста для лечения гормонозависимых опухолей чаще используют ингибиторы ароматазы, не оказывающие токсического влияния. В работе L. Ying и соавт. [26] было показано, что дистанция, пройденная при ТШХ пациентками с РМЖ, получающими одинаковое лечение, с каждым годом уменьшается на $2,6$ м ($p < 0,001$).

Наличие сопутствующих заболеваний имело статистически значимое отрицательное влияние на результаты ТШХ ($-56,9$ м; $p < 0,001$) [22].

Всё сказанное выше подтверждает наличие у пациенток с РМЖ комплекса факторов, которые могут влиять на результаты нагрузочной пробы и не учитываются при расчёте формулы должного значения пройденной дистанции, что подчёркивает важность фактически проводимого тестирования, позволяющего оценить переносимость физических нагрузок.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕСТА С ШЕСТИМИНУТНОЙ ХОДЬБОЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ У ПАЦИЕНТОК С РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КУРСА РЕАБИЛИТАЦИИ

Одним из основополагающих факторов успешной реабилитации является персонализированный подход. У пациенток с РМЖ переносимость физической нагрузки зависит от периода противоопухолевого лечения (проводимый/завершённый курс лечения), а интенсивность и продолжительность могут меняться с течением времени. Именно поэтому для обеспечения эффективности программы тренировок при определении интенсивности физических упражнений необходим расчёт целевой ЧСС с возможной коррекцией её в процессе лечения [28].

Определение интенсивности упражнений может происходить при помощи различных методов: с использованием показателей ЧСС, полученных при определении $VO_{2\text{пик}}$ в ходе кардиопульмонального нагрузочного тестирования или увеличении образования лактата в концентрации 2–3 ммоль/л, по методу Карвонена или субъективным ощущениям (шкала Борга, разговорный тест) [29].

В исследовании N. Tubiana-Mathieu и соавт. [30] для определения интенсивности физических тренировок у 138 пациенток, проходивших лечение по поводу РМЖ, проводили кардиопульмональное нагрузочное тестирование и ТШХ. При анализе максимальных значений ЧСС, полученных при исследованиях до проведения химиотерапии, был получен высокий уровень корреляции ($r=0,7$; $p < 0,0001$). Среднее значение ЧСС при кардиопульмональном нагрузочном тестировании составило $127,8 \pm 14,0$ уд./мин (74,3% максимального значения ЧСС), а среднее значение ЧСС, полученное при ТШХ, — $129,3 \pm 15,5$ уд./мин (75,2% максимального значения ЧСС). Затем 83 пациентки прошли программу медицинской реабилитации с интенсивностью физических упражнений, назначенной по результатам пройденных нагрузочных проб (60–80%

максимального значения ЧСС). Оставшиеся пациентки составили группу контроля. Через 6 месяцев при повторном тестировании в исследуемой группе выявлены ещё более значимая положительная корреляция и высокое соответствие между максимальной ЧСС, полученной при кардиопульмональном нагрузочном тестировании и ТШХ ($r=0,8$; $p < 0,001$). В контрольной группе определялись умеренная положительная корреляция и умеренное соответствие между этими же значениями ($r=0,6$; $p < 0,001$). Корреляции не зависели от возраста и индекса массы тела. Пациентки исследуемой группы показали значимое увеличение дистанции при ТШХ по сравнению с результатами контрольной группы, что свидетельствует об эффективности назначенной программы упражнений. По результатам исследования авторы сделали вывод, что переносимость физических нагрузок может меняться у пациенток с РМЖ при прохождении противоопухолевого лечения в зависимости от наличия физической активности, а использование ЧСС, полученной при прохождении ТШХ, может заменить результаты кардиопульмонального нагрузочного тестирования при назначении интенсивности тренировок (60–80% от ЧСС за последние 3 минуты ТШХ).

ТШХ часто используется для оценки эффективности медицинской реабилитации и прогноза общей выживаемости. В табл. 1 продемонстрирована возможность оценки эффективности программы медицинской реабилитации при помощи ТШХ [31–40]. В большинстве представленных клинических исследований реабилитационное вмешательство осуществлялось с помощью аэробных тренировок средней интенсивности в сочетании с силовыми упражнениями [30–33, 35–38], проводилось во время противоопухолевого лечения [31, 32, 37, 39] или после него [31, 34–38, 40]. Программа тренировок чаще всего была рассчитана на 12 недель [33, 34, 37–40], время занятий составляло до 30–60 минут [30, 31, 33, 34, 36–40]. Клинические исследования с проведением реабилитационного вмешательства показали значимое увеличение дистанции, пройденной при ТШХ, среднее значение которого составило $36,8 \pm 16,7$ м, или 8,2% от исходного уровня. Результаты проведённых клинических исследований подтверждают возможность использования ТШХ у пациенток с РМЖ для оценки функциональных возможностей организма и эффективности проведённой программы реабилитации.

В работе A.L. Mulero Portela и соавт. [38] проведён анализ результатов реабилитационных программ, куда входили аэробные тренировки средней и низкой интенсивности. Подбор интенсивности нагрузки проводился по максимальной ЧСС, определённой во время ТШХ. При анализе полученных данных оказалось, что краткосрочная эффективность реабилитационных программ практически не отличалась (при низкой интенсивности тренировок пройденная заключительная дистанция составила $471,6 \pm 56,1$ м, при умеренной интенсивности — $471,01 \pm 62,69$ м). Через 6 месяцев в группе пациентов с низкой интенсивностью физической нагрузки среднее расстояние ТШХ

Таблица 1. Оценка эффективности реабилитационных вмешательств у пациентов с раком молочной железы по результатам теста шестиминутной ходьбы
Table 1. Assessment of the effectiveness of rehabilitation interventions in patients with breast cancer based on six-minute walk test results

Источник	Число пациентов, n / Средний возраст, лет	Этап лечения	Программа реабилитации	Тест шестиминутной ходьбы, м		p
				до реабилитации	после реабилитации	
Milecki, и соавт., 2013 [31]	46 / 51±11,3	Во время лечения (лучевая терапия)	Аэробные тренировки (5 раз/нед., 65–70% ЧСС _{max} , 40–45 мин, 6 нед.	423,37±66,6	447,33±65,3	0,001
Cornette и соавт., 2016 [32]	42 / 52±18	Во время лечения (химиотерапия + лучевая терапия последовательно, 6 курсов)	Аэробные и силовые тренировки, 3 нед.	522,3±65,2	552±54,2	0,001
Foley и соавт., 2016 [33]	52 / 59,7±10,4	После лечения	Аэробные и силовые тренировки, на равновесие и гибкость по 30 мин каждая, в общей сложности 90 мин, 2 раза/нед., 12 нед.	416,7±81,1	476,7±97,4	0,001
Leclercq и соавт., 2017 [34]	209 / 53±8,9	После лечения (за исключением гормоно- и иммунотерапии)	Аэробные (30 мин), силовые (30 мин), тренировки на гибкость (30 мин) 3 раза/нед., 12 нед.	518±72	561±48	0,002
Serulli и соавт., 2019 [35]	14 / 58,3±5,2	После лечения	Аэробные тренировки, 2 раза/нед., 16 нед.	590±61,5	634,6±50,5	0,006
Nojan и соавт., 2020 [36]	26 / 54,5±6,05	После лечения (трастузумаб)	Аэробные (45–50 мин) и силовые (40–45 мин) тренировки 5 раз/нед., 9 нед.	416±31,7	448,7±50,1	0,042
Tubiana-Mathieu и соавт., 2021 [30]	85 / 51±22	Во время лечения (химиотерапия)	Аэробные (2 раза/нед.), силовые (1 раз/нед.) тренировки, 20–40 мин, 6 мес	521,6±61,2	539,1±59,9	0,0011
Soucy и соавт., 2023 [37]	24 / 56±25	Во время и 2 года после лечения	Аэробная и силовая (60 мин) тренировки 2 раза/нед., 12 нед.	387,7±71,1	462,7±83,4	<0,01
Mulero Portela и соавт., 2024 [38]	36 / 59,66±5,97	После лечения	Аэробные тренировки <i>средней</i> интенсивности по 30 мин (64–75% ЧСС _{max}), силовые, на гибкость и равновесие, 12 нед.	469,9±64,7	492,2±68,6	0,008
Ataquiб и соавт., 2024 [39]	29 / 62,06±7,38	После лечения	Аэробные тренировки <i>низкой</i> интенсивности по 30 мин (57–63% ЧСС _{max}) силовые, на гибкость и равновесие, 12 нед.	471±62,7	495,9±66,6	0,006
Ataquiб и соавт., 2024 [40]	30 / 44,63±6,44	Во время лечения (химиотерапия)	Аэробные (30 мин) ежедневно, 12 нед.	334,2±67,9	368,5±56,3	0,037
Ataquiб и соавт., 2024 [40]	60 / 51,67±4,97	После лечения	Аэробные тренировки (60 мин) 2 раза/нед., 12 нед.	334,2±67,5	367,9±62,6	0,02

Примечание. ЧСС — частота сердечных сокращений.

Note. ЧСС — heart rate.

сократилось до $469,9 \pm 64,7$ м, а в группе с умеренной интенсивностью — повысилось до $495,9 \pm 66,6$ м ($p=0,006$), что свидетельствует о более высокой и длительной эффективности программ реабилитации с умеренной интенсивностью назначенных упражнений, а также о возможности использования ТШХ в динамическом контроле состояния здоровья пациентов.

ПРОВЕДЕНИЕ ТЕСТА С ШЕСТИМИНУТНОЙ ХОДЬБОЙ ПРИ ПОМОЩИ БЕГОВОЙ ДОРОЖКИ И ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ УСТРОЙСТВ У ПАЦИЕНТОК С РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

В настоящее время не во всех медицинских учреждениях имеются физические и пространственные возможности для проведения ТШХ. Наличие свободного коридора длиной 30 м с фиксированной разметкой может являться решающим ограничивающим фактором к проведению нагрузочной пробы.

Возможность проведения ТШХ на моторизованной беговой дорожке с индивидуальным темпом, которая позволяет регулировать естественную скорость ходьбы, рассматривалась во многих клинических исследованиях. Предполагалось, что применение дорожки позволило бы проводить тестирование в небольшом закрытом помещении в удобное для врача и пациента время, однако, по данным А. Ngueleu и соавт. [41], выполнение ТШХ на беговой дорожке по сравнению с ходьбой в коридоре демонстрирует более короткие пройденные дистанции, поэтому полученные результаты не могут быть взаимозаменяемыми. Уменьшению расстояния при тестировании на тредмиле могут способствовать многие факторы: отличия в биомеханике ходьбы [42], необходимость сохранения равновесия и координации движений [17, 43], затрата большего количества энергии [44]. Кроме того, для большинства пациентов ходьба по коридору является более привычным видом физической активности, чем ходьба на беговой дорожке [45].

Выполнение ТШХ на беговой дорожке в динамике пациентами, проходящими кардиореабилитацию, показало высокую достоверность при оценке эффективности проводимого лечения [43]. В исследовании I. Cantarero-Villanueva и соавт. [46] ТШХ на беговой дорожке проводился для оценки влияния физической активности на состояние здоровья пациенток во время и по окончании противоопухолевого лечения РМЖ. К моменту начала исследования первая группа пациенток закончила химиотерапию, вторая группа получала противоопухолевое лечение. Сравнение результатов ТШХ до и после 8-недельного курса физических тренировок выявило статистически и клинически значимую разницу увеличения пройденной

дистанции: $+41,6$ м в первой и $+54$ м во второй группе ($p < 0,01$). Результаты исследования подтвердили, что ТШХ на беговой дорожке может быть использован в динамике при анализе эффективности реабилитационной программы пациенток с РМЖ.

Актуальным остаётся вопрос использования носимых медицинских технологий, которые могут отслеживать и регистрировать основные показатели жизнедеятельности. Базовые показатели активности, такие как шаги и ЧСС, могут информировать о состоянии здоровья пациента и использоваться для прогнозирования и выбора лечения. Результаты проведённых исследований показали высокую точность и надёжность носимых устройств по сравнению с данными, предоставленными пациентами или врачами [47], причём устройства медицинского класса обеспечивали более чувствительные и точные измерения, а аппараты потребительского класса — достаточную надёжность для объективного измерения физической активности пациента, что ставит их в ряд эффективной и при этом бюджетной альтернативы медицинским приборам [48].

Проведение ТШХ у пациенток с онкологическим заболеванием, проходящих амбулаторную медицинскую реабилитацию с применением телемедицинских технологий, даёт возможность контролировать её эффективность и проводить своевременную коррекцию. В исследовании J.A. Douma и соавт. [49] пациентки с онкологическими заболеваниями самостоятельно выполняли ТШХ на открытом воздухе в домашней обстановке с помощью приложения для смартфона, которое использовало сигнал глобальной системы позиционирования (GPS) для оценки расстояния. Повторное тестирование проводилось в этот же день в медицинском учреждении в стандартных условиях. Проведение ТШХ при помощи приложения для смартфона показало высокую надёжность как при сравнении со стандартным проведением (расстояние ТШХ при помощи приложения составило 424 ± 126 м, при стандартном ТШХ — 431 ± 161 м; $p=0,001$), так и при сопоставлении с результатами повторного измерения после курса реабилитации (ТШХ до курса — 408 ± 209 м, после курса — 478 ± 182 м; $p < 0,001$). Авторы также предложили использование данного приложения в постоянном режиме в течение дня с целью контроля повседневной физической активности (ЧСС, количество шагов) и повышения приверженности к программам реабилитации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным рандомизированных клинических исследований, ТШХ является простым и доступным методом определения переносимости субмаксимального уровня физической нагрузки, который показал надёжность и валидность у пациенток, страдающих злокачественными новообразованиями. Наличие заболевания, кардиотоксичность проводимого лечения, уровень физической активности до начала

лечения и во время него — всё это может оказывать влияние на переносимость физической нагрузки у пациентов. Для правильной оценки функциональных возможностей организма необходимо фактическое проведение ТШХ. Для определения интенсивности тренировок можно использовать результаты, полученные при прохождении ТШХ: коридор тренировочного пульса должен составлять 60–80% максимальной ЧСС, полученной за последние 3 минуты тестирования. Проведение ТШХ по стандартным правилам до и после курса медицинской реабилитации позволяет достоверно оценить её краткосрочную и долгосрочную эффективность у пациенток с РМЖ.

Применение моторизованной беговой дорожки для прохождения субмаксимальной нагрузочной пробы возможно только в динамике для оценки результатов комплексной реабилитации. Носимые медицинские устройства помогут в анализе исходного уровня физической подготовки и влияния дистанционных реабилитационных мероприятий на состояние здоровья пациента.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. К.А. Блинова — обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация данных, написание рукописи, редактирование; И.Е. Мишина — анализ и интерпретация данных, редактирование; Г.Е. Иванова — проверка и редактирование рукописи; А.К. Кострыгин, Е.Н. Копышева — анализ данных, редактирование; А.С. Пугачева — обзор публикаций по теме статьи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При проведении исследования и создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions. K.A. Blinova — review of publications on the topic of the article, analysis and interpretation of data, manuscript writing, editing; I.E. Mishina — analysis and interpretation of data, editing; G.E. Ivanova — verification and editing of the manuscript; A.K. Kostrygin, E.N. Kopysheva — data analysis, editing; A.S. Pugacheva — review of publications on the topic of the article. Thereby, all authors provided approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Funding sources. No funding.

Disclosure of interests. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Statement of originality. When conducting the research and creating this work, the authors did not use previously published information (text, illustrations, data).

Generative AI. Generative AI technologies were not used for this article creation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. *Malignant neoplasms in Russia in 2023 (morbidity and mortality)*. Kaprin AD, et al., editors. Moscow: National Medical Research Radiological Center; 2024. 276 p. (In Russ.)
2. Khajoei R, Ilkhani M, Azadeh P, et al. Breast cancer survivors-supportive care needs: Systematic review. *BMJ Support Palliat Care*. 2023;13(2):143–153. doi: 10.1136/spcare-2022-003931 EDN: IIESYP
3. Fernández-Casas A, Leirós-Rodríguez R, Hernandez-Lucas P, González-Represas A. Protective effects of exercise on cardiotoxicity induced by breast cancer treatments: A systematic review and meta-analysis. *Maturitas*. 2024;183:107932. doi: 10.1016/j.maturitas.2024.107932 EDN: TPBSIL
4. Scalia IG, Gheyath B, Tamarappoo BK, et al. Chemotherapy related cardiotoxicity evaluation: A contemporary review with a focus on cardiac imaging. *J Clin Med*. 2024;13(13):3714. doi: 10.3390/jcm13133714 EDN: KFCDPI
5. Valiyaveettil D, Joseph D, Malik M. Cardiotoxicity in breast cancer treatment: Causes and mitigation. *Cancer Treat Res Commun*. 2023;37:100760. doi: 10.1016/j.ctarc.2023.100760 EDN: LSIFNC
6. Chung WP, Yang HL, Hsu YT, et al. Real-time exercise reduces impaired cardiac function in breast cancer patients undergoing chemotherapy: A randomized controlled trial. *Ann Phys Rehabil Med*. 2022;65(2):101485. doi: 10.1016/j.rehab.2021.101485 EDN: LNQUUA
7. Naaktgeboren WR, Binyam D, Stuijver MM, et al. Efficacy of physical exercise to offset anthracycline-induced cardiotoxicity: A systematic review and meta-analysis of clinical and preclinical studies. *J Am Heart Assoc*. 2021;10(17):e021580. doi: 10.1161/JAHA.121.021580 EDN: UQDZSK
8. Werner C, Hanhoun M, Widmann T, et al. Effects of physical exercise on myocardial telomere-regulating proteins, survival pathways, and apoptosis. *J Am Coll Cardiol*. 2008;52(6):470–482. doi: 10.1016/j.jacc.2008.04.034 EDN: VZPSFN
9. Scott JM, Zabor EC, Schwitzer E, et al. Efficacy of exercise therapy on cardiorespiratory fitness in patients with cancer: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Oncol*. 2018;36(22):2297–2305. doi: 10.1200/JCO.2017.77.5809
10. Akyol M, Tuğral A, Arıbaş Z, Bakar Y. Assessment of the cardiorespiratory fitness and the quality of life of patients with breast cancer undergoing chemotherapy: A prospective study. *Breast Cancer*. 2023;30(4):617–626. doi: 10.1007/s12282-023-01453-6 EDN: LEEBNG

11. Mishina IE, Sarana AM, Mikhailovskaia TV, Ivanova GE. Principles for the appointment of aerobic physical training during outpatient cardiac rehabilitation. *Bulletin of rehabilitation medicine*. 2020;97(3):83–95. doi: 10.38025/2078-1962-2020-97-3-83-95 EDN: NAPBEE
12. Foulkes SJ, Howden EJ, Pituskin E, et al. A review on the role of exercise training to prevent a decline in cardiorespiratory fitness and cardiac function in breast cancer survivors. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2024;44(1):5–14. doi: 10.1097/HCR.0000000000000834 EDN: FBOHGR
13. Bonikowske AR, Taylor JL, Larson KF, et al. Evaluating current assessment techniques of cardiorespiratory fitness. *Expert Rev Cardiovasc Ther*. 2024;22(6):231–241. doi: 10.1080/14779072.2024.2363393 EDN: BHGKYN
14. Li H, Liu H, Wang B, et al. Exercise interventions for the prevention and treatment of anthracycline-induced cardiotoxicity in women with breast cancer: A systematic review. *J Sci Sport Exercise*. 2025;7:14–27. doi: 10.1007/s42978-023-00256-7 EDN: IVFVTI
15. Moreno-Cabañas A, Ortega JF, Morales-Palomo F, et al. Importance of a verification test to accurately assess VO₂ max in unfit individuals with obesity. *Scand J Med Sci Sports*. 2020;30(3):583–590. doi: 10.1111/sms.13602
16. Midgley AW, Earle K, McNaughton LR, et al. Exercise tolerance during VO₂max testing is a multifactorial psychobiological phenomenon. *Res Sports Med*. 2017;25(4):480–494. doi: 10.1080/15438627.2017.1365294
17. Roberts DE, Futrell EE, Toole E. Submaximal walking tests: A review of clinical use. *J Clin Exercise Physiol*. 2022;11(2):62–74. doi: 10.31189/2165-6193-11.2.62
18. ATS committee on proficiency standards for clinical pulmonary function laboratories. ATS statement: Guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166(1):111–117. doi: 10.1164/ajrccm.166.1.at1102. Erratum in: *Am J Respir Crit Care Med*. 2016;193(10):1185. doi: 10.1164/rccm.19310erratum
19. Scrutinio D, Guida P, La Rovere MT, et al. Incremental prognostic value of functional impairment assessed by 6-min walking test for the prediction of mortality in heart failure. *Sci Rep*. 2024;14(1):3089. doi: 10.1038/s41598-024-53817-3 EDN: PPLIWM
20. Wegrzynowska-Teodorczyk K, Rudzinska E, Lazorzyc M, et al. Distance covered during a six-minute walk test predicts long-term cardiovascular mortality and hospitalisation rates in men with systolic heart failure: An observational study. *J Physiother*. 2013;59(3):177–187. doi: 10.1016/S1836-9553(13)70182-6
21. Schmidt K, Vogt L, Thiel C, et al. Validity of the six-minute walk test in cancer patients. *Int J Sports Med*. 2013;34(7):631–636. doi: 10.1055/s-0032-1323746
22. Enright PL, Sherrill DL. Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respir Crit Care Med*. 2020;201(3):393. doi: 10.1164/rccm.v201erratum1 EDN: YSTTIZ
23. But-Hadzic J, Dervisevic M, Karpljuk D, et al. Six-minute walk distance in breast cancer survivors: A systematic review with meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(5):2591. doi: 10.3390/ijerph18052591 EDN: HZNJBB
24. Ortiz A, Tirado M, Hughes DC, et al. Relationship between physical activity, disability, and physical fitness profile in sedentary Latina breast cancer survivors. *Physiother Theory Pract*. 2018;34(10):783–794. doi: 10.1080/09593985.2018.1424978
25. Mascherini G, Tosi B, Giannelli C, et al. Breast cancer: Effectiveness of a one-year unsupervised exercise program. *J Sports Med Phys Fitness*. 2019;59(2):283–289. doi: 10.23736/S0022-4707.18.08131-8
26. Ying L, Yahng JJ, Fisher M, et al. Walking the boundaries: Using the 6-min walk test for accurate assessment of the level of fitness in breast clinic outpatients. *ANZ J Surg*. 2020;90(6):1141–1145. doi: 10.1111/ans.15637
27. Howard FM, Olopade OI. Epidemiology of triple-negative breast cancer: A review. *Cancer J*. 2021;27(1):8–16. doi: 10.1097/PP0.0000000000000500 EDN: ICBMXB
28. Mikhailovskaya TV, Nazarova OA, Dovgalyuk YuV, et al. Methodological issues of assessment of sixminute walk test in patients with coronary artery disease. *Bulletin of rehabilitation medicine*. 2021;20(3):37–44. doi: 10.38025/2078-1962-2021-20-3-37-44 EDN: ZRXBCM
29. Hansen D, Abreu A, Ambrosetti M, et al. Exercise intensity assessment and prescription in cardiovascular rehabilitation and beyond: Why and how. A position statement from the Secondary Prevention and Rehabilitation Section of the European Association of Preventive Cardiology. *Eur J Prev Cardiol*. 2022;29(1):230–245. doi: 10.1093/eurjpc/zwab007 EDN: OPKECN
30. Tubiana-Mathieu N, Cornette T, Mandigout S, et al. Can the six-minute walk test be used to individualize physical activity intensity in patients with breast cancer? *Cancers (Basel)*. 2021;13(22):5851. doi: 10.3390/cancers13225851 EDN: BQQMTI
31. Milecki P, Hojan K, Ozga-Majchrzak O, Molińska-Glura M. Exercise tolerance in breast cancer patients during radiotherapy after aerobic training. *Contemp Oncol (Pozn)*. 2013;17(2):205–209. doi: 10.5114/wo.2013.34453
32. Cornette T, Vincent F, Mandigout S, et al. Effects of home-based exercise training on VO₂ in breast cancer patients under adjuvant or neoadjuvant chemotherapy (SAPA): A randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2016;52(2):223–232.
33. Foley MP, Hasson SM. Effects of a community-based multimodal exercise program on health-related physical fitness and physical function in breast cancer survivors: A pilot study. *Integr Cancer Ther*. 2016;15(4):446–454. doi: 10.1177/1534735416639716
34. Leclerc AF, Foidart-Dessalle M, Tomasella M, et al. Multidisciplinary rehabilitation program after breast cancer: Benefits on physical function, anthropometry and quality of life. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2017;53(5):633–642. doi: 10.23736/S1973-9087.17.04551-8
35. Cerulli C, Parisi A, Sacchetti M, et al. Dancing with health: A new dance protocol to improve the quality of life of breast cancer survivors. *Med Sport*. 2019;72:295–304. doi: 10.23736/S0025-7826.19.03530-0
36. Hojan K, Procyk D, Horyńska-Kęstowicz D, et al. The preventive role of regular physical training in ventricular remodeling, serum cardiac markers, and exercise performance changes in breast cancer in women undergoing trastuzumab therapy: An REH-HER study. *J Clin Med*. 2020;9(5):1379. doi: 10.3390/jcm9051379 EDN: ZROQWE
37. Soucy C, Bouchard DR, Hrubeniuk T, Sénéchal M. Variability in physical function for patients living with breast cancer during a 12-week exercise program. *Support Care Cancer*. 2022;30(1):69–76. doi: 10.1007/s00520-021-06394-4 EDN: RMXVSI
38. Mulero Portela AL, Colón Santaella CL, Rogers LQ, Missaghian Vissepo M. Effect of low- and moderate-intensity endurance exercise on physical functioning among breast cancer survivors: A randomized controlled trial. *Support Care Cancer*. 2024;33(1):49. doi: 10.1007/s00520-024-09100-2 EDN: BUHBKP

- 39.** Araquib AK, Salah SS, El Missiri AM, Kamal KA. The effect of cardiac rehabilitation on quality of life and 6-minute walk test in breast cancer patients during ongoing anthracycline based therapy. *Egypt J Hospital Med.* 2024;96(1):3346–3351.
- 40.** Araquib AK, Haddad MM, Kamal KA, Raymond R. The effect of cardiac rehabilitation on quality of life and 6-minute walk test in breast cancer survivors. *Int J Cardiol Res.* 2024;6(2):36–42.
- 41.** Ngueleu AM, Barrette S, Buteau C, et al. Impact of pathway shape and length on the validity of the 6-minute walking test: A systematic review and meta-analysis. *Sensors.* 2025;25(1):17. doi: 10.3390/s25010017 EDN: QIXPXM
- 42.** Semaan MB, Wallard L, Ruiz V, et al. Is treadmill walking biomechanically comparable to overground walking? A systematic review. *Gait Posture.* 2022;92:249–257. doi: 10.1016/j.gaitpost.2021.11.009 EDN: PXXKNG
- 43.** Nevelikova M, Dosbaba F, Pepera G, et al. Validity and reliability of automated treadmill six-minute walk test in patients entering exercise-based cardiac rehabilitation. *Ann Med.* 2023;55(2):2304664. doi: 10.1080/07853890.2024.2304664 EDN: RJBHBL
- 44.** Vickery-Howe DM, Bonanno DR, Dascombe BJ, et al. Physiological, perceptual, and biomechanical differences between treadmill and overground walking in healthy adults: A systematic review and meta-analysis. *J Sports Sci.* 2023;41(23):2088–2120. doi: 10.1080/02640414.2024.2312481 EDN: WLFWCQ
- 45.** Al Maghraby MA, Alshami AM, Muaidi QI, et al. Corridor and real-time 6-minute walk tests in healthy young adults: A randomized cross-over study. *J Taibah Univ Med Sci.* 2024;19(3):637–643. doi: 10.1016/j.jtumed.2024.05.005 EDN: OJVTRB
- 46.** Cantarero-Villanueva I, Postigo-Martin P, Granger CL, et al. The minimal clinically important difference in the treadmill six-minute walk test in active women with breast cancer during and after oncological treatments. *Disabil Rehabil.* 2023;45(5):871–878. doi: 10.1080/09638288.2022.2043461 EDN: DNULII
- 47.** Mak J, Rens N, Savage D, et al. Reliability and repeatability of a smartphone-based 6-min walk test as a patient-centred outcome measure. *Eur Heart J Digit Health.* 2021;2(1):77–87. doi: 10.1093/ehjdh/ztab018 EDN: TNSOAB
- 48.** Chow R, Drkulec H, Im JH, et al. The use of wearable devices in oncology patients: A systematic review. *Oncologist.* 2024;29(4):e419–e430. doi: 10.1093/oncolo/oyad305 EDN: QFUEMN
- 49.** Douma JA, Verheul HM, Buffart LM. Feasibility, validity and reliability of objective smartphone measurements of physical activity and fitness in patients with cancer. *BMC Cancer.* 2018;18(1):1052. doi: 10.1186/s12885-018-4983-4 EDN: BUFUTX

ОБ АВТОРАХ

* **Блинова Ксения Александровна**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 153012, Иваново, Шереметевский пр-кт, д. 8;
ORCID: 0000-0002-2896-8764;
eLibrary SPIN: 4959-7018;
e-mail: xenny7@yandex.ru

Мишина Ирина Евгеньевна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-7659-8008;
eLibrary SPIN: 2549-1182;
e-mail: mishina-irina@mail.ru

Иванова Галина Евгеньевна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-3180-5525;
eLibrary SPIN: 4049-4581;
e-mail: reabilivanova@mail.ru

Копышева Елена Николаевна, канд. мед. наук, доцент;
ORCID: 0009-0003-9067-1317;
eLibrary SPIN: 7245-1066;
e-mail: enk9@yandex.ru

Кострыгин Александр Константинович, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0003-1840-8111;
eLibrary SPIN: 3112-0170;
e-mail: onko@ivreg.ru

Пугачева Анна Сергеевна;
ORCID: 0009-0009-5046-7083;
eLibrary SPIN: 2542-4288;
e-mail: anutserovka07@gmail.com

AUTHORS' INFO

* **Ksenia A. Blinova**, MD, Cand. Sci. (Medicine);
address: 8 Sheremetyev ave, Ivanovo, Russia, 153012;
ORCID: 0000-0002-2896-8764;
eLibrary SPIN: 4959-7018;
e-mail: xenny7@yandex.ru

Irina E. Mishina, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-7659-8008;
eLibrary SPIN: 2549-1182;
e-mail: mishina-irina@mail.ru

Galina E. Ivanova, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0003-3180-5525;
eLibrary SPIN: 4049-4581;
e-mail: reabilivanova@mail.ru

Elena N. Kopysheva, MD, Cand. Sci. (Medicine), Assistant Professor;
ORCID: 0009-0003-9067-1317;
eLibrary SPIN: 7245-1066;
e-mail: enk9@yandex.ru

Alexander K. Kostrygin, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-1840-8111;
eLibrary SPIN: 3112-0170;
e-mail: onko@ivreg.ru

Anna S. Pugacheva;
ORCID: 0009-0009-5046-7083;
eLibrary SPIN: 2542-4288;
e-mail: anutserovka07@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab640818>

Современный взгляд на реабилитацию пациентов с заболеваниями органов дыхательной системы

И.А. Яцков, В.Б. Калиберденко, С.П. Марьяненко, С.Ф. Узунов, Е.А. Сапронова

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

АННОТАЦИЯ

Дыхательные упражнения широко используются во всём мире в качестве нефармакологической терапии для лечения лиц с заболеваниями дыхательной системы. Лёгочная реабилитация — проверенное эффективное вмешательство для людей с хроническими респираторными заболеваниями. Традиционно лёгочная реабилитация проводится очно в амбулаторно-поликлиническом или другом медицинском учреждении. Более новые альтернативные способы проведения лёгочной реабилитации включают домашние модели и использование телемедицины.

С целью определения эффективности и безопасности реабилитации для лиц с хроническими заболеваниями органов дыхания нами проведён поиск литературы в научных базах данных, таких как КиберЛенинка, РИНЦ, PubMed, Cochrane, Lancet, за последние 5 лет. Были проверены списки литературы всех включённых исследований на наличие дополнительных ссылок и вручную проведён поиск в соответствующих журналах по респираторным заболеваниям и тезисах конференций.

Согласно обобщённым данным, первичная или поддерживающая лёгочная реабилитация для пациентов с хроническими респираторными заболеваниями демонстрирует хорошие результаты. Будущие исследования должны сосредоточиться на клиническом воздействии реабилитации при хронических респираторных заболеваниях, включая хроническую обструктивную болезнь лёгких, астму и инфекции нижних дыхательных путей.

Ключевые слова: медицинская реабилитация; хронические заболевания лёгких; методы реабилитации.

Как цитировать:

Яцков И.А., Калиберденко В.Б., Марьяненко С.П., Узунов С.Ф., Сапронова Е.А. Современный взгляд на реабилитацию пациентов с заболеваниями органов дыхательной системы // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2025. Т. 7, № 1. С. 55–64.

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab640818>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab640818>

Modern approaches to the rehabilitation of patients with respiratory diseases

Igor A. Yatskov, Vitalii B. Kaliberdenko, Sofiya P. Maryanenko, Stanislav F. Uzunov, Ekaterina A. Saprionova

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

ABSTRACT

Breathing exercises are widely used worldwide as a non-drug therapy of respiratory diseases. Pulmonary rehabilitation is a proven and effective intervention for individuals with chronic respiratory diseases. Traditionally, pulmonary rehabilitation is delivered in-person at an outpatient or other healthcare facilities. New alternative ways to deliver pulmonary rehabilitation include home-based models and telemedicine.

This study aims to determine the efficacy and safety of rehabilitation for individuals with chronic respiratory diseases. We conducted a search in such scientific databases as Cyberleninka, RSCI, PubMed, Cochrane, Lancet, focusing on studies published in the last five years. We checked the citations in all included studies for additional references and manually searched for relevant respiratory disease journals and conference abstracts.

This review indicates that primary or maintenance pulmonary rehabilitation shows good results in patients with chronic respiratory diseases. Future research should focus on the clinical impact of rehabilitation on people with chronic respiratory diseases, including chronic obstructive pulmonary disease, asthma, and lower respiratory tract infections.

Keywords: medical rehabilitation; chronic lung diseases; rehabilitation methods.

To cite this article:

Yatskov IA, Kaliberdenko VB, Maryanenko SP, Uzunov SF, Saprionova EA. Modern approaches to the rehabilitation of patients with respiratory diseases. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2025;7(1):55–64. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab640818>

Submitted: 30.10.2024

Accepted: 19.01.2025

Published online: 04.03.2025

Список сокращений

ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь лёгких

ВВЕДЕНИЕ

Хронические респираторные заболевания представляют собой группу распространённых расстройств, при которых поражения в основном возникают в трахее, бронхах, альвеолах и грудной полости [1]. За последние три десятилетия заболеваемость хроническими респираторными заболеваниями ежегодно увеличивается из-за различных факторов, таких как воздействие окружающей среды, вредные привычки, образ жизни, загрязнение воздуха, профессиональные канцерогены, курение и употребление алкоголя. В 2020 году Всемирная организация здравоохранения опубликовала список десяти самых смертельных заболеваний в мире, в который вошли хроническая обструктивная болезнь лёгких (ХОБЛ), инфекции нижних дыхательных путей, а также рак трахеи, бронхов и лёгких¹.

Хроническая обструктивная болезнь лёгких, третье по смертности заболевание в мире, является причиной 6% смертей от всех болезней. В 2019 году во всём мире было зарегистрировано около 2,2 млн случаев рака трахеи, бронхов и лёгких, от которых пострадали 1,52 млн мужчин и 737 000 женщин, что на 23,3% больше, чем в 2010 году [2]. Хронические и острые патологии дыхательных путей стали причиной тяжёлого медицинского бремени для стран всего мира, значительно влияя на качество жизни всего человечества [3]. Таким образом, существует острая необходимость в поиске эффективных и экономичных средств профилактики и реабилитации при хронических респираторных заболеваниях, а также компенсации недостатков в их профилактике и контроле.

Физическая активность может способствовать укреплению здоровья и бороться с болезнями, изменяя количество биомолекул и вызывая функциональные изменения в тканях человеческого организма [4]. Сообщается, что упражнения регулируют иммунный ответ организма при заболеваниях дыхательной системы [5]. Большой объём исследовательских данных по спортивной медицине подводит научную основу для разработки программ упражнений для пациентов с респираторными заболеваниями [6]. Одышка и непереносимость физических нагрузок во время тренировок — типичные признаки хронических заболеваний дыхательных путей, физиологические механизмы которых включают ограничение дыхания, неадекватный

газообмен, центральное и периферическое гемодинамическое ограничение, а также нарушение функции скелетных мышц. Активная лёгочная реабилитация может значительно снизить негативные проявления у пациентов с хроническими респираторными заболеваниями, способствуя профилактике обострений и улучшению лёгочной функции, а также повышению физической выносливости и, соответственно, качества жизни [7]. Физические тренировки являются не только краеугольным камнем лёгочной реабилитации, но и экономичным и простым средством профилактики и реабилитации заболеваний [8].

Недавно была подтверждена эффективность вмешательств с помощью упражнений для улучшения контроля ХОБЛ, интерстициальной болезни лёгких, астмы и лёгочного фиброза. Руководство по программе реабилитации с помощью упражнений для людей с хроническими респираторными заболеваниями включают тренировки на выносливость до 3–5 раз в неделю продолжительностью по 20–60 минут каждая с постепенно увеличивающейся интенсивностью и целевым показателем >70% ожидаемой максимальной частоты сердечных сокращений [9]. Кроме того, следует разрабатывать индивидуальные программы упражнений в соответствии с конкретной ситуацией пациента. Для лиц с тяжёлыми заболеваниями вследствие ограничения их физической выносливости, требующей достаточного периода отдыха между упражнениями, в качестве альтернативы можно использовать высокоинтенсивные интервальные тренировки (high-intensity interval training, HIIT) [10].

В рамках данного исследования анализируются реабилитационные эффекты физических упражнений при ХОБЛ, бронхиальной астме, бронхоэктазах, интерстициальной болезни лёгких и раке лёгких, а также исследуются механизмы патофизиологических изменений в организме пациента. Даны рекомендации по применению физических упражнений при хронических заболеваниях лёгких; изучены патологические механизмы физических упражнений в улучшении контроля лёгочных заболеваний. Поисково-аналитическая работа направлена на повышение осведомлённости общественности, а также на содействие распространению и применению лёгочной реабилитации.

Методология поиска источников

Для поиска источников литературы использовали следующие базы данных: КиберЛенинка, PubMed, Cochrane, Lancet. Поиск проводили по следующим ключевым словам и комбинациям: «лёгочная реабилитация», «ХОБЛ», «бронхиальная астма», «бронхоэктатическая болезнь», «pulmonary rehabilitation», «заболевания дыхательных путей».

В анализ включали аналитические обзоры, клинические и экспериментальные исследования, рекомендации

¹ WHO [Internet]. World health statistics 2020: Monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Global report. Geneva: World Health Organization; 2020. Режим доступа: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240005105> Дата обращения: 19.01.2025.

WHO [Internet]. World health statistics 2020: Monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Global report. Geneva: World Health Organization; 2020 [cited 2020 May 13]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240005105>

научных сообществ, исключали — дублирующие публикации и клинические случаи.

При прочих равных условиях предпочтение отдавалось источникам на глубину до 10 лет.

РЕАБИЛИТАЦИЯ ПАЦИЕНТОВ С ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ОРГАНОВ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Реабилитация при хронической обструктивной болезни лёгких

Хроническая обструктивная болезнь лёгких — распространённое заболевание, характеризующееся постоянным ограничением воздушного потока и рядом клинических проявлений, таких как прогрессирующее снижение функции лёгких, включая хронический кашель, мокроту и одышку, а также дисфункцию скелетных мышц. ХОБЛ может прогрессировать до тяжёлой лёгочно-сердечной недостаточности или дыхательной недостаточности с высокой смертностью [11]. Системные эффекты ХОБЛ обуславливают развитие сопутствующих сердечно-сосудистых заболеваний, мышечной атрофии и остеопороза, которые в свою очередь приводят к бездеятельности и физической детренированности, что напрямую влияет на качество жизни, связанное со здоровьем пациентов. Растущая осведомлённость о масштабах проблемы, создаваемой низким уровнем физической активности пациентов с ХОБЛ, подчёркивает необходимость вмешательства со стороны государства с целью внедрения программ по увеличению физической активности при болезнях органов дыхательной системы [12].

Фармакологическая терапия чаще применяется для купирования отдельных симптомов, но имеет ограниченный эффект на физическую детренированность. В отличие от этого лёгочная реабилитация эффективно помогает справиться с одышкой и усталостью, способствует улучшению эмоционального состояния и усиливает ощущение контроля пациентов над своим здоровьем. Эти улучшения умеренно существенны и клинически значимы. Реабилитация представляет собой важный элемент в лечении ХОБЛ и полезна как для физической работоспособности, так и улучшения качества жизни, связанного со здоровьем [13].

Тренировки с использованием физических упражнений признаны комплексной программой для пациентов с ХОБЛ [14]: 8–10 недель реабилитации на основе упражнений могут привести к клинически значимому улучшению ежедневных симптомов (одышка, усталость, беспокойство и/или депрессия), физической работоспособности, физической активности и качества жизни у пациентов с ХОБЛ без существенного изменения степени ограничения воздушного потока [15].

Как показал анализ научной литературы, большинство исследований были сосредоточены на эффектах тренировок на выносливость всего тела (например, ходьбы на беговой

дорожке и/или занятий на велотренажёре) [16]. Учитывая, что не все пациенты с ХОБЛ способны выполнять физические упражнения непрерывно в течение 20 минут при интенсивности тренировки 60% и более от предварительно определённой максимальной толерантности к физической нагрузке [16], были изучены другие методы и условия тренировок, начиная со скандинавской ходьбы для пациентов с относительно сохранной толерантностью к физическим нагрузкам [17]. Исходя из характеристик, которые можно изменять во время тренировки, существует множество вариантов. Так, тренировки с отягощением следует рассматривать для пациентов со слабостью/атрофией мышц нижних конечностей и умеренной степенью одышки (шкала одышки Британского медицинского исследовательского совета mMRC 2) [18]. Виброплатформа, создающая вибрации всего тела, также имеет положительные характеристики для увеличения силы мышц нижних конечностей, но, видимо, не очень часто используется в повседневной клинической реабилитационной практике [19]. Вариации тренировок на всё тело — от ходьбы на беговой дорожке до езды на велотренажёре и ходьбы на открытом воздухе — могут быть рекомендованы пациентам с явной непереносимостью физических нагрузок [20]. Пациенты, которые в основном ограничены системой вентиляции лёгких, должны пройти тест на выносливость на велосипеде при постоянной пиковой нагрузке 75% (тест устойчивой работоспособности CWRT), при этом если CWRT длится ≥ 10 минут, тренировка на выносливость (начиная с 60%) всё ещё является вариантом, если < 10 минут — следует предложить интервальную тренировку (при $> 80\%$ от предварительно определённой максимальной нагрузки на велосипеде/скорости ходьбы в течение 30–60 секунд за подход) с использованием ходьбы на беговой дорожке или занятий на велотренажёре [20]. Для предотвращения кислородной десатурации, вызванной физическими упражнениями, следует рассмотреть интервальные тренировки. Кроме того, пациентам с тяжёлой гиперинфляцией лёгких, вызванной физическими упражнениями, может потребоваться респираторная поддержка во время интервальных тренировок всего тела, например, с помощью неинвазивной вентиляции [21], что требует меньшего контакта физиотерапевта и пациента по сравнению с обычным контролем тренировок, представляющим иногда организационную проблему. Очевидно, что первым шагом здесь является обучение пациентов дыханию с поджатыми губами, что может частично предотвратить динамическую гиперинфляцию лёгких [22].

На сегодняшний день физические тренировки, как правило, приводят к улучшению переносимости физических нагрузок у пациентов с ХОБЛ, и 2/3 из них достигают клинически значимого улучшения физических возможностей [23].

Все вышеупомянутые методы реабилитации стандартно используются для пациентов с ХОБЛ в рамках лечебно-профилактических учреждений, однако в нашем обзоре рассматриваются и альтернативные методы стандартной реабилитации больных ХОБЛ, а также изучены клинические результаты, которые возможно сопоставить с результатами традиционных

программ лёгочной реабилитации, и выполнена оценка их экономической эффективности и безопасности.

В современной среде здравоохранения широкое продвижение цифровых технологий способствует доступному, эффективному и ориентированному на пациента уходу. Так, например, внедрение метода лёгочной реабилитации на основе мобильного приложения может рассматриваться одним из видов телемедицинского вмешательства, обеспечивающего медицинскую помощь на расстоянии с помощью телекоммуникаций или веб-технологий². Это может улучшить доступность лёгочной реабилитации для пациентов с хроническими респираторными заболеваниями, предоставляя доступ к медицинской помощи и услугам для пациентов, которые географически или социально изолированы, заняты на постоянной работе, или которых трудно транспортировать из-за основного/сопутствующих заболеваний [24]. За пределами Российской Федерации существуют подобные программы реабилитации. Данная программа призвана обеспечить самостоятельное управление ХОБЛ, включая программы обучения и управления симптомами [25]. Однако лёгочная реабилитация определяется как комплексное вмешательство, которое включает тренировку (упражнения), обучение и изменение поведения. Желательные, на наш взгляд, компоненты лёгочной реабилитации должны включать обучение самоконтролю, отказ от курения, план действий при обострении, а также программу домашних упражнений, поэтому в программу лёгочной реабилитации на основе мобильных приложений следует включить приложения, которые предлагают как программы упражнений, так и программы самостоятельного управления. Учитывая проблемы лёгочной реабилитации в условиях медицинского учреждения и нехватку ресурсов здравоохранения, лёгочная реабилитация на дому является хорошей альтернативой, при этом главные проблемы связаны с соблюдением требований лёгочной реабилитации и наличием мотивации, обуславливающей высокую приверженность лечению.

Изучение альтернативного метода реабилитации позволило сделать нам ряд следующих выводов. Положительной стороной метода лёгочной реабилитации на дому является его доступность (скачав приложение на телефон, пациент может самостоятельно отслеживать процесс реабилитации, что существенно снизит нагрузку на больницы и реабилитационные центры). Данную методику также можно распространить в медицинских учреждениях, где врач сможет подобрать индивидуальную программу, установить её на телефон пациента и отслеживать вместе

с ним все показатели на едином телефоне в отделении. Такой способ снизит нагрузку не только на врача, но и на отделение в целом.

Поскольку в клинической практике уровни интенсивности упражнений при лёгочной реабилитации индивидуализированы с учётом физической нагрузки пациентов [26], соответствующая программа на основе мобильных приложений является предметом беспокойства, так как пациенты в домашних условиях не имеют надлежащего контроля. Таким образом, для поддержания соответствующих уровней интенсивности упражнений приложения должны предоставлять регулируемые и индивидуальные программы с учётом данных о физической нагрузке и уровне активности пациентов, которые собираются с помощью носимых устройств или датчиков, установленных на смартфонах. Учитывая всё это, важно разработать стратегии по улучшению приверженности реабилитации, а также индивидуальные программы упражнений для достижения улучшений клинических результатов.

В нашей стране подобного метода реабилитации ещё не существует, но опыт других стран показал благоприятную переносимость физических нагрузок участниками такой программы, что отразилось на оценке симптомов, качестве жизни и результатах госпитализации в сравнении с пациентами, прошедшими традиционную лёгочную реабилитацию. В исследовании С. Chung и соавт. [27] баллы по шкале одышки mMRC и тесту 6-минутной ходьбы, а также число обострений в группе лёгочной реабилитации на основе мобильного приложения не уступали таковым у пациентов, прошедших реабилитацию в стандартных условиях в лечебном учреждении, при этом показатели оценочного теста по ХОБЛ (COPD Assessment Test, CAT) у них были выше.

Таким образом, внедрение в реальную клиническую практику альтернативного метода реабилитации на основе мобильного приложения на территории Российской Федерации может оказаться полезным вариантом лечения, когда затруднена или не доступна традиционная лёгочная реабилитация на базе лечебного учреждения.

Реабилитация при астме

Согласно руководству Глобальной инициативы по астме (Global Initiative for Asthma, GINA), бронхиальная астма представляет собой гетерогенное заболевание, характеризующееся хроническим воспалением дыхательных путей и гиперреактивностью, что приводит к различным степеням ограничения воздушного потока. Клинические симптомы могут проявляться кашлем, хрипами, ощущением сжатия в грудной клетке, одышкой и другими признаками [28]. Бронхиальная астма является одним из самых распространённых и серьёзных хронических заболеваний дыхательной системы, оказывая значительное воздействие на здоровье людей во всём мире.

Пациентам с астмой рекомендуется сокращать или даже исключать физическую активность во избежание ухудшения симптомов или развития бронхоспазма, вызванного физическими упражнениями. Однако сокращение физической

² WHO [Internet]. Global diffusion of eHealth: Making universal health coverage achievable: Report of the third global survey on eHealth. Meeting report. Geneva: World Health Organization; 2016. Режим доступа: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241511780> Дата обращения: 19.01.2025.

WHO [Internet]. Global diffusion of eHealth: making universal health coverage achievable: Report of the third global survey on eHealth. Meeting report. Geneva: World Health Organization; 2016 [cited 2016 Dec 15]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241511780>

активности приводит к снижению физической подготовки и толерантности к физическим нагрузкам, обуславливая у пациентов-астматиков ещё большую склонность к усталости, затруднённое дыхание во время физических упражнений, что, в конечном итоге, способствует избеганию физических упражнений [29]. Кроме того, стероиды, используемые для лечения астмы, также могут снижать мышечную выносливость. Основными целями лечения астмы, предложенными GINA, являются контроль симптомов, снижение будущих рисков и улучшение качества жизни³. Текущие клинические методы лечения, включающие использование бронходилататоров и противовоспалительных препаратов, демонстрируют недостаточно удовлетворительные результаты, что требует поиска эффективного немедикаментозного варианта лечения. Физические упражнения как раз и являются новой немедикаментозной терапией [30]. Умеренная физическая активность, как сообщается в некоторых клинических исследованиях, может улучшить состояние здоровья больных бронхиальной астмой. Ограничение физической активности иногда больше связано с дисфункцией скелетных мышц, чем с ограничением воздушного потока [31]. Большое количество популяционных исследований показало, что аэробные упражнения полезны для пациентов с астмой, функция лёгких которых улучшается за счёт роста форсированной жизненной ёмкости лёгких, объёма форсированного выдоха за первую секунду, пиковой скорости выдоха и других показателей [28]. Кроме того, упражнения помогают лучше контролировать симптомы астмы и улучшают бронхиальную гиперреактивность, аэробную ёмкость, качество жизни, снижая тревожность и депрессию. Физическая активность и традиционная терапия могут эффективно улучшить качество жизни и контроль астмы у пациентов с ночными приступами. Несколько эпидемиологических исследований показали связь между астмой и ожирением: потеря веса улучшает контроль астмы у пациентов с избыточным весом и ожирением. Однако при астме, вызванной физическими нагрузками, формулировки режима упражнений различаются, поэтому необходимо учитывать безопасность, осуществимость, научный характер и направленность режима [29].

В настоящее время широко признано, что бронхиальная астма тесно связана с воспалением, иммунитетом, генетикой и окружающей средой. Воспалительная реакция дыхательных путей является центральным звеном в запуске бронхиальной астмы, в которой доминируют инфильтрация эозинофилов и тучных клеток и усиленный ответ Т-хелперных клеток 2-го типа (Th2)³. Сообщается, что упражнения могут оказывать защитное действие,

уменьшая воспаление дыхательных путей и увеличивая проходимость бронхов [30]. В животных моделях соответствующие аэробные тренировки снижали уровни иммуноглобулинов E и G (IgE и IgG) на ранних стадиях и уменьшали высвобождение воспалительного фактора, что облегчало симптомы острой аллергической астмы [31]. Недавно было обнаружено, что аэробные упражнения эффективно снижают экспрессию эозинофилов дыхательных путей, что в свою очередь уменьшает воспаление, дозировку ингаляционных глюкокортикоидов и число острых обострений в рамках стандартизации и оптимизации ингаляционных глюкокортикоидов [32]. Аэробные тренировки также могут положительно модулировать воспаление дыхательных путей и медиаторы ремоделирования. У пациентов снижался показатель эозинофилов мокроты при аэробных упражнениях, что было более выражено у пациентов с более высоким уровнем воспаления. В совокупности эти результаты свидетельствуют о том, что аэробные тренировки могут быть эффективным дополнением к использованию лекарств у пациентов с астмой [33].

Ещё одной важной задачей реабилитации больных астмой является правильное применение лекарственной терапии, в частности с использованием медицинских устройств. На наш взгляд, обучение технике ингаляций при помощи домашних приборов является одним из важных аспектов реабилитации пациентов.

Продолжая тему технологий в медицинской реабилитации, рассмотрим разные типы ингаляторов. Так, среди широкого ассортимента устройств мы обнаружили ингаляторы с поддержкой Bluetooth [34]. Для работы такого прибора необходимо установить приложение на телефон, которое уведомляет и фиксирует время приёма лекарства, а самое главное — правильность использования ингалятора: если пациент нарушает технику ингаляции, прибор подаёт звуковой сигнал, а на телефоне высвечивается оповещение, что доза не была принята [34]. Кроме того, возможно применение такого ингалятора и без мобильного приложения: при неправильном применении устройство будет издавать звуковые сигналы. Для ингаляторов предыдущих поколений можно приобрести Bluetooth-накладку, которая также будет подавать соответствующие сигналы. Таким образом, среди положительных характеристик ингаляторов с поддержкой Bluetooth отмечают отсутствие зависимости пациента от посторонней помощи (самостоятельно принимает лекарство); сбор данных о правильном введении лекарства и приверженности лечению (что измерялось путём сравнения с ожидаемым использованием лекарств); наличие в телефоне электронного дневника обострений [35]. Негативными сторонами данного устройства считают денежные затраты, необходимые для его покупки, а также более длительное время для пожилых людей, чтобы научиться им пользоваться. Сравнив все плюсы и минусы, можно сказать, что Bluetooth-совместимые насадки для ингаляторов с соответствующими мобильными приложениями, вероятно, стоит рассматривать в качестве одного из способов реабилитации больных астмой на территории Российской Федерации. Возможно, эти

³ Global Initiative for Asthma [Internet]. Global Strategy for Asthma Management and Prevention, 2024. Режим доступа: https://ginasthma.org/wp-content/uploads/2024/05/GINA-2024-Strategy-Report-24_05_22_WMS.pdf Дата обращения: 19.01.2025.

Global Initiative for Asthma [Internet]. Global Strategy for Asthma Management and Prevention, 2024 [updated 2024, May]. Available from: https://ginasthma.org/wp-content/uploads/2024/05/GINA-2024-Strategy-Report-24_05_22_WMS.pdf

ингаляторы станут стандартом ухода за пациентами в ближайшем будущем. Важно убедиться, что эти устройства эффективны и включают наиболее подходящие возможности для поддержки пациентов с астмой. Необходимо проделать большую работу, чтобы гарантировать, что польза будет максимальной для пациентов и врачей.

Реабилитация при бронхоэктатической болезни

Бронхоэктатическая болезнь — рецидивирующая гнойная инфекция, вызванная различными факторами. Мелкие и средние бронхи неоднократно повреждаются и блокируются, что разрушает структуру стенки и приводит к бронхиальным аномалиям и стойкому расширению. Клинические проявления включают хронический кашель, обильное отхаркивание и прерывистое кровохарканье, которые, если не лечить своевременно, могут привести к лёгочно-сердечной и дыхательной недостаточности [36]. Вторичные проблемы, такие как снижение периферической мышечной выносливости и активности, также наносят значительный ущерб личной и общественной жизни пациента. Современные клинические методы лечения сосредоточены на фазе обострения и основаны на принципах подавления острых и хронических бронхиальных инфекций, улучшения мукоцилиарного клиренса, снижения воздействия структурного заболевания лёгких, предотвращения ухудшения, уменьшения симптомов и улучшения качества жизни [37].

Бронхоэктазия не является неконтролируемым или непредотвратимым респираторным заболеванием, и риск острого обострения может быть снижен профилактическим вмешательством, а также повышением осведомлённости о самоконтроле во время стабильной фазы. Несколько популяционных исследований продемонстрировали преимущества реабилитационных вмешательств с использованием упражнений у пациентов с бронхоэктазами [38]. Результаты показывают, что силовые тренировки и аэробные упражнения верхних и нижних конечностей могут повысить физическую работоспособность и выносливость, а также силу периферических и дыхательных мышц, улучшить функцию лёгких, уменьшить одышку и повысить качество жизни [38]. Однако сохранение этих преимуществ является сложной задачей: по мере увеличения циклов упражнений снижается приверженность пациента, и, соответственно, уменьшается положительный кумулятивный эффект [39]. Предстоит провести множество экспериментов и исследований, прежде чем сформировать единое мнение по вопросам, как долго физические упражнения могут поддерживать улучшение, и какой тип физических упражнений наиболее оптимален для пациентов.

Основными причинами необратимых поражений при бронхоэктатической болезни являются неэффективное очищение от слизи и микроорганизмов и прогрессирование воспаления [40], поэтому необходимо обучить пациента следующим методам очистки дыхательных путей (ручные методы; методы, включающие использование устройств и колебательное положительное давление выдоха):

- активный цикл дыхания (цикл упражнений на глубокое дыхание, перемежаемый с контролем дыхания, за которым следует форсированный выдох);
- аутогенный дренаж (состоит из трёх фаз: отслоение периферической слизи путём дыхания при малых объёмах лёгких; сбор слизи в средних дыхательных путях за счёт дыхания при средних объёмах лёгких; эвакуация секрета из центральных дыхательных путей путём дыхания с большим объёмом лёгких [41]);
- терапия положительным давлением на выдохе (обеспечивает постоянное давление в дыхательных путях на протяжении всего выдоха с помощью устройства сопротивления выдоху с односторонним клапаном);
- техника ELTGOL (L'Expiration Lente Totale Glotte Ouverte en décubitus Latéral; полный медленный выдох с открытой голосовой щелью), при которой пациент лежит на боку и медленно выдыхает через открытую голосовую щель от малых объёмов лёгких до остаточного объёма;
- кашель с ручной помощью (для усиления выдоха при кашле добавляется компрессия грудной клетки или живота [42]);
- механическая инсуффляция-экссуффляция (устройство постепенно наполняет лёгкие положительным давлением, за которым следует резкое изменение давления на отрицательное, что вызывает быстрый выдох);
- положительное давление (применение положительного давления в дыхательных путях и лёгких во время вдоха за счёт устройства, которое крепится к ним через лицевую маску или мундштук).

Методы очистки дыхательных путей направлены на улучшение мукоцилиарного транспорта для эффективного дренирования секрета у лиц с избыточным выделением секрета и/или задержкой мокроты, а также на оптимизацию качества жизни и снижение тяжести и частоты обострений.

Учитывая широкий спектр способов, которыми бронхоэктатическая болезнь влияет на организм, используются многочисленные методы реабилитации для улучшения качества жизни пациентов. В последнее время всё больший интерес к лечению респираторных заболеваний привлекает йога. Несколько исследований продемонстрировали, что упражнения йоги могут укреплять дыхательные мышцы, увеличивать ёмкость лёгких, облегчать одышку и сохранять контроль дыхания [43]. Терапевтическое действие йоги доказано также в ходе исследований, подчёркивающих важность контроля тела, эмоций и разума. Дыхательные упражнения, используемые в йоге, могут способствовать сбалансированному здоровью с помощью различных поз и медитации, устанавливая связь между разумом и телом [43].

Важным аспектом реабилитации больных бронхоэктатической болезнью является психологический подход к болезни [44], в частности стабилизация пациента.

Основное внимание уделяется удовлетворению потребностей пациента с возможностью поддерживать активный образ жизни путём усиления его внутренней и внешней мотивации. С точки зрения потребностей в компетентности, его можно научить принимать лекарства от бронхоэктатической болезни и ознакомить с мерами предосторожности; проинструктировать о правильном способе, времени, частоте и интенсивности упражнений, включая аэробные и упражнения для поддержания функции лёгких, подчёркивая при этом первоначальную потребность в руководстве со стороны персонала по реабилитации. Применяется так называемая теория самоопределения [45]. На начальном этапе пациентам требуется выполнять до 2–3 дыхательных упражнений в день, которые постепенно можно сократить до 2–3 раз в неделю, поскольку пациенты постепенно осваивают правильный способ дыхания, а значит, могут регулировать интенсивность, частоту и время своих упражнений в соответствии со своими возможностями. Согласно данной теории, человек с большей вероятностью примет действие и будет настаивать на нём, если ощутит его как собственное решение, а не навязанное внешними факторами. Более того, в теории автономной реабилитационной программы пациент рассматривается не пассивным получателем, а главой процесса реабилитации, поэтому необходимо снабдить его информацией и навыками, которые позволят ему принимать обоснованные решения и активно участвовать в лечебных и реабилитационных мероприятиях.

Таким образом, реабилитационная программа, основанная на теории автономии, способна оказать сильную поддержку пациентам с бронхоэктазами, обеспечить их активное участие в санитарном просвещении, побудить к сохранению оптимистичного и бодрого настроения, активным физическим упражнениям, повысив тем самым функции лёгких, а следовательно, физическую и умственную выносливость, физическое и психическое здоровье [46].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лёгочная реабилитация на основе тренировок эффективна для облегчения симптомов ряда хронических респираторных заболеваний, улучшения сердечно-сосудистой и мышечной функций, повышения толерантности к физической активности и улучшения качества жизни. Умеренные аэробные нагрузки, силовые и высокоинтенсивные интервальные тренировки (HIIT) являются наиболее распространёнными формами упражнений для лёгочной реабилитации. Однако технологии не стоят на месте, и всё активнее развивается телемедицина. Основываясь на вышесказанном, делаем вывод, что телереабилитация может быть сопоставима и даже превосходить традиционные методы реабилитации. Лёгочная реабилитация с помощью телематических технологий, возможно, лучше очных манипуляций, так как пациент не испытывает давления со стороны другого человека и может самостоятельно проходить реабилитацию дома.

Телереабилитация представляется подходящей и осуществимой стратегией для внедрения в практику отечественных врачей, особенно в условиях удалённости или невозможности проведения процедур на базе лечебно-профилактических учреждений. Надеемся, что эта форма реабилитационной службы станет новым стандартом помощи пациентам с респираторными заболеваниями.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. И.А. Яцков — разработка концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовка статьи, одобрение финальной версии перед публикацией; В.Б. Калиберденко — редактирование текста рукописи, одобрение финальной версии перед публикацией; С.П. Марьяненко — разработка концепции, написание текста рукописи; С.Ф. Узнов — редактирование текста рукописи; Е.А. Сапронова — написание текста рукописи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При проведении исследования и создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Все материалы, использованные в представленном обзоре, доступны из источников, указанных в ссылках.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions. I.A. Yatskov — concept, read and approved the submission of the manuscript for publication; V.B. Kaliberdenko — text editing, read and approved the submission of the manuscript for publication; S.P. Maryanenko — concept, writing the text; S.F. Uzunov — manuscript editing; E.A. Saproнова — manuscript writing. Thereby, all authors provided approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Funding sources. No funding.

Disclosure of interests. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Statement of originality. When conducting the research and creating this work, the authors did not use previously published information (text, illustrations, data).

Data availability statement. All materials used in this work are available from the sources indicated in the references.

Generative AI. Generative AI technologies were not used for this article creation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. GBD Chronic Respiratory Disease Collaborators. Prevalence and attributable health burden of chronic respiratory diseases, 1990–2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet Respir Med.* 2020;8(6):585–596. doi: 10.1016/S2213-2600(20)30105-3 EDN: AHPIHC
2. GBD 2019 Respiratory Tract Cancers Collaborators. Global, regional, and national burden of respiratory tract cancers and associated risk factors from 1990 to 2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Respir Med.* 2021;9(9):1030–1049. doi: 10.1016/S2213-2600(21)00164-8
3. Contrepolis K, Wu S, Moneghetti KJ, et al. Molecular choreography of acute exercise. *Cell.* 2020;181(5):1112–1130.e16. doi: 10.1016/j.cell.2020.04.043 EDN: NDXZEN
4. Horowitz AM, Fan X, Bieri G, et al. Blood factors transfer beneficial effects of exercise on neurogenesis and cognition to the aged brain. *Science.* 2020;369(6500):167–173. doi: 10.1126/science.aaw2622
5. Boldyreva YuV, Gubin DG. The effect of physical activity on the immune system. *Human. Sport. Medicine.* 2023;23(4):23–30. doi: 10.14529/hsm230403 EDN: DDAKOZ
6. Pugachev IYu, Stefanov EV, Matsibursky AV, et al. Innovative technology for the use of recreational health and respiratory orientation. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta.* 2022;5(5):333–337. doi: 10.34835/issn.2308-1961.2022.5.p333-337 EDN: GGHBYP
7. Rochester CL, Alison JA, Carlin B, et al. Pulmonary rehabilitation for adults with chronic respiratory disease: An Official American Thoracic Society Clinical practice guideline. *Am J Respir Crit Care Med.* 2023;208(4):e7–e26. doi: 10.1164/rccm.202306-1066ST EDN: WGIUMZ
8. Armstrong M, Vogiatzis I. Personalized exercise training in chronic lung diseases. *Respirology.* 2019;24(9):854–862. doi: 10.1111/resp.13639
9. Maltais F, Decramer M, Casaburi R, et al.; ATS/ERS Ad Hoc Committee on Limb Muscle Dysfunction in COPD. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: Update on limb muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2014;189(9):e15–62. doi: 10.1164/rccm.201402-0373ST
10. Ries AL, Bauldoff GS, Carlin BW, et al. Pulmonary rehabilitation: Joint ACCP/AACVPR evidence-based clinical practice guidelines. *Chest.* 2007;131(5 Suppl):4S–42S. doi: 10.1378/chest.06-2418
11. Singh D, Agusti A, Anzueto A, et al. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive lung disease: The GOLD science committee report 2019. *Eur Respir J.* 2019;53(5):1900164. doi: 10.1183/13993003.00164-2019 EDN: ADEBHC
12. Agustí A, Bafadhel M, Beasley R, et al.; on behalf of all participants in the seminar. Precision medicine in airway diseases: Moving to clinical practice. *Eur Respir J.* 2017;50(4):1701655. doi: 10.1183/13993003.01655-2017
13. Mescheryakova NN. The influence of respiratory muscle training on the course of chronic obstructive pulmonary disease. *Practical pulmonology.* 2024;(1):11–14. doi: 10.24412/2409-6636-2024-13072 EDN: RHJZTL
14. Wouters EF, Posthuma R, Koopman M, et al. An update on pulmonary rehabilitation techniques for patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Expert Rev Respir Med.* 2020;14(2):149–161. doi: 10.1080/17476348.2020.1700796 EDN: REJAZM
15. Houben-Wilke S, Janssen DJ, Franssen FM, et al. Contribution of individual COPD assessment test (CAT) items to CAT total score and effects of pulmonary rehabilitation on CAT scores. *Health Qual Life Outcomes.* 2018;16(1):205. doi: 10.1186/s12955-018-1034-4 EDN: PWGCHW
16. Mahkamova GT. Rehabilitation for respiratory diseases. *Ekonomika i sotsium.* 2022;(4-3):102–105. EDN: HWBTEZ
17. Paixão C, Rocha V, Brooks D, Marques A. Unsupervised physical activity interventions for people with COPD: A systematic review and meta-analysis. *Pulmonology.* 2024;30(1):53–67. doi: 10.1016/j.pulmoe.2022.01.007 EDN: RLFHYF
18. De Lima FF, Cavalheri V, Silva BS, et al. Elastic resistance training produces benefits similar to conventional resistance training in people with chronic obstructive pulmonary disease: Systematic review and meta-analysis. *Phys Ther.* 2020;100(11):1891–1905. doi: 10.1093/ptj/pzaa149
19. Spruit MA, Pitta F, Garvey C, et al.; ERS Rehabilitation and Chronic Care, and Physiotherapists Scientific Groups; American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation; ATS Pulmonary Rehabilitation Assembly and the ERS COPD Audit team. Differences in content and organisational aspects of pulmonary rehabilitation programmes. *Eur Respir J.* 2014;43(5):1326–1337. doi: 10.1183/09031936.00145613
20. Stenlund T, Karlsson Å, Liv P, et al. Short-term effects on physical activity level with web-based self-management support in people with COPD: A randomised controlled trial. *NPJ Prim Care Respir Med.* 2024;34(1):32. doi: 10.1038/s41533-024-00394-7 EDN: UPUJDU
21. Chen X, Xu L, Li S, et al. Efficacy of respiratory support therapies during pulmonary rehabilitation exercise training in chronic obstructive pulmonary disease patients: A systematic review and network meta-analysis. *BMC Med.* 2024;22(1):389. doi: 10.1186/s12916-024-03605-7 EDN: MCRYWG
22. Mayer AF, Karloh M, dos Santos K, et al. Effects of acute use of pursed-lips breathing during exercise in patients with COPD: A systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy.* 2018;104(1):9–17. doi: 10.1016/j.physio.2017.08.007
23. Zaripova TN, Serebrova MA, Tickaya EV, et al. Outpatient rehabilitation for chronic obstructive pulmonary disease. *Bulletin of medical science.* 2024;(2):56–63. doi: 10.31684/25418475-2024-2-56 EDN: AUEXZN
24. Cox NS, Dal Corso S, Hansen H, et al. Telerehabilitation for chronic respiratory disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2021;1(1):CD013040. doi: 10.1002/14651858.CD013040.pub2 EDN: SGQIBK
25. Daykhes AN, Shulaev AV, Shikaleva AA, et al. Effectiveness of medical rehabilitation using telemedicine technologies (literature review). *Public health and health care.* 2023;(1):13–26. doi: 10.56685/18120555_2023_76_1_13 EDN: BWDIPP
26. Bondarenko J, Dal Corso S, Dillon MP, et al. Clinically important changes and adverse events with centre-based or home-based pulmonary rehabilitation in chronic respiratory disease: A systematic review and meta-analysis. *Chron Respir Dis.* 2024;21:14799731241277808. doi: 10.1177/14799731241277808 EDN: XAEVZX
27. Chung C, Lee JW, Lee SW, Jo MW. Clinical efficacy of mobile app-based, self-directed pulmonary rehabilitation for patients with chronic obstructive pulmonary disease: Systematic review and meta-analysis. *JMIR Mhealth Uhealth.* 2024;12:e41753. doi: 10.2196/41753 EDN: QQEZXA
28. Alberca-Custódio RW, Greiffo FR, MacKenzie B, et al. Aerobic exercise reduces asthma phenotype by modulation of the leukotriene pathway. *Front Immunol.* 2016;7:237. doi: 10.3389/fimmu.2016.00237
29. Rzhnevsky KYa, Popova MA, Sokareva GV. Rehabilitation for bronchial asthma and recommendations for recovery. *Vestnik nauki.* 2023;2(12):1443–1449. EDN: DHWMJZ
30. Grishin MN, Zaitsev YuA, Korchagina EO. Rehabilitation of patients with bronchial asthma depending on the conditions of the treatment process at the outpatient stage. *Herald of physiotherapy and health resort therapy.* 2022;28(3):110. (In Russ.) EDN: MQXTJM
31. Kletneva AI, Seredkina AM. Features of physical culture in bronchial asthma. In: *Topical aspects of science and society development in the era*

of digital transformation: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference. Moscow, 05 Dec 2023. Moscow; 2023. (In Russ.) EDN: SEFIUU

32. Radnaev ZhB, Zhigmitov SB, Bazarzhapov SN, Fillipova VV. Indications and contraindications for physical education in bronchial asthma. *Forum molodykh uchenykh*. 2024;(1):85–90. EDN: KWTZL

33. Tribuntseva LV, Budnevsky AV, Shkatova YaS, et al. Significance of physical activity on the clinical course of bronchial asthma: A literature review. *I.P. Pavlov Russian medical biological herald*. 2021;29(1):161–170. doi: 10.23888/PAVLOVJ2021291161-170 EDN: QIAWHB

34. Smith MJ, Gao Z, Chafe R, Alwashmi M. A mobile health intervention for improving the technique of inhaled medications among children with asthma: A pilot study. *Digit Health*. 2023;9:20552076231216589. doi: 10.1177/20552076231216589 EDN: MDAMCU

35. Kavarthapu VS, Paranjape MV, Manchi P, et al. Wireless alerts and data monitoring from BNNO-MWCNTs/PDMS composite film-based TENG integrated inhaler for smart healthcare application. *Small*. 2024;20(44):e2403218. doi: 10.1002/sml.202403218 EDN: ZPQCIJ

36. Norzhigitov AM, Hamidova FM, Islamov ShE. Morphocharacteristics of bronchioectatic disease. *Science and Education*. 2023;4(9):71–75.

37. Kelly C, Grundy S, Lynes D, et al. Self-management for bronchiectasis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018;2(2):CD012528. doi: 10.1002/14651858.CD012528.pub2

38. Meshcheryakova NN. Non-drug treatments for bronchiectasis. *Medical council*. 2022;16(4):35–40. doi: 10.21518/2079-701X-2022-16-4-35-40 EDN: TRBDTA

39. Pehlivan E, Niksarlioğlu EY, Balci A, Kılıç L. The effect of pulmonary rehabilitation on the physical activity level and general clinical status

of patients with bronchiectasis. *Turk Thorac J*. 2019;20(1):30–35. doi: 10.5152/TurkThoracJ.2018.18093

40. Dos Santos DO, de Souza HC, Baddini-Martinez JA, et al. Effects of exercise on secretion transport, inflammation, and quality of life in patients with noncystic fibrosis bronchiectasis: Protocol for a randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97(7):e9768. doi: 10.1097/MD.0000000000009768

41. Bilichenko TN. Pulmonary rehabilitation of chronic pulmonary diseases (the review of clinical trials, national and international recommendations). *Journal of Clinical practice*. 2022;13(3):65–78. doi: 10.17816/clinpract111742 EDN: YSRCKJ

42. Duprez F, Crombin M, Daubechies I, et al. Mise au point sur les techniques manuelles de désencombrement bronchique (adultes et adolescents). *Rev Mal Respir*. 2024;41(1):43–50. (French). doi: 10.1016/j.rmr.2023.10.006

43. Lee AL, Baenziger S, Louey A, et al. A review of physiotherapy practice for people with bronchiectasis. *ERJ Open Res*. 2021;7(2):00569–2020. doi: 10.1183/23120541.00569-2020

44. Wynne SC, Patel S, Barker RE, et al. Anxiety and depression in bronchiectasis: Response to pulmonary rehabilitation and minimal clinically important difference of the Hospital Anxiety and Depression Scale. *Chron Respir Dis*. 2020;17:1479973120933292. doi: 10.1177/1479973120933292

45. Kapus J, Ušaj A, Lomax M. Adaptation of endurance training with a reduced breathing frequency. *J Sports Sci Med*. 2013;12(4):744–752.

46. Dai Y, Huang H, Zhang Y, et al. The effects of telerehabilitation on physiological function and disease symptom for patients with chronic respiratory disease: A systematic review and meta-analysis. *BMC Pulm Med*. 2024;24(1):305. doi: 10.1186/s12890-024-03104-8 EDN: KWCFCH

ОБ АВТОРАХ

* Марьяненко София Павловна;

адрес: Россия, Республика Крым, 295051, Симферополь, б-р Ленина, д. 5/7;

ORCID: 0000-0003-0765-5336;

eLibrary SPIN: 7108-3318;

e-mail: sofija-maryanenko@mail.ru

Яцков Игорь Анатольевич, канд. мед. наук, доцент;

ORCID: 0000-0002-5486-7262;

eLibrary SPIN: 2395-5710;

e-mail: egermd@yandex.ru

Калиберденко Виталий Борисович, канд. мед. наук, доцент;

ORCID: 0000-0003-1693-3190;

eLibrary SPIN: 8395-2187;

e-mail: vit_boris@mail.ru

Узун Фёдорович Станислав;

ORCID: 0009-0005-7897-3720;

e-mail: stas.uzunov@mail.ru

Сапронова Екатерина Александровна;

ORCID: 0009-0000-3372-4177;

e-mail: Saproнова-ekaterina@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Sofiya P. Maryanenko, MD;

address: 5/7 Lenin blvd, Simferopol, Republic of Crimea, Russia, 295051;

ORCID: 0000-0003-0765-5336;

eLibrary SPIN: 7108-3318;

e-mail: sofija-maryanenko@mail.ru

Igor A. Yatskov, MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor;

ORCID: 0000-0002-5486-7262;

eLibrary SPIN: 2395-5710;

e-mail: egermd@yandex.ru

Vitalii B. Kaliberdenko, MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor;

ORCID: 0000-0003-1693-3190;

eLibrary SPIN: 8395-2187;

e-mail: vit_boris@mail.ru

Stanislav F. Uzunov;

ORCID: 0009-0005-7897-3720;

e-mail: stas.uzunov@mail.ru

Ekaterina A. Saproнова;

ORCID: 0009-0000-3372-4177;

e-mail: Saproнова-ekaterina@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab642834>

Иммунологические аспекты синдрома перетренированности

С.Г. Щербак^{1, 2}, Д.А. Вологжанин^{1, 2}, С.В. Макаренко^{1, 2}, А.С. Голота², Т.А. Камилова²¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;² Городская больница № 40, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Интенсификация тренировок является общепринятым подходом к улучшению спортивных результатов. Для достижения спортсменами постоянного высокого уровня результатов необходим баланс между тренировками и восстановлением. Без достаточного восстановления и отдыха мышц спортсмен может перейти от оптимальных тренировок к перенапряжению и в конечном итоге к синдрому перетренированности, который отрицательно влияет на его физическое здоровье и результативность.

Проблема перетренированности является малоизученной областью спортивной медицины. Мониторинг предсоревновательной подготовки спортсменов играет важную роль в разработке программ тренировок. Для мониторинга спортивной подготовки часто используются различные физиологические и биохимические показатели. Изменения этих показателей помогают тренерам и спортсменам понять физическое состояние и эффект тренировок, отражая мышечный статус, выносливость, усталость и уровни воспаления в тканях спортсмена. Однако чувствительность отдельных биомаркеров для выявления перетренированности ограничена, референсные диапазоны для различных уровней подготовки четко не определены. Систематическая оценка предсоревновательной подготовки и диагностика синдрома перетренированности остаются сложной задачей, поскольку факторы, признаки/симптомы и механизмы дезадаптации индивидуальны, специфичны для конкретного вида спорта и недостаточно изучены. Таким образом, выявление биомаркеров, которые могли бы помочь в мониторинге спортивной подготовки, профилактике и диагностике синдрома перетренированности, является важной целью исследований.

Ключевые слова: спорт; спортсмен; упражнения; тренировки; синдром перетренированности; иммуносупрессия; воспаление; биомаркер.

Как цитировать:

Щербак С.Г., Вологжанин Д.А., Макаренко С.В., Голота А.С., Камилова Т.А. Иммунологические аспекты синдрома перетренированности // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2025. Т. 7, № 1. С. 65–77. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab642834>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab642834>

Immunological aspects of overtraining syndrome

Sergey G. Scherbak^{1,2}, Dmitry A. Vologzhanin^{1,2}, Stanislav V. Makarenko^{1,2},
Aleksandr S. Golota², Tatyana A. Kamilova²

¹ Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia;

² Saint-Petersburg City Hospital № 40, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

Intensified training is a widely accepted approach to improving athletic performance. To achieve consistently high performance, athletes require a balance between training and recovery. Without adequate recovery and muscle rest, an athlete may progress from optimal training to overreaching and, ultimately, to overtraining syndrome, which negatively affects physical health and performance.

The issue of overtraining syndrome remains an underexplored area in sports medicine. Monitoring of pre-competition training is crucial for adjusting training programs. Various physiological and biochemical markers are commonly used to assess athletic conditioning. Changes in these markers help coaches and athletes understand physical status and training effects as they reflect muscle condition, endurance, fatigue, and inflammation response in tissues. However, the sensitivity of individual biomarkers in detecting overtraining is limited, and reference ranges for different training levels are not clearly defined. Systematic assessment of pre-competition preparation and diagnosis of overtraining syndrome remain challenging as the factors, signs/symptoms, and mechanisms of maladaptation are individualized, sport-specific, and understudied. Thus, identification of biomarkers that could aid in monitoring athletic conditioning and preventing and diagnosing overtraining syndrome is a critical research objective.

Keywords: sport; athlete; exercises; training; overtraining syndrome; immunosuppression; inflammation; biomarker.

To cite this article:

Scherbak SG, Vologzhanin DA, Makarenko SV, Golota AS, Kamilova TA. Immunological aspects of overtraining syndrome. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2025;7(1):65–77. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab642834>

Submitted: 11.12.2024

Accepted: 28.02.2025

Published online: 16.03.2025

Список сокращений

СПТ — синдром перетренированности

ВВЕДЕНИЕ

Все спортсмены ежедневно занимаются интенсивными физическими тренировками с целью достижения лучших спортивных результатов. Желаемые физиологические адаптации лучше всего достигаются, когда общая рабочая нагрузка и интенсивность упражнений вводятся постепенно, дополняются регулярным и достаточным восстановительным отдыхом. Напротив, чрезмерный, без периодического адекватного восстановления режим тренировок может спровоцировать дезадаптацию, что приводит к ухудшению спортивных результатов и увеличивает риск травм и/или заболеваний. В настоящее время для обозначения этого хронического дисфункционального состояния спортсмена принят термин «синдром перетренированности» (СПТ).

Феномен перетренированности как снижения спортивных результатов после продолжительных интенсивных тренировок впервые был замечен более 90 лет назад [1]. Хотя СПТ отрицательно влияет на здоровье и результативность спортсмена, и сотни научных публикаций посвящены СПТ, надёжные биомаркеры и эффективные методы лечения неизвестны, диагностика СПТ остаётся сложной задачей, поскольку факторы, симптомы и механизмы дезадаптации индивидуальны, специфичны для конкретного вида спорта и недостаточно изучены. Именно поэтому выявление биомаркеров, которые могли бы помочь в профилактике и диагностике СПТ, является важной задачей. L.E. Armstrong и соавт. [2] предлагают рассматривать СПТ с точки зрения сложных систем и сетевой физиологии, включая дисфункцию гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковых реакций на тренировочный стресс, кишечную микробиоту, иммунные факторы и низкую доступность энергии.

По причинам, которые не до конца понятны, частота и тяжесть симптомов СПТ у спортсменов в последние годы возросли. Стресс спортсмена легко упустить из виду, и это может вызвать проблемы в будущем, такие как тревожность и депрессия [3]. Такие распространённые явления у спортсменов во время тренировок и соревнований, как усталость, перепады настроения, желудочно-кишечные расстройства, низкая результативность, могут указывать на скрытую иммунную дисфункцию, вызванную чрезмерными нагрузками или недостаточным отдыхом. Высокие тренировочные нагрузки, частые соревнования и обусловленные ими физиологические, метаболические и психологические стрессы связаны с повреждением мышц, иммунными нарушениями, воспалением и повышенным риском заболеваний [4].

Распространённость СПТ наиболее высока в видах спорта на выносливость, требующих большого объёма

и интенсивности тренировок, таких как триатлон и гребля, и составляет около 30% среди неэлитных и 60% среди элитных спортсменов. Высокоэффективные спортсмены в этих видах спорта тренируются по 4–6 часов каждый день 6 дней в неделю без достаточного количества дней для надлежащего восстановления. Соответственно, 65% элитных бегунов на длинные дистанции испытывают перетренированность в какой-то момент своей спортивной карьеры [2].

Точные данные о заболеваемости СПТ отсутствуют из-за диагностических проблем. Проблема заключается в том, что трудно различить перенапряжение и ранние фазы перетренированности, так как в настоящее время не существует эффективных биомаркеров для дифференциации этих состояний, что усложняет изучение СПТ. Предполагается, что переход от оптимальной тренировки к перенапряжению и/или перетренированности представляет собой континуум. Таким образом, изучение патофизиологии и идентификация биомаркеров СПТ является важной областью исследований для оптимизации тренировок и клинического ведения спортсменов с СПТ [5]. Иммунология упражнений изучает центральную роль иммунитета в физиологии упражнений с целью направления спортсменов к оптимальным и безопасным тренировкам.

В данной статье представлен краткий обзор основных взаимодействий физической нагрузки и иммунитета для поддержания иммунного здоровья, рассматривается патогенетическая роль дисфункции иммунитета в развитии СПТ.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕТРЕНИРОВАННОСТИ НА СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА

Проблемы диагностики перетренированности

Иммунная система по своей природе нестабильна и динамична, вследствие чего реакции могут быть непредсказуемыми и непропорциональными, когда система перегружена. Цитокиновые профили могут стать постоянно про- или постоянно противовоспалительными или показывать аномальные реакции на обычные стрессоры. Медицинские исследования у лиц с симптомами часто не показывают никаких отклонений, и классификация симптомов перетренированности остаётся клинической. Хотя существует сходство с синдромом хронической усталости и «длинным COVID», которые также имеют симптомы, указывающие на иммунную дисфункцию, характерные для них идентифицируемые иммунные дефициты отсутствуют при СПТ [4].

Проблема измерения иммунной функции с целью выявления и профилактики иммунодисфункции у спортсменов связана с отсутствием надёжных критериев, межлическими различиями и резким нелинейным снижением функции. К показателям иммунитета относятся такие биомаркеры, как фагоцитарная активность, продукция макрофагальных цитокинов и активных форм кислорода, а также активность лимфоцитов, макрофагов и естественных клеток-киллеров (NK-клеток). Некоторые иммунные биомаркеры могут отражать морфофункциональные изменения, связанные со спортивной патологией. К ним относятся IgA (иммуноглобулин А), цитокины IL-6 (интерлейкин 6), TNF- α (фактор некроза опухоли α) и количество лейкоцитов, а также эндокринные биомаркеры, такие как кортизол. На значения этих биомаркеров влияют продолжительность и интенсивность физических упражнений, значительное увеличение которых действует как вредный фактор. Важно изучить их связи со спортивной активностью для персонализированного подхода к адекватному режиму тренировок [6].

Учитывая нелинейную связь между физическими тренировками и иммунными реакциями, возникает вопрос о том, сколько тренировок можно выдержать, прежде чем иммунные изменения станут дисфункциональными. Точка оптимальной интенсивности тренировок, которая даёт наиболее выраженные улучшения спортивных результатов, находится между слишком слабой и слишком сильной иммунной стимуляцией и предполагает динамический баланс, а не стабильность. На практике оптимальную точку определяют и факторы организма, не связанные с упражнениями, независимо влияющие на иммунный баланс. В результате не только спортсмены-любители, но и элитные спортсмены и тренеры часто не в состоянии оценить комплексный эффект психического и физического стресса, поскольку иммунная система не различает их. Несмотря на это, стрессы снижают тренировочные возможности спортсмена и приводят к увеличению числа инфекций и травм, а также времени восстановления [7]. Поскольку прямые иммунные тесты показывают слабую корреляцию и низкую прогностическую ценность в прогнозировании клинических симптомов, то косвенные или суррогатные маркеры эндокринной и других систем играют полезную роль: к ним относятся слюнная IgA, частота сердечных сокращений в состоянии покоя и после тренировок, состояние настроения и вариабельность сердечного ритма, которые могут помочь контролировать внутреннюю тренировочную нагрузку и/или диагностировать связанную с тренировками дезадаптацию [4].

Реакции иммунной системы на интенсивные тренировки и перетренированность

Физиологические границы спортивных достижений постоянно расширяются, спортсмены берут на себя более высокие тренировочные нагрузки. Если адекватное восстановление не достигнуто, всего за несколько дней

может возникнуть краткосрочное снижение результативности. Если на этом этапе будет реализовано надлежащее восстановление, развивается суперкомпенсаторная реакция, или функциональное перенапряжение, в случае отсутствия адекватного восстановления, напротив, возникает нефункциональное перенапряжение, которое, если его вовремя не диагностировать, может привести к хронической дезадаптации и СПТ.

Симптомы СПТ чаще всего возникают в видах спорта на выносливость, индивидуальных (37%) и командных (17%) видах спорта из-за больших объёмов тренировок, необходимых для достижения максимальных результатов. Несмотря на то, что частота возникновения СПТ на протяжении карьеры спортсмена составляет 30–60%, в выявлении объективных и надёжных биомаркеров нефункционального перенапряжения и перетренированности достигнут незначительный прогресс [8].

Хронические чрезмерные тренировки связаны с усилением секреции воспалительных маркеров и окислительного стресса настолько, что чрезмерная тренировочная перегрузка в сочетании с недостаточным восстановлением может привести к развитию СПТ. Повреждения мышечной, скелетной или суставной систем также вызывают СПТ. Продолжение тренировок после острой травмы без достаточного восстановления может ухудшить исходное состояние и усугубить травмы, связанные с физическими упражнениями и вызывающие усиленную секрецию провоспалительных цитокинов [9]. Помимо снижения результативности, при СПТ наблюдается множество физиологических и психологических изменений, которые могут оказывать негативное влияние на нейроэндокринную, сердечно-сосудистую и опорно-двигательную системы. Перетренированные спортсмены испытывают широкий спектр симптомов, включая повышенную восприимчивость к травмам, усталость, нарушение сна, потерю веса, болезненность мышц, слабость, тревожность, депрессию, трудности с концентрацией внимания и изменение питания. Кроме того, изменения в иммунологическом и/или воспалительном статусе определены как общие проявления СПТ [5].

Цитокины

Высоконагрузочные тренировки без достаточного восстановления приводят к дисбалансу между высвобождением провоспалительных (TNF α , IL-1 β и IL-6) и противовоспалительных (IL-4, IL-10 и адипонектин) цитокинов [10, 11]. Повышенные уровни циркулирующих провоспалительных цитокинов координируют реакцию всего организма на чрезмерные тренировки, поддерживая системное воспаление и способствуя поведенческим и психологическим изменениям. Вероятно, нарушение баланса цитокинов способствует развитию симптомов, наблюдаемых при СПТ. Имеющиеся данные определяют цитокины как потенциальные биохимические маркеры эффективности и качества тренировочного процесса.

Цитокиновая гипотеза патогенеза СПТ основана на том факте, что процесс сокращения мышц инициирует физиологическую адаптацию посредством активации локальной воспалительной реакции с участием цитокинов IL-1 β , IL-6 и TNF- α . Цитокиновая гипотеза предполагает, что дисбаланс, связанный с чрезмерными физическими упражнениями и недостаточным восстановлением, вызывает повреждение опорно-двигательного аппарата, увеличивая продукцию и секрецию цитокинов, в основном IL-6, TNF- α и IL-1 β , которые вызывают большинство признаков и симптомов, связанных со снижением работоспособности и спортивной результативности. При оптимальном режиме тренировок уровни TNF- α снижаются, а адипонектина и других противовоспалительных адипокинов — повышаются, тогда как при перетренированности после силовых упражнений — наоборот. TNF- α считается ключевым цитокином, ассоциированным с подавленным настроением, нарушением сна и стрессом (симптомами, связанными со снижением результативности у спортсменов), и включён в цитокиновую гипотезу СПТ [5]. Продолжительные интенсивные тренировки в сочетании с недостаточным отдыхом могут усугубить эту воспалительную реакцию, что приводит к хроническому патологическому состоянию [12], в частности чрезмерной мышечной усталости у перетренированных спортсменов [13].

У перетренированных спортсменов повышенное содержание провоспалительных цитокинов, по-видимому, связано с низкой доступностью аминокислоты глутамин — предшественника синтеза нескольких воспалительных белков, концентрация которых повышается при перетренированности. Часто наблюдаемое нарушение иммунного ответа и обусловленное этим увеличение частоты инфекций верхних дыхательных путей при СПТ может быть связано со снижением глутамин в крови — основной аминокислоты, используемой иммунными клетками. Согласно литературным данным, длительные периоды упражнений могут временно снижать концентрацию глутамин в плазме у спортсменов, испытывающих перетренированность [14]. Однако на уровень глутамин в крови влияют многие другие факторы, не имеющие отношения к физической нагрузке, поэтому использование глутамин в качестве маркера надвигающейся перетренированности остаётся предметом дискуссий. Тем не менее плазменный глутамин наряду с другими биохимическими маркерами крови (креатинкиназой, мочевиной, мочевой кислотой, миоглобином и лактатом крови) уже используется во многих областях спорта для оценки реакции спортсмена на тренировку, помогая тренерам объективно контролировать рабочую нагрузку и предотвращать травмы.

Активность креатинкиназы отражает как интенсивность, так и объём упражнений. Важно отметить, что у некоторых спортсменов наблюдается минимальное увеличение активности креатинкиназы, что делает её недостаточной для указания на СПТ.

Рост концентрации мочевины может возникать в ответ на повышенные тренировочные нагрузки, особенно при интенсивных тренировках на выносливость, из-за усиленного катаболизма белка и глюконеогенеза.

Изменения уровней других маркеров крови у перетренированных спортсменов непоследовательны или незначительны. Наиболее надёжны выраженные реакции лактата крови в ответ на повреждения мышц. Лактат обычно выделяется после изнурительных упражнений и в меньших количествах — во время лёгкой и умеренной активности. Его количество экспоненциально пропорционально уровню активности. Повышенная концентрация лактата обнаружена при СПТ [15]. «Спортомика» в области физиологии упражнений объединяет в себе метабомику и другие технологии «омики», применяемые для изучения эффектов физических упражнений на людей [16]. Инструмент мониторинга нагрузки с помощью биомаркеров, аналогичный биологическому паспорту спортсмена Всемирного антидопингового агентства, служит «системой маркировки» (т.е. предупреждение появляется, если значения выходят за пределы ожидаемого диапазона) и могут раскрывать информацию об усталости, перенапряжении, перетренированности или восстановлении как эффектах тренировочного стимула в спорте, чтобы создать индивидуальные референтные диапазоны [15].

Иммунологические маркеры очень чувствительны к различным формам стресса, включая физиологические и психологические стрессоры. Иммунный статус в рутинных исследованиях отражает количество лейкоцитов, лимфоцитов и IgA, уменьшение которого является признаком иммуносупрессии [17]. Влияние физической нагрузки на иммунную систему проявляется изменением количества лимфоцитов, их субпопуляционного состава и функциональной активности. После физической нагрузки количество лимфоцитов в периферической крови быстро снижается, однако в норме это снижение кратковременно и нормализуется к концу дня. Снижение общего содержания иммуноглобулинов после нагрузки и в течение последующих 14 дней указывает на развитие иммуносупрессии [18]. У спортсменов, испытывающих симптомы перетренированности, часто выявляют иммуносупрессию, в частности снижение концентрации слюнного IgA и уменьшение соотношения Т-лимфоцитов CD4+/CD8+ [8]. Экспрессия Т-клеточного антигена CD45RO+ на клетках CD4+ была значительно выше у спортсменов, испытывающих СПТ, по сравнению со здоровыми, хорошо тренированными лицами, что указывает на развитие воспалительной реакции.

Адипокины

Эндокринные функции адипозной ткани могут иметь значительные последствия в этиопатогенезе СПТ. При СПТ происходит нарушение регуляции цитокинов и иммунного ответа, в котором участвует адипозная ткань. Известно, что во время физических упражнений адипозная ткань

реагирует динамично, подвергаясь ремоделированию эндокринных функций, которое активирует липолиз, уменьшает размер и/или количество адипоцитов и влияет на выработку адипокинов (цитокинов адипозного происхождения), участвующих в регуляции энергетических и воспалительных процессов [19]. Чрезмерные истощающие упражнения на выносливость вызывают провоспалительную реакцию в адипозной ткани. Напротив, правильная тренировка вызывает противовоспалительную реакцию в адипозной ткани [20]. M. Mallardo и соавт. [5], анализируя воздействие упражнений на активность и метаболизм адипозной ткани и их значимость для профилактики или развития СПТ, утверждают, что исследования маркеров СПТ необходимо проводить с учётом эндокринной реакции адипозной ткани на упражнения, роль которой в патогенезе СПТ до сих пор не рассматривалась. В качестве потенциальных биомаркеров СПТ эти же авторы изучали взаимосвязь между интенсивностью упражнений и активностью некоторых адипокинов и установили, что содержание адипонектина, лептина, резистина, фактора GDF-15 (growth differentiation factor 15) и иризина увеличивается при оптимальных тренировках и уменьшается при перетренированности. Интенсивные программы упражнений на выносливость в подготовительном лагере приводят к значительному снижению уровней лептина в сыворотке во время и после тренировки, что может быть показателем недостаточного восстановления у перетренированных спортсменов. Уровень GDF-15 в циркулирующей крови обычно довольно низок, тогда как высокие уровни GDF-15 связаны со снижением физической функции. У профессиональных спортсменов циркулирующий GDF15 значительно увеличивается после интенсивных тренировок [5].

Некоторые адипокины, в частности лептин и резистин, оказывают в основном провоспалительное действие, в то время как другие, например адипонектин и IL-10, действуют как противовоспалительные факторы. Адипокины действуют как локально, так и дистально с аутокринными, паракринными и эндокринными эффектами [21]. У высокорезультативных спортсменов физическая нагрузка индуцирует усиление секреции адипонектина, в то время как у спортсменов с более низкими спортивными показателями обнаружена более слабая реакция адипонектина после тренировки, что является признаком недостаточного восстановления и недостаточной работоспособности этих спортсменов [22].

Экспрессия адипокинов зависит от модальности, интенсивности, продолжительности упражнений, а также ещё неизвестных факторов и связана с индивидуальными особенностями [5]. Сравнительного изучения по влиянию различных модальностей и интенсивности упражнений на выработку экзеркинов (цитокинов, экспрессия которых зависит от физической активности) не проводилось. Физиологическая функция большинства экзеркинов в контексте упражнений остаётся в значительной степени

неизученной. Метаболические изменения, опосредованные физической активностью, связаны с изменением уровня адипонектина в сыворотке. В частности, адипонектин и лептин модулируются потерей веса, происходящей в результате перетренированности.

Сложная сеть адипокинов и взаимодействия между адипокинами представляет собой ещё одну важную область для дальнейшего изучения. Демонстрация того, что базовая экспрессия адипоцитокинов тесно связана с индивидуальными реакциями на физические упражнения, может привести к внедрению новых персонализированных протоколов тренировок. Представленные данные определяют адипокины как потенциальные биохимические маркеры эффективности и качества тренировочного процесса. Лучший способ мониторинга тренировочного процесса спортсмена — анализ совокупности маркеров, включая гормональный ответ адипозной ткани на упражнения и тренировки.

Кортизол

Интенсивные тренировки большого объёма и частые соревнования влекут за собой риски истощения, плохого восстановления, постоянно повышенного кортизола, связанного со стрессом, и последующей иммуносупрессии. Во многих случаях эмоционально-когнитивный баланс смещён в сторону психологического стресса от соревнований с нейрогормональными реакциями [4]. Длительная стойкая усталость, связанная с повышенной выработкой кортизола и увеличением потенциала перетренированности спортсмена, может сопровождаться чрезмерным стрессом. Кортизол ингибирует экспрессию и секрецию адипонектина как при экзогенном введении, так и эндогенной гиперпродукции. Повышенные концентрации кортизола и низкие — адипонектина могут быть связаны с психологическими проявлениями, сопровождающими накопленную усталость, вызванную тренировками, например депрессивным поведением [5]. Кроме того, вызванное гиперпродукцией кортизола уменьшение количества циркулирующих цитотоксических Т-клеток наряду со снижением иммунного надзора после тренировочной перегрузки создаёт «окно возможностей» для инфекции (в основном дыхательных путей) [23].

От воспалительного повреждения мышечную ткань защищают миокин IL-6, секретируемый миоцитами и обладающий противовоспалительными свойствами, секреция которого экспоненциально увеличивается с увеличением интенсивности или продолжительности тренировки, и кортизол, который ингибирует высвобождение провоспалительных цитокинов. Регуляторные Т-клетки фенотипа Foxp3+ CD4+ (Treg) в мышцах ингибируют секрецию IFN- γ (интерферона γ) активированными Т- и NK-клетками в процессе посттренировочной метаболической и функциональной адаптации [24]. Хотя одновременное присутствие провоспалительных медиаторов и кортизола кажется нелогичным, на самом деле

это демонстрирует тонкую регуляцию воспалительных реакций, при которой активируются как про-, так и противовоспалительные процессы [4].

Кортизол — гормон, синтезируемый и секретируемый гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системой в ответ на физический и психический стресс. В иммунной системе кортизол играет противовоспалительную роль в ответ на физическую нагрузку, подавляя провоспалительные медиаторы, вызывая лимфоцитопению и регулируя созревание и миграцию дендритных клеток к лимфатическим узлам. Спортсмены физически перегружаются, чтобы улучшить результаты. Повышение уровня кортизола в периоды, когда спортсмены имеют высокие тренировочные нагрузки, часто наблюдается как у молодых, так и взрослых спортсменов мужского и женского пола, тренирующихся на выносливость [25, 26]. Показана сильная корреляция между уровнем кортизола и интенсивностью тренировки [27]. Значительно повышенный уровень кортизола может указывать на состояние перенапряжения у спортсменов [28]. Кортизол увеличивает количество дендритных клеток, ключевых антигенпрезентирующих клеток, которые взаимодействуют с Т-клетками, чтобы инициировать иммунный ответ, и являются связующим звеном в коммуникации врожденной и адаптивной иммунных систем. В периоды интенсивных физических нагрузок наблюдается притупление реакции кортизола на физическую нагрузку. Следовательно, усиленные тренировки оказывают на спортсменов иммуносупрессивное действие, и дисфункциональная гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая система во время интенсивных тренировок может приводить к частичному нарушению иммунной регуляции [8].

Разработан надёжный 30-минутный циклический стресс-тест с интенсивной физической нагрузкой, основанный на проценте от максимальной рабочей скорости (W_{max}), известный как тест 55/80, который выявил стойкое и воспроизводимое повышение уровней кортизола, а также воспроизводимые изменения численности дендритных клеток и субпопуляций Т-клеток у здоровых спортсменов-мужчин, что сделало его ценным инструментом изучения биомаркеров для выявления негативных состояний перетренированности [29]. Тест состоит из чередующихся блоков по 1 минуте езды на велосипеде с выходной мощностью 55% W_{max} и 4 минут при 80% W_{max} . После 11-дневного периода усиленных тренировок обнаружено 72% притупление реакции кортизола в тесте 55/80 по сравнению с результатами этого теста до периода усиленных тренировок. Гормональные реакции на тест 55/80 могут указывать на перенапряжение — состояние, предшествующее ранней стадии перетренированности. Чтобы гарантировать выявление иммунных изменений, которые могут возникнуть из-за чрезмерно интенсивных упражнений, разработана скорректированная версия стресс-теста 55/80 на основе порога вентиляции (ventilatory threshold, VT1).

По данным С. Baker и соавт. [8], адаптированная версия теста 55/80 — тест 20/50 — также является достаточно стрессовым, чтобы вызвать надёжные и воспроизводимые изменения количества дендритных клеток и Т-клеток CD4+ и CD8+ и/или их функции в ответ на стресс-тест с физической нагрузкой до и после периода усиленных тренировок, которые могут быть идентифицированы как иммунные биомаркеры СПТ. Участники исследования (мужчины) катались на велосипеде в течение 1 минуты при 20% VT1 и 4 минуты при 50% VT1, повторяя цикл в течение 30 минут (тест 20/50). Образцы крови были взяты до, сразу после и через 30 минут после упражнений. Методом проточной цитометрии оценивали общее количество дендритных клеток, плазмацитоидных дендритных клеток, миелоидных дендритных клеток, общее количество Т-клеток CD3, Т-хелперов и цитотоксических Т-клеток. Обнаружен значимый эффект времени для всех переменных: численность популяций иммунных клеток увеличивалась во время упражнений и уменьшалась до исходного уровня через 30 минут после упражнений, за исключением плазмацитоидных дендритных клеток, количество которых оставалось увеличенным через 30 минут после упражнений. Полученные результаты свидетельствуют о том, что стресс-тест с физической нагрузкой 20/50 вызывает воспроизводимые изменения численности популяций иммунных клеток, которые, если проводить тест до и после периода интенсивных тренировок, могут продемонстрировать негативные состояния перетренированности, а также о том, что взаимосвязь между врожденными и адаптивными иммунными системами может быть изменена при интенсивных тренировках, особенно в состоянии перетренированности [8].

В настоящее время в упражнениях на выносливость акцент делается на высокой интенсивности в сочетании с большим объёмом тренировок, а спринтерские тренировки при меньшем объёме требуют более высокой интенсивности, чем упражнения на выносливость. Во время подготовки к соревнованиям в тренировочном лагере баланс между объёмами тренировок и восстановлением часто нарушается и может превысить возможности нейроэндокринной и иммунной адаптации, что приводит к иммунологической дисфункции, биохимическим отклонениям и снижению результативности. Кортизол часто используется в качестве меры стресса и маркера усталости или перетренированности у спортсменов. J. Ostapiuk-Karolczuk и соавт. [30] сравнили уровни кортизола и иммунного ответа у спортсменов, тренирующихся на выносливость, и у спринтеров, чтобы определить, влияет ли их спортивная специализация на эти маркеры во время одинаковых 9-дневных тренировок в тренировочном лагере. Образцы крови для всех измеряемых параметров брали в исходном состоянии покоя, на 4-й и 9-й дни тренировок. Исходные уровни кортизола были примерно одинаковыми у спортсменов, тренирующихся на короткие дистанции и на выносливость,

но в течение 9 дней пребывания в тренировочном лагере они значительно выросли: спринт — 176 против 242 пг/мл ($p=0,0001$); выносливость — 203 против 246 пг/мл ($p=0,0005$). В этом исследовании воспалительная реакция на упражнения у спортсменов, занимающихся спринтом (футбол, баскетбол), также была выше, чем в видах спорта на выносливость (плавание, велоспорт): повышение концентрации С-реактивного белка и уменьшение количества лейкоцитов было более значительным у спринтеров, чем у спортсменов, тренирующихся на выносливость. Эти результаты, по-видимому, означают, что спортсмены, тренирующиеся на выносливость, лучше адаптированы к переносимости тренировочных нагрузок, применяемых во время подготовки к спортивным состязаниям. Исследование также показало постепенное уменьшение количества лейкоцитов, которое может отражать перераспределение клеток между периферической кровью и другими лимфатическими компартментами. Результаты показывают, что достаточное время для адаптации к тренировочным нагрузкам зависит от типа тренировок, что проявляется различной интенсивностью реакций на один и тот же тренировочный стимул [30].

Субпопуляции иммунных клеток

Упражнения умеренной интенсивности вызывают лейкоцитоз с противовоспалительным профилем цитокинов, тогда как превышение порога интенсивности — провоспалительное состояние и лактат-опосредованное высвобождение IL-6 (ключевого цитокина, определяющего иммунные реакции), за которым следует иммунная адаптация. Чрезмерные тренировки, психологический стресс или недостаточное восстановление создают риск истощения иммунных клеток и стрессовых реакций гипоталамо-гипофизарной оси, негативно влияющих на спортивную результативность и общее состояние здоровья [4]. Исследования показали, что тренировка, длящаяся более 90 минут при уровне интенсивности выше 65–75% максимального потребления кислорода (VO_{2max}) без достаточного восстановления, может быстро вызвать СПТ [4, 17], что повышает риск инфекций у спортсменов [31]. Одним из наиболее значимых биологических параметров, связанных с риском вирусной инфекции у физически активных людей, является баланс между субпопуляциями Т-лимфоцитов-хелперов Th1 и Th2. Модуляции иммунного ответа зависят от активации Т-хелперных клеток Th1 и Th2 и баланса Th1/Th2, который лежит в основе формирования про- и противовоспалительной среды. Ответ типа Th1 сопровождается секрецией провоспалительных цитокинов, активирующих врожденный иммунитет, ответ типа Th2 индуцирует секрецию противовоспалительных цитокинов и гуморальный иммунитет с продукцией антител активированными В-клетками. Иммунологическая модуляция после максимально интенсивных (до изнеможения) упражнений на выносливость состоит в том, что клетки Th1 постепенно активируются в фазе восстановления,

клетки Th2 продуцируют всё больше IL-6 и заставляют клетки Th17 дифференцироваться и функционировать как провоспалительный фактор, что в конечном итоге способствует воспалению тканей [32].

При физической нагрузке основным источником цитокинов являются мышцы. Время и степень высвобождения цитокинов зависят от относительного баланса аэробных и силовых упражнений, продолжительности тренировок и типа спорта. Открытие миокинов [цитокинов, вырабатываемых скелетными мышцами, таких как IL-6, IL-8, IL-15, иризин, миостатин, факторы FGF21 (fibroblast growth factor 21), LIF (leukemia inhibitory factor), BDNF (brain-derived neurotrophic factor) и IGF-1 (insulin-like growth factor-1)] заставило по-новому оценить влияние упражнений на организм человека. Миокины действуют локально на мышечные ткани, а также играют эндокринную роль, обеспечивая метаболический гомеостаз и координацию сердечно-сосудистой и неврологической систем во время физических упражнений [33]. Функционируя локально в мышцах, миокины координируют миграцию и активацию клеток и регулируют баланс Th1/Th2. Значение этой функции в том, чтобы воспаление было направленным и пропорциональным с целью избежать повреждения миоцитов. Идентификация миокинов объясняет иммунные и метаболические изменения, вызванные физическими нагрузками. Предполагается, что одни и те же белки, секретируемые иммунными клетками (классические провоспалительные цитокины IL-6 и IL-8) и миоцитами (противовоспалительные миокины IL-6 и IL-8), используют разные рецепторы на клетках-мишенях. Это сильно затрудняет изучение их роли в развитии такого сложного феномена, как СПТ. Единственное исследование миокинов в контексте СПТ выполнено на мышечной модели перетренированности. Экспериментально показаны снижение массы мышцы Triceps brachii, сильно нагруженной эксцентрическими сокращениями, и связь этой атрофии с низкой концентрацией анаболического миокина IL-15 и фактора FGF21, способной привести к метаболическим дефектам. При сочетании эксцентрической тренировки с дефицитом витамина D в рационе была значительно снижена доля противовоспалительных лимфоцитов Th2, что указывает на системное воспаление, а сокращение времени исследовательского поведения мышей означает когнитивную дисфункцию. Эти результаты показывают, что дефицит витамина D усугубляет последствия перетренированности [34].

Интенсивные или длительные (более 90 минут) упражнения вызывают клеточный метаболический стресс из-за обезвоживания, истощения гликогена и физического повреждения клеток. В ответ миоциты секретируют цитокины IFN- γ и TNF- α , активирующие врожденный иммунитет, включая миграцию дендритных клеток, NK-клеток, нейтрофилов и макрофагов. Т-лимфоциты CD8⁺ проявляют повышенную цитотоксичность и миграцию в ткани. С увеличением интенсивности (>64% VO_{2max}) и/или продолжительности упражнений разнообразие и величина

цитокиновых реакций также увеличиваются. Цитокины TNF- α и IL-1 β появляются обычно в течение 1 часа, IL-8 и IL-17 — при более продолжительной тренировке. Авторы исследования пришли к выводу, что длительные интенсивные упражнения приводят к высоким уровням воспалительных медиаторов и таким образом увеличивают риск хронического воспаления и повреждения миоцитов, в отличие от упражнений умеренной интенсивности с соответствующими периодами отдыха, которые способствуют секреции миокинов, создающих противовоспалительную среду, и могут принести максимальную пользу [12].

При прекращении упражнений, в период восстановления, противовоспалительные механизмы остаются активными, и баланс Th1/Th2 смещается в сторону Th2, что приводит к уменьшению количества и снижению функций T- и NK-клеток, макрофагов, гранулоцитов и повышению соотношения нейтрофилов и лимфоцитов. Нейтрофилы и макрофаги фенотипа M1 (секретирующие медиаторы воспаления TNF- α , IL-1 β и др.) накапливаются в мышцах вокруг очагов повреждения клеток и удаляют клеточный дебрис. Через 24 часа после упражнений и в последующие дни макрофаги M2 (секретирующие IL-10 и другие ингибиторы воспаления) в мышцах координируют регенерацию миоцитов и внеклеточного матрикса. Этот посттренировочный период характеризуется иммуносупрессией и предоставляет возможности к вторжению патогенов. Например, в период восстановления после марафонских забегов у 20% спортсменов наблюдаются повышенные показатели заболеваемости респираторными инфекциями [35]. Хотя через 1–2 часа после тренировки происходит резкое снижение количества и функции лимфоцитов, в настоящее время общепризнано, что иммуносупрессия, несомненно, возникает после экстремальных и длительных физических нагрузок. Упражнения с интенсивностью выше 80% VO_{2max} вызывают самую сильную провоспалительную реакцию, сопряжены с риском травм и требуют значительно большего времени на восстановление. Необходимо изучить, какие режимы упражнений наиболее эффективно улучшают иммунные функции. В качестве показателей для руководства оптимальной тренировкой и определения чрезмерных уровней упражнений или риска иммунной дисфункции спортивные технологии могут использовать иммунные медиаторы.

Теория СПТ, связанная с иммунной системой, предполагает, что микротравмы с повреждением мембран мышечных клеток под действием гипоксии и резкого сокращения мышц во время высокоинтенсивных тренировок усугубляются неадекватным отдыхом и восстановлением, что приводит к хроническим микротравмам скелетных мышц, соединительной ткани и суставов, вызывающим воспаление. Эта теория постулирует, что симптомы перетренированности усиливаются под действием провоспалительных цитокинов (IL-6, IL-1 β , TNF- α), секретируемых макрофагами и T-лимфоцитами, и спортсмен становится физиологически и психологически ослабленным [2, 17].

Несмотря на то, что иммунная система чувствительна к стрессу и что периоды интенсивных тренировок приводят к угнетению функции иммунных клеток, эти изменения не позволяют однозначно отличить спортсменов, которые успешно адаптируются к перенапряжению, от тех, кто плохо адаптируется и у которых развиваются симптомы СПТ. L.E. Armstrong и соавт. [2] считают, что иммунологические исследования не дали окончательных результатов, поскольку СПТ является сложным клиническим состоянием, которое включает в себя уникальные взаимодействия множественных факторов риска и хронических стрессоров; охватывает коммуникацию между клетками иммунной системы, мозга и скелетных мышц; приводит к крайне индивидуальным дисфункциональным результатам и изучалось в исследованиях, которые фокусируются на одной или немногих переменных. Комплексный системный подход к СПТ должен учитывать одновременное возникновение многих предрасполагающих факторов риска и клинических проявлений, среди которых важное место занимает состояние иммунной системы. Применение этого современного подхода даёт наилучшую возможность прояснить роль и реакции иммунной системы у спортсменов и поможет в установлении эффективных и индивидуализированных мер профилактики и контроля СПТ.

Другие факторы и молекулы, влияющие на процессы адаптации

Повреждение мышц из-за чрезмерного напряжения во время соревнований или тренировок, довольно распространённое во многих видах спорта, сопровождается микроразрывами, и содержимое некоторых компонентов мышечных волокон попадает в кровоток. Это клеточное содержимое в основном состоит из ферментов, в качестве которых могут выступать молекулы клеточного сигналинга: если повреждение мышц серьёзное, оно может содержать также некоторые сократительные белки. Многие из этих факторов указывают на стресс или восстановление и процессы адаптации. Значительное повышение активности ферментов (креатинкиназы, аспартатаминотрансферазы, лактатдегидрогеназы) в период восстановления после тренировки является показателем перетренированности и необходимости более длительного периода восстановления. В этом случае тренерам и врачам спортивной медицины следует использовать правильные программы восстановления, включающие коррекцию диеты, физиотерапевтические методики, специализированное спортивное питание и пищевые добавки, а также фармакотерапию. При этом решение о возобновлении тренировок должно приниматься на индивидуальной основе, поскольку не существует абсолютных критериев полного восстановления спортсменов [36].

В 2021 году опубликована международная декларация о четырёхфакторной стратегии оптимизации восстановления после тренировки [37]. Восстановление после тренировки — широкое понятие, подразумевающее

восстановление тренировочной способности. После тренировки или соревнования происходит снижение спортивных результатов вследствие накопления усталости. В течение часов и дней после тренировки организм восстанавливается, и ожидается, что спортивная результативность вернется к норме или улучшится. В качестве основанной на доказательствах структуры был определен подход 4R (Rehydrate, Refuel, Repair, Rest) к оптимизации восстановления после тренировки: (1) регидратация; (2) пополнение углеводов для удовлетворения энергетических потребностей иммунной системы и восстановления тканей; (3) приём высококачественного белка для восстановления тканей; (4) питание перед сном для восстановления опорно-двигательного аппарата, эндокринной, иммунной и нервной систем [37].

Воспаление, которое является признаком травмы или стресса, вызванного перетренированностью или инфекцией/заболеванием, также можно контролировать, оценивая белки и другие молекулы, регулирующие воспаление. Важным аспектом, который следует учитывать при воспалительном процессе, является то, что за местной реакцией обычно следует системная воспалительная (острая фаза), одним из ключевых моментов которой является усиление синтеза белков острой фазы воспаления. Наиболее важными из них являются С-реактивный белок, альфа1-кислый гликопротеин, сывороточный амилоид А, гаптоглобин, фибриноген, трансферрин и церулоплазмин. Содержание белков острой фазы уменьшается по мере разрешения инфекции, травмы, воспаления и/или повреждения мышечной ткани во время упражнений [18].

Исследования биомаркеров (их идентификация и интерпретация) для мониторинга результативности, перетренированности и общего благополучия спортсменов проводятся уже несколько десятилетий, но результаты недостаточны для использования их на практике. Протеомика и относительно новая область — метаболомика предлагают огромные возможности для улучшения понимания результативности и процессов восстановления у спортсменов, а также их адаптации к физическим тренировкам. Выявленные статистически значимые изменения связаны в основном с повреждением тканей, активацией иммунной системы и воспалением, гомеостазом и метаболической активностью организма. Оценка изменений в уровнях биомаркеров после тренировки имеет решающее значение для определения потенциального источника патологического процесса. Это позволит определить дальнейшие действия для поддержания здоровья спортсменов и достижения оптимальных результатов [18].

Помимо микротравм мышц, изменения микробиома кишечника, вызванные высокоинтенсивными упражнениями, являются патогенетическими механизмами СПТ. Здоровый кишечник человека содержит более 1000 видов микроорганизмов, каждый из которых вырабатывает собственные метаболиты, которые взаимодействуют

с ультраструктурой кишечника, эндокринной и иммунной системами. Коллективный геном экосистемы кишечного микробиома оказывает множественные положительные эффекты на здоровье, и определённые классы микробов (*Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Eubacterium*, *Faecalibacterium*, *Lactobacillus* и *Roseburia*) считаются особенно важными для здоровья и долголетия человека [38] из-за их влияния на устойчивость к инфекциям/воспалениям, аутоиммунным реакциям и эндокринный сигналинг. Например, постепенное уменьшение численности таксона *Bacteroides* с возрастом наблюдалось только у самых здоровых пожилых людей и не наблюдалось у менее здоровых, но функционально независимых людей того же возраста.

Многочисленные исследования продемонстрировали, что как острые, так и хронические заболевания связаны с изменением состава кишечной микрофлоры, снижением биоразнообразия, потерей комменсальных бактерий (сопровождающейся потерей полезной метаболической активности, такой как биодоступность питательных веществ) и/или чрезмерным ростом условно-патогенных микроорганизмов. Лёгкая или умеренная тренировочная нагрузка служит мощным вмешательством для диверсификации кишечной микрофлоры независимо от диеты. В обзоре V. Ауа и соавт. [39] описаны заметные различия между соревнующимися спортсменами и неактивными людьми: у спортсменов отмечено большее α -разнообразие микробиоты, тесно связанное с режимом питания и потреблением белка, в сочетании с более низким обилием бактерий типа *Bacteroidetes*. Кроме того, у спортсменов с высокими результатами отмечено большее количество родов *Parabacteroides*, *Phascolarctobacterium*, *Oscillibacter*, *Bilophila* и меньшее — *Megasphaera*. Потребление про- и пребиотиков спортсменами, воодушевлёнными сообщениями о регенеративных и иммунологических преимуществах родов *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* и *Bacillus*, стало регулярным [39]. Исследование образцов кишечной микробиоты от профессиональных спортсменов за неделю до и через неделю после забега на Бостонском марафоне показало значительное увеличение *Veillonella* — грам-отрицательной анаэробной бактерии, обычно встречающейся в кишечной и ротовой микробиоте, с уникальной способностью получать энергию посредством ферментации лактата [40].

Связи между любым аспектом экосистемы кишечного микробиома с нефункциональным перенапряжением или СПТ изучались на экспериментальных моделях. Данные исследований показали, что чрезмерные физические нагрузки (высокоинтенсивное плавание в течение 4 недель) оказывают негативное влияние не только на иммунитет, метаболизм веществ и энергии, но и на разнообразие кишечного микробиома у мышей, уменьшая численность полезных бактерий и способствуя росту потенциально патогенных микроорганизмов [41].

Когда физическая активность слишком интенсивна, спортсмены могут испытывать негативные последствия

изменения микробиоты кишечника во время упражнений [31] вплоть до воспаления кишечника [42]. Y. Li и соавт. [42] провели комплексное многокогортное исследование потенциала микробиоты кишечника в регулировании воспаления у спортсменов и установили, что спортсмены, занимающиеся разными видами спорта, имеют свои специфические профили кишечной микробиоты. Предварительные результаты указывают на специфическую для вида спорта связь кишечной микробиоты с воспалением, связанным с интенсивными физическими упражнениями, более того, различия в микробном разнообразии у спортсменов разных видов спорта могут приводить к специализированным моделям воспаления. В целом микробиота кишечника отражает определённые воспалительные паттерны у спортсменов разных типов, и информация об ассоциации между микробным сообществом и воспалительными факторами может оказаться весьма значимой для мониторинга потенциального риска воспаления и персонализированной модуляции программы упражнений. Работа Y. Li и соавт. [42] показывает, что исследование микробиома — важный инструмент для понимания возможных воспалительных рисков и создания индивидуальных режимов тренировок.

Характеристики здоровой микробиоты включают в себя стабильность микробной экосистемы и повышенное разнообразие видов, а дисбаланс микробиома кишечника у спортсменов в период предсоревновательной подготовки может быть причиной ограничения их спортивной результативности, при этом иммунологические исследования до сих пор не дали достаточно убедительных результатов, позволяющих сделать выводы о потенциально предрасполагающей роли или последующем участии микробиоты в развитии СПТ [2, 17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Занятия спортом полезны с точки зрения регулярности, социальной интеграции, психического благополучия, более здорового образа жизни и долгосрочного укрепления здоровья. Несмотря на известные метаболические, иммунные и психосоциальные преимущества занятий спортом, участие в спорте высокого уровня может иметь неблагоприятные последствия для здоровья. Связь чрезмерно интенсивных и длительных тренировок с повышенной заболеваемостью респираторными инфекциями указывает на роль иммунной системы в эффективности упражнений и опровергает представления о том, что упражнения всегда полезны.

В настоящее время диагноз синдрома перетренированности основан на клинических проявлениях (общая усталость, бессонница, изменение аппетита, раздражительность, потеря мотивации и отсутствие концентрации), однако в отсутствие установленной эффективной терапии спортсмены должны просто прекратить тренировки, чтобы избежать долгосрочных неблагоприятных последствий

для своего здоровья и спортивной карьеры. Стандартные рекомендации по процессу восстановления и определению готовности к возвращению к тренировкам отсутствуют. Соответственно, наблюдается неопределённость и неэффективность практических стратегий профилактики, раннего выявления и своевременного клинического и спортивного ведения лиц, страдающих синдромом перетренированности. В этих обстоятельствах простые профилактические меры по контролю перенапряжения и перетренированности помогут сохранить иммунитет у соревнующихся спортсменов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. С.Г. Щербак, А.С. Голота — написание текста статьи; Д.А. Вологжанин, С.В. Макаренко — написание и редактирование текста статьи; Т.А. Камилова — поисково-аналитическая работа, написание, обсуждение и редактирование текста статьи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При проведении исследования и создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступность данных. Все материалы, использованные в этой работе, доступны из источников, указанных в ссылках.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions. S.G. Shcherbak, A.S. Golota — manuscript writing; D.A. Vologzhanin, S.V. Makarenko — revision and manuscript writing; T.A. Kamilova — search and analytical work, writing and editing of the manuscript. All authors provided approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Funding sources. No funding.

Disclosure of interests. The authors declare that during the last three years they have not had any relationships, activities or interests (commercial or non-commercial) related to third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality. In conducting the research and creating this work, the authors did not use previously published information (text, illustrations, data).

Data availability statement. All materials used in this work are available from the sources indicated in the references.

Generative AI. Generative AI technologies were not used for this article creation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Parmenter D. Some medical aspects of the training of college athletes. *Boston Med Surg J.* 1923;189(2):45–50. doi: 10.1056/nejm192307121890201
2. Armstrong LE, Bergeron MF, Lee EC, et al. Overtraining syndrome as a complex systems phenomenon. *Front Netw Physiol.* 2022;1:794392. doi: 10.3389/fnetp.2021.794392 EDN: VZTBFF
3. Ward T, Stead T, Mangal R, Ganti L. Prevalence of stress amongst high school athletes (v2). *Health Psychol Res.* 2023;11:70167. doi: 10.52965/001c.70167 EDN: FHERSC
4. Baskerville R, Castell L, Bermon S. Sports and immunity, from the recreational to the elite athlete. *Infect Dis Now.* 2024;54(4S):104893. doi: 10.1016/j.idnow.2024.104893 EDN: MRPNGG
5. Mallardo M, Daniele A, Musumeci G, Nigro E. A narrative review on adipose tissue and overtraining: Shedding light on the interplay among adipokines, exercise and overtraining. *Int J Mol Sci.* 2024;25(7):4089. doi: 10.3390/ijms25074089 EDN: VHSDLJ
6. Costache AD, Costache II, Miftode RŞ, et al. Beyond the finish line: The impact and dynamics of biomarkers in physical exercise: A narrative review. *J Clin Med.* 2021;10(21):4978. doi: 10.3390/jcm10214978 EDN: XNPKER
7. Charest J, Grandner MA. Sleep and athletic performance: Impacts on physical performance, mental performance, injury risk and recovery, and mental health. *Sleep Med Clin.* 2020;15(1):41–57. doi: 10.1016/j.jsmc.2019.11.005
8. Baker C, Piasecki J, Hunt JA, Hough J. The reproducibility of dendritic cell and T cell counts to a 30-min high-intensity cycling protocol as a tool to highlight overtraining. *Exp Physiol.* 2024;109(3):380–392. doi: 10.1113/ep091326 EDN: SKXZTF
9. La Torre ME, Monda A, Messina A, et al. The potential role of nutrition in overtraining syndrome: A narrative review. *Nutrients.* 2023;15(23):4916. doi: 10.3390/nu15234916 EDN: TOWJTX
10. Docherty S, Harley R, McAuley JJ, et al. The effect of exercise on cytokines: Implications for musculoskeletal health. A narrative review. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2022;14(1):5. doi: 10.1186/s13102-022-00397-2 EDN: UZVGTH
11. Wang S, Zhou H, Zhao C, He H. Effect of exercise training on body composition and inflammatory cytokine levels in overweight and obese individuals: A systematic review and network meta-analysis. *Front Immunol.* 2022;13:921085. doi: 10.3389/fimmu.2022.921085 EDN: XVMKPU
12. Cerqueira É, Marinho DA, Neiva HP, Lourenço O. Inflammatory effects of high and moderate intensity exercise: A systematic review. *Front Physiol.* 2020;10:1550. doi: 10.3389/fphys.2019.01550 EDN: CYLNOC
13. Wang T, Wang J, Hu X, et al. Current understanding of glucose transporter 4 expression and functional mechanisms. *World J Biol Chem.* 2020;11(3):76–98. doi: 10.4331/wjbc.v11.i3.76 EDN: HNWBWL
14. Rogeri PS, Gasparini SO, Martins GL, et al. Crosstalk between skeletal muscle and immune system: Which roles do IL-6 and glutamine play? *Front Physiol.* 2020;11:582258. doi: 10.3389/fphys.2020.582258 EDN: MMUCKE
15. Haller N, Behringer M, Reichel T, et al. Blood-based biomarkers for managing workload in athletes: Considerations and recommendations for evidence-based use of established biomarkers. *Sports Med.* 2023;53(7):1315–1333. doi: 10.1007/s40279-023-01836-x EDN: DWYZRX
16. Khoramipour K, Sandbakk O, Hassanzadeh Keshteli A, et al. Metabolomics in exercise and sports: A systematic review. *Sports Med.* 2022;52(3):547–583. doi: 10.1007/s40279-021-01582-y EDN: FLYQZI
17. Fu P, Duan X, Zhang Y, et al. Based on sportomics: Comparison of physiological status of collegiate sprinters in different pre-competition preparation periods. *Metabolites.* 2024;14(10):527. doi: 10.3390/metabo14100527 EDN: SMHRSK
18. Malsagova KA, Kopylov AT, Stepanov AA, et al. Metabolomic and proteomic profiling of athletes performing physical activity under hypoxic conditions. *Sports (Basel).* 2024;12(3):72. doi: 10.3390/sports12030072 EDN: QVZZXL
19. Mika A, Macaluso F, Barone R, et al. Effect of exercise on fatty acid metabolism and adipokine secretion in adipose tissue. *Front Physiol.* 2019;10:26. doi: 10.3389/fphys.2019.00026
20. Scheffer D, Latini A. Exercise-induced immune system response: Anti-inflammatory status on peripheral and central organs. *Biochim Biophys Acta Mol Basis Dis.* 2020;1866(10):165823. doi: 10.1016/j.bbdis.2020.165823 EDN: ELFMAO
21. Kirichenko TV, Markina YV, Bogatyreva AI, et al. The role of adipokines in inflammatory mechanisms of obesity. *Int J Mol Sci.* 2022;23(23):14982. doi: 10.3390/ijms232314982 EDN: HYGTAI
22. Mallardo M, D'Alleva M, Lazzar S, et al. Improvement of adiponectin in relation to physical performance and body composition in young obese males subjected to twenty-four weeks of training programs. *Heliyon.* 2023;9(5):e15790. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e15790 EDN: GTZYMA
23. Simpson RJ, Campbell JP, Gleeson M, et al. Can exercise affect immune function to increase susceptibility to infection? *Exerc Immunol Rev.* 2020;26:8–22.
24. Langston PK, Sun Y, Ryback BA, et al. Regulatory T cells shield muscle mitochondria from interferon- γ -mediated damage to promote the beneficial effects of exercise. *Sci Immunol.* 2023;8(89):eadi5377. doi: 10.1126/sciimmunol.adi5377 EDN: BTQAHQ
25. Mishica C, Kyröläinen H, Hynynen E, et al. Relationships between heart rate variability, sleep duration, cortisol and physical training in young athletes. *J Sports Sci Med.* 2021;20(4):778–788. doi: 10.52082/jssm.2021.778 EDN: DWEIRT
26. Muscella A, My G, Okba S, et al. Effects of training on plasmatic cortisol and testosterone in football female referees. *Physiol Rep.* 2022;10(9):e15291. doi: 10.14814/phy2.15291 EDN: UVUPIJ
27. Brini S, Ben Abderrahman A, Boullosa D, et al. Effects of a 12-week change-of-direction sprints training program on selected physical and physiological parameters in professional basketball male players. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(21):8214. doi: 10.3390/ijerph17218214 EDN: VOUEGX
28. Cadegiani FA, Kater CE. Enhancement of hypothalamic-pituitary activity in male athletes: Evidence of a novel hormonal mechanism of physical conditioning. *BMC Endocr Disord.* 2019;19(1):117. doi: 10.1186/s12902-019-0443-7 EDN: ZWJSQB
29. Hough J, Leal D, Scott G, et al. Reliability of salivary cortisol and testosterone to a high-intensity cycling protocol to highlight overtraining. *J Sports Sci.* 2021;39(18):2080–2086. doi: 10.1080/02640414.2021.1918362 EDN: JPJGLR
30. Ostapiuk-Karolczuk J, Kasperska A, Dziewiecka H, et al. Changes in the hormonal and inflammatory profile of young sprint- and endurance-trained athletes following a sports camp: A nonrandomized pretest-posttest study. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2024;16(1):136. doi: 10.1186/s13102-024-00924-3 EDN: WHBDVG

- 31.** Wegierska AE, Charitos IA, Topi S, et al. The connection between physical exercise and gut microbiota: Implications for competitive sports athletes. *Sports Med.* 2022;52(10):2355–2369. doi: 10.1007/s40279-022-01696-x EDN: BULBVM
- 32.** Kostrzewa-Nowak D, Nowak R. Differential Th cell-related immune responses in young physically active men after an endurance effort. *J Clin Med.* 2020;9(6):1795. doi: 10.3390/jcm9061795 EDN: AGFNHJ
- 33.** Barbalho SM, Prado Neto EV, De Alvares Goulart R, et al. Myokines: A descriptive review. *J Sports Med Phys Fitness.* 2020;60(12):1583–1590. doi: 10.23736/S0022-4707.20.10884-3 EDN: BYWXAD
- 34.** Talvas J, Norgieux C, Burbani E. Vitamin D deficiency contributes to overtraining syndrome in excessive trained C57BL/6 mice. *Scand J Med Sci Sports.* 2023;33(11):2149–2165. doi: 10.1111/sms.14449 EDN: FOQTOT
- 35.** Ruuskanen O, Luoto R, Valtonen M, et al. Respiratory viral infections in athletes: Many unanswered questions. *Sports Med.* 2022;52(9):2013–2021. doi: 10.1007/s40279-022-01660-9 EDN: JXFLOG
- 36.** Silva JR, Rumpf MC, Hertzog M, et al. Acute and residual soccer match-related fatigue: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2018;48(3):539–583. doi: 10.1007/s40279-017-0798-8 EDN: XDZWBK
- 37.** Bonilla DA, Pérez-Idárraga A, Odriozola-Martínez A, Kreider RB. The 4R's framework of nutritional strategies for post-exercise recovery: A review with emphasis on new generation of carbohydrates. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(1):103. doi: 10.3390/ijerph18010103
- 38.** Wilmanski T, Diener C, Rappaport N, et al. Gut microbiome pattern reflects healthy ageing and predicts survival in humans. *Nat Metab.* 2021;3(2):274–286. doi: 10.1038/s42255-021-00348-0
- 39.** Aya V, Flórez A, Perez L, Ramírez JD. Association between physical activity and changes in intestinal microbiota composition: A systematic review. *PLoS One.* 2021;16(2):e0247039. doi: 10.1371/journal.pone.0247039 EDN: ZBGGDD
- 40.** Scheiman J, Lubber JM, Chavkin TA, et al. Meta-omics analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism. *Nat Med.* 2019;25(7):1104–1109. doi: 10.1038/s41591-019-0485-4 EDN: NJEFTB
- 41.** Yuan X, Xu S, Huang H, et al. Influence of excessive exercise on immunity, metabolism, and gut microbial diversity in an overtraining mice model. *Scand J Med Sci Sports.* 2018;28(5):1541–1551. doi: 10.1111/sms.13060 EDN: PDFBGT
- 42.** Li Y, Cheng M, Zha Y, et al. Gut microbiota and inflammation patterns for specialized athletes: A multi-cohort study across different types of sports. *mSystems.* 2023;8(4):e0025923. doi: 10.1128/msystems.00259-23 EDN: JVLJZM

ОБ АВТОРАХ

* **Голота Александр Сергеевич**, канд. мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 197706, Санкт-Петербург,
г. Сестрорецк, ул. Борисова, д. 9, лит. Б;
ORCID: 0000-0002-5632-3963;
eLibrary SPIN: 7234-7870;
e-mail: golotaa@yahoo.com

Щербак Сергей Григорьевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-5036-1259;
eLibrary SPIN: 1537-9822;
e-mail: b40@zdrav.spb.ru

Вологжанин Дмитрий Александрович, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0002-1176-794X;
eLibrary SPIN: 7922-7302;
e-mail: volog@bk.ru

Макаренко Станислав Вячеславович;
ORCID: 0000-0002-1595-6668;
eLibrary SPIN: 8114-3984;
e-mail: st.makarenko@gmail.com

Камилова Татьяна Аскарровна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0001-6360-132X;
eLibrary SPIN: 2922-4404;
e-mail: kamilovaspb@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Aleksandr S. Golota**, MD, Cand. Sci. (Medicine), Assistant Professor;
address: 9B Borisova st, Sestroretsk, Saint Petersburg,
Russia, 197706;
ORCID: 0000-0002-5632-3963;
eLibrary SPIN: 7234-7870;
e-mail: golotaa@yahoo.com

Sergey G. Scherbak, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0001-5036-1259;
eLibrary SPIN: 1537-9822;
e-mail: b40@zdrav.spb.ru

Dmitry A. Vologzhanin, MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-1176-794X;
eLibrary SPIN: 7922-7302;
e-mail: volog@bk.ru

Stanislav V. Makarenko;
ORCID: 0000-0002-1595-6668;
eLibrary SPIN: 8114-3984;
e-mail: st.makarenko@gmail.com

Tatyana A. Kamilova, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0001-6360-132X;
eLibrary SPIN: 2922-4404;
e-mail: kamilovaspb@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author