



Учредитель: Национальный медицинский исследовательский
центр реабилитации и курортологии
Поддержка: Национальная ассоциация экспертов
по санаторно-курортному лечению

Owner: National Medical Research Center
for Rehabilitation and Balneology
Supported by: National Association of Experts in Spa Treatment

ISSN 2078-1962 (print)
ISSN 2713-2625 (online)

Вестник

восстановительной медицины

Bulletin of Rehabilitation Medicine
Vestnik Vosstanovitel'noj Mediciny



TOM 25 № 2
VOL. 25 No. 2
2026

Подписной индекс: 71713 | www.vvmr.ru

ВЕСТНИК ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ МЕДИЦИНЫ

Том 25, № 2-2026

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

ЗУБАРЕВА Н.Н., д. э. н., доцент, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

КОНЧУГОВА Т.В., д.м.н., проф., Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

УГО КАРРАРО, проф., Падуанский университет, Падуа, Италия

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

АГАСАРОВ Л.Г., д.м.н., проф., Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

БЕЛОВА Л.А., д.м.н., проф., Ульяновский государственный университет, Ульяновск, Россия

БЕРДЮГИН К.А., д.м.н., проф., РАН, Уральский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. В.Д. Чаклина, Екатеринбург, Россия

БЫКОВ А.Т., член-корр. РАН, д.м.н., проф., Кубанский государственный медицинский университет Минздрава России, Сочи, Россия

ГАБУЕВА Л.А., д.э.н., профессор, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

ГАМЕЕВА Е.В., д.м.н., проф., Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва

ГЕРАСИМЕНКО М.Ю., д.м.н., проф., Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава России, Москва, Россия

ДАМИНОВ В.Д., д.м.н., Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

КИЗЕЕВ М.В., к.м.н., Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья им. Н.А. Семашко, Москва, Россия

КОВЛЕН Д.В., д.м.н., доцент, Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

КОНОВА О.М., д.м.н., доцент, Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей, Москва, Россия

КОСТЕНКО Е.В., д.м.н., проф., Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

КУРНЯВКИНА Е.А., к.м.н., проф., Санаторий «Краснозерский», Новосибирск, Россия

МАРТЫНОВ М.Ю., д.м.н., проф., член-корр. РАН, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

НИКИТИН М.В., д.м.н., д.э.н., Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

РАССУЛОВА М.А., д.м.н., проф., Московский научно-практический центр медицинской реабилитации восстановительной спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

СИЧИНАВА Н.В., д.м.н., Московский научно-практический центр медицинской реабилитации восстановительной спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

СКВОРЦОВ Д.В., д.м.н., проф., Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

ТУРОВИНИНА Е.Ф., д.м.н., проф., Тюменский государственный медицинский университет Минздрава России, Тюмень, Россия

ХАН М.А., д.м.н., проф., Детская городская клиническая больница им. Н.Ф. Филатова Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

ХАТЬКОВА С.Е., д.м.н., проф., Лечебно-реабилитационный центр Минздрава России, Москва, Россия

ХРАМОВ В.В., д.м.н., проф., Саратовский национальный исследовательский университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия

ЯКОВЛЕВ М.Ю., д.м.н., Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

ЯШКОВ А.В., д.м.н., проф., Самарский государственный медицинский университет Минздрава России, Самара, Россия

Денис БУРЖУА, к.м.н., проф., Лионский университет им. Клода Бернара 1, рабочая Европейская региональная организация Всемирной стоматологической федерации, Лион, Франция

Педро КАНТИСТА, проф., Международное общество медицинской гидрологии и климатологии, Университет Порту, Порту, Португалия

Мюфит Зеки КАРАГУЛЛЕ, проф., Стамбульский университет, Стамбул, Турция

Стелла ОДОБЕСКУ, д.м.н., проф., Институт неврологии и нейрохирургии им. Диомида Германа, Кишинев, Молдова

Кристиан РОКК, проф., Университет им. Поля Сабатье — Тулуза III, Тулуза, Национальная медицинская академия, Париж, Франция

Луиджи ТЕЗИО, проф., Итальянский Ауксологический институт, Милан, Италия

ПРЕДСЕДАТЕЛИ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

МАРЧЕНКОВА Л.А. д.м.н., Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

Франсиско МАРАВЕР, д.м.н., проф., Мадридский университет Complutense, Мадрид, Испания

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

БАДТИЕВА В.А., академик РАН, д.м.н., проф., Московский научно-практический центр медицинской реабилитации восстановительной спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

БАТЫШЕВА Т.Т., д.м.н., проф., Научно-практический центр детской психоневрологии Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

БОЙЦОВ С.А., академик РАН, д.м.н., проф., Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. ак. Е.И. Чазова Минздрава России, Москва, Россия

БУХТИЯРОВ И.В., академик РАН, д.м.н., проф., Научно-исследовательский институт медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова, Москва, Россия

ГРЕЧКО А.В., академик РАН, д.м.н., проф., Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Москва, Россия

ДИДУР М.Д., д.м.н., проф., Институт мозга человека им. Н.П. Бехтерева Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

ДРАПКИНА О.М., академик РАН, д.м.н., проф., Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины Минздрава России, Москва, Россия

ИВАНОВА Г.Е., д.м.н., проф., Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Москва, Россия

КОТЕНКО К.В., академик РАН, д.м.н., проф., Российский научный центр хирургии им. академика Б.В. Петровского, Москва, Россия

ЛЯДОВ К.В., академик РАН, д.м.н., проф., Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Россия

МОКРЫШЕВА Н.Г., академик РАН, д.м.н., проф., Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии им. ак. И.И. Дедова Минздрава России, Москва, Россия

НАРКЕВИЧ И.А., д.ф.н., проф., Санкт-Петербургская государственная химико-фармацевтическая академия, Санкт-Петербург, Россия

НИКИТЮК Д.Б., академик РАН, д.м.н., проф., Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

ОНИЩЕНКО Г.Г., академик РАН, д.м.н., проф., Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Россия

ПОНОМАРЕНКО Г.Н., член-корр. РАН, д.м.н., проф., Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта Минтруда России, Санкт-Петербург, Россия

РАЗУМОВ А.Н., академик РАН, д.м.н., проф., Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

РАХМАНИН Ю.А., академик РАН, д.м.н., проф., Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью Минздрава России, Москва, Россия

СТАРОДУБОВ В.И., академик РАН, д.м.н., проф., Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения Минздрава России, Москва, Россия

ТУТЕЛЬЯН В.А., академик РАН, д.м.н., проф., Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

ХАБРИЕВ Р.У., академик РАН, д.м.н., проф., Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья им. Н.А. Семашко, Москва, Россия

РЕДАКЦИЯ

НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР

АПХАНОВА Т.В., д.м.н., Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

ЕФРЕМОВА Е.С., к.ф.н., Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

РЕДАКТОР

МИЛОЙКОВИЧ Т.П., Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

ПЕРЕВОДЧИКИ

ГАЙНАНОВА Б.А., Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

БУЛАТОВ В.П., Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия



УЧРЕДИТЕЛЬ и ИЗДАТЕЛЬ

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России
<https://nmicrk.ru/>



ПАРТНЕР

Национальная ассоциация экспертов по санаторно-курортному лечению
<https://sankur.expert/>

Журнал основан в 2002 году

Периодичность: 6 раз в год

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых журналов Высшей аттестационной комиссии. Журнал представлен в следующих международных базах данных и информационно-справочных изданиях: Scopus, DOAJ, RSCI, eLIBRARY.RU, ROAD, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, Russian State Library, SHERPA RoMEO, Portico.

АДРЕС УЧРЕДИТЕЛЯ, ИЗДАТЕЛЯ И РЕДАКЦИИ

Россия, 121099, г. Москва, ул. Новый Арбат, 32,
Тел.: +7 (499) 277-01-05 (доб. 1151);
E-mail: vvm@nmicrk.ru, www.vvmr.ru
Подписка: Объединенный каталог «Пресса России». Газеты и журналы.



Больше информации на нашем сайте:
www.vvmr.ru

Информация предназначена для специалистов здравоохранения.
© 2026, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России. Журнал распространяется по лицензии CC BY-NC-SA 4.0.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Регистрационный номер ПИ № ФС 77-84143 от 28.10.2022.

Подписано в печать 16.04.2026.
Выход в свет 23.04.2026.
Формат 640x900 1/8.
Бумага мелованная 115 г/м².
Печать офсетная.
Тираж 1000 экз. Заказ № 20260331.

Журнал распространяется на территории Российской Федерации. Свободная цена. Журнал подготовлен в печать и отпечатан в издательстве ООО «ПРАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА». 115201, Москва, 1-й Котляковский пер., д. 3 115516, Москва, а/я 20, тел.: +7 (495) 324-93-29 E-mail: medprint@mail.ru

Спонсор выпуска: Общество с ограниченной ответственностью «Интерфин»

BULLETIN OF REHABILITATION MEDICINE

Vestnik Vosstanovitel'noj Mediciny

Vol. 25, No. 2-2026

EDITOR-IN-CHIEF

NATALIA N. ZUBAREVA, D.Sc. (Econ.), Associate Professor, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

DEPUTY EDITORS-IN-CHIEF

Tatiana V. KONCHUGOVA, D.Sc. (Med.), Professor, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

UGO CARRARO, Professor, University of Padua, Padua, Italy

EDITORIAL BOARD

Lev G. AGASAROV, D.Sc. (Med.), Professor, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

Lyudmila A. BELOVA, D.Sc. (Med.), Professor, Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia

Kirill A. BERDYUGIN, D.Sc. (Med.), Professor of the Russian Academy of Sciences, V.D. Chaklin Ural Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Ekaterinburg, Russia

Anatoly T. BYKOV, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, Kuban State Medical University, Sochi, Russia

Larisa A. GABUEVA, D.Sc. (Econ.), Professor, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

Elena V. GAMEEVA, D.Sc. (Med.), Professor, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

Marina Yu. GERASIMENKO, D.Sc. (Med.), Professor, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

Vadim D. DAMINOV, D.Sc. (Med.), N.I. Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow, Russia

Mikhail V. KIZEEV, PhD (Med.), N.A. Semashko National Research Institute of Public Health, Moscow, Russia

Denis V. KOVLEN, D.Sc. (Med.), Associate Professor, S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

Olga M. KONOVA, D.Sc. (Med.), Associate Professor, National Medical Research Center for Children's Health, Moscow, Russia

Elena V. KOSTENKO, D.Sc. (Med.), Professor, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Elena A. KURNYAVKINA, PhD (Med.), Professor, Sanatorium Krasnozersky, Novosibirsk, Russia

Mikhail Yu. MARTYNOV, D.Sc. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Mikhail V. NIKITIN, D.Sc. (Med.), D.Sc. (Econ.), National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

Marina A. RASSULOVA, D.Sc. (Med.), Professor, Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

Nino V. SICHINAVA, D.Sc. (Med.), Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

Dmitriy V. SKVORTSOV, D.Sc. (Med.), Professor, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Elena F. TUROVININA, D.Sc. (Med.), Professor, Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

Maya A. KHAN, D.Sc. (Med.), Professor, Filatov Children's Hospital of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

Svetlana E. KHATKOVA, D.Sc. (Med.), Professor, National Medical Research Center for Treatment and Rehabilitation Center, Moscow, Russia

Vladimir V. KHRAMOV, D.Sc. (Med.), Professor, N.G. Chernyshevsky Saratov National Research University, Saratov, Russia

Maxim Yu. YAKOVLEV, D.Sc. (Med.), National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

Alexander V. YASHKOV, D.Sc. (Med.), Professor, Samara State Medical University, Samara, Russia

Denis BOURGEOIS, PhD (Med.), Professor, Claude Bernard University Lyon 1, Lyon, France

Pedro CANTISTA, Professor, Medical Hydrology and Climatology, University of Porto, Porto, Portugal

Muft Zeki KARAGULLE, Professor, Istanbul University, Istanbul, Turkey

Stella ODOBESKU, D.Sc. (Med.), Professor, Diomid Gherman Institute of Neurology and Neurosurgery, Chisinau, Moldova

Christian F. ROQUES, Professor, Paul Sabatier University — Toulouse III, Toulouse, National Academy of Medicine, Paris, France

Luigi TESIO, Professor, Department of Neurorehabilitation Sciences Istituto Auxologico Italiano IRCCS, Milano, Italy

CHAIRS OF THE EDITORIAL COUNCIL

Larisa A. MARCHENKOVA, D.Sc. (Med.), National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

Francisco MARAVER, D.Sc. (Med.), Professor, Complutense University of Madrid, Madrid, Spain

EDITORIAL COUNCIL

Victoria A. BADTIEVA, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

Tatyana T. BATISHEVA, D.Sc. (Med.), Professor, Scientific and Practical Center for Child Psychoneurology of the Department of Children's Health Care, Moscow, Russia

Sergey A. BOITSOV, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, E.I. Chazov National Medical Research Center of Cardiology, Moscow, Russia

Igor V. BUKHTIYAROV, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, Izmerov Research Institute of Occupational Medicine, Moscow, Russia

Andrey V. GRECHKO, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, Federal Scientific and Clinical Center for Resuscitation and Rehabilitology, Moscow, Russia

Mikhail D. DIDUR, D.Sc. (Med.), Professor, N.P. Bekhtereva Institute of Human Brain of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Oksana M. DRAPKINA, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, National Research Center for Therapy and Preventive Medicine, Moscow, Russia

Galina E. IVANOVA, D.Sc. (Med.), Professor, Federal Scientific and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitation, Moscow, Russia

Konstantin V. KOTENKO, Academician of the Russian Academy of Science, D.Sc. (Med.), Professor, B.V. Petrovsky Russian Scientific Sciences of Surgery, Moscow, Russia

Konstantin V. LYADOV, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

Natalya G. MOKRYSHEVA, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, I.I. Dedov National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow, Russia

Igor A. NARKEVICH, D.Sc. (Pharm.), Professor, St. Petersburg State Chemical Pharmaceutical Academy, St. Petersburg, Russia

Dmitriy B. NIKITYUK, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russia

Gennady G. ONISHCHENKO, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

Gennady N. PONOMARENKO, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, G.A. Albrecht Federal Sciences Centre for Rehabilitation of the Disabled Ministry of Labour of Russia, St. Petersburg, Russia

Aleksandr N. RAZUMOV, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

Yuri A. RAKHMANIN, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risk, Moscow, Russia

Vladimir I. STARODUBOV, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, Central Research Institute of Health Organization and Informatization, Moscow, Russia

Viktor A. TUTELYAN, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russia

Ramil U. KHABRIEV, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Med.), Professor, N.A. Semashko National Research Institute of Public Health, Moscow, Russia

EDITORIAL OFFICE

SCIENTIFIC EDITOR

Tatiana V. APKHANOVA, D.Sc. (Med.), National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

MANAGING EDITOR

Elena S. EFREMOVA, PhD (Philol.), National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

EDITOR

Tatiana P. MYLOYKOVICH, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

TRANSLATORS

Bella A. GAYNANOVA, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

Viktor P. BULATOV, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia



OWNER and PUBLISHER

National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia
<https://nmicrk.ru/>



SPONSOR

National Association of Experts in Spa Treatment, Moscow, Russia
<https://sankur.expert/>

Journal was founded in 2002

Publication frequency: 6 issues per year

Journal is included in the list of reviewed scientific editions recommended by Higher Attestation Commission.

The journal is indexed in the following databases: Scopus, DOAJ, RSCI, eLIBRARY.RU, ROAD, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, Russian State Library, SHERPA RoMEO, Portico.

ADDRESS OF THE OWNER, PUBLISHER AND EDITORIAL OFFICE

32, Novy Arbat Street, Moscow, Russia, 121099,
tel.: +7 (499) 277-01-05 (1151);

E-mail: vvm@nmicrk.ru; www.vvmr.ru

Distribution: Union catalogue.

Russian Press / Newspapers and journals.

Index: 71713, tel.: +7 (495) 172-46-47.



More information on our website:
www.vvmr.ru

The information is intended for healthcare professionals.

© 2026, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

The journal is distributed under the terms of CC BY-NC-SA 4.0 license.

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media. Registration number PI No. FS 77-84143 dated 28.10.2022.

Signed to print on 16.04.2026.

Published 23.04.2026.

640x900 1/8 format.

Coated paper 115 g/m².

Offset printing.

Circulation 1000 copies. Order No. 20260331.

The Journal is distributed throughout the territory of the Russian Federation. Free price.

The Journal was typeset and printed in "PRACTICAL MEDICINE" LLC

1-i Kotlyakovskii per. 3, Moskva, 115201,

Russia P.O. box 20, Moscow, 115516, Russia.

Tel.: +7 (495) 324-93-29

E-mail: medprint@mail.ru

Issue Sponsor: Interfin Limited Liability Company

СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРА

СТАТЬИ

- ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ** 8
- Влияние полипептидного ангиопротектора на реабилитацию пациентов с сахарным диабетом 2-го типа и атеросклерозом артерий нижних конечностей, перенесших инфаркт миокарда: проспективное контролируемое исследование**
Симонян М.А., Марченкова Л.А., Васильева В.А.
- ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ** 23
- Дисфункциональная вариативность постинсультной спастической акинезии в свете реабилитационной динамики: ретроспективное наблюдательное сравнительное исследование**
Захаров Я.Ю., Белкин А.А., Поздняков Д.Г.
- ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ** 33
- Оценка прорегенераторного действия секрета мезенхимальных стромальных клеток пантов алтайского марала: результаты экспериментального исследования**
Ерёмин П.С., Марков П.А.
- ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ** 42
- Походка у детей 10–13 лет со спастической диплегией после многоуровневых ортопедических вмешательств: ретроспективное исследование**
Долганова Т.И., Гатамов О.И., Томов А.Д., Долганов Д.В., Насипжанов О.Ф., Попков Д.А.
- ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ** 53
- Эффективность респираторной реабилитации в профилактике легочных осложнений у пациентов после геометрической реконструкции левого желудочка: проспективное исследование**
Затенко М.А., Мамалыга М.Л., Алшибая М.М., Джитава Т.Г., Лобачева Г.В., Данилов С.А.
- ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ** 63
- Вариабельность сердечного ритма в оценке стресса и автономной регуляции: современное состояние метода, клинические применения и перспективы. Обзор литературы**
Лыков Ю.А., Кузюкова А.А., Марченкова Л.А., Королев Ю.Н., Рожкова Е.А., Зубарева Н.Н.
- ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ** 77
- Возможности персонализации физической реабилитации по результатам кардиореспираторного нагрузочного тестирования для гериатрических пациентов: обзор**
Арефьева М.С., Колесникова Е.А., Рунихина Н.К., Ерусланова К.А., Ткачева О.Н.
- ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ** 91
- Локальная криотерапия после эндопротезирования коленного сустава. Какой способ выбрать? Обзор литературы**
Казанцев Д.И., Очкуренко А.А., Пелеганчук В.А., Батрак Ю.М.
- ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ** 99
- Тренировка по методу Фартлек как динамичный подход к улучшению физической формы спортсменов, связанной с навыками: обзор**
Котадия Н., Шах С.Ф.
- В ЦЕНТРЕ ВНИМАНИЯ** 109
- IX Международный конгресс «Бальнеотерапия в программах санаторно-курортного лечения и медицинской реабилитации»**

CONTENTS

ARTICLES

- ORIGINAL ARTICLE** 8
- The Effect of a Polypeptide Angioprotector on the Rehabilitation of Patients with Type 2 Diabetes Mellitus and Atherosclerosis of the Arteries of the Lower Extremities Who Have Suffered Myocardial Infarction: A Prospective Controlled Trial**
 Mariam A. Simonyan, Larisa A. Marchenkova, Valeriia A. Vasileva
- ORIGINAL ARTICLE** 23
- Dysfunctional Variability of Post-Stroke Spastic Akinesia in Light of Rehabilitation Dynamics: A Retrospective Observational Comparative Study**
 Yakov Yu. Zakharov, Andrey A. Belkin, Dmitry G. Pozdnyakov
- ORIGINAL ARTICLE** 33
- Assessment of the Pro-Regenerative Activity of the Altai Maral Antler Mesenchymal Stromal Cell Secretome: Experimental Study Results**
 Petr S. Eremin, Pavel A. Markov
- ORIGINAL ARTICLE** 42
- Gait in Children Aged 10–13 Years with Spastic Diplegia after Multilevel Orthopedic Interventions: A Retrospective Study**
 Tamara I. Dolganova, Orkhan I. oglu Gatamov, Akhmed D. Tomov, Dmitry V. Dolganov, Orifzhan F. Nasipzhanov, Dmitry A. Popkov
- ORIGINAL ARTICLE** 53
- Effectiveness of Respiratory Rehabilitation in Preventing Pulmonary Complications in Patients after Left Ventricular Geometric Reconstruction: A Prospective Study**
 Mark A. Zatenko, Maxim L. Mamalyga, Mikhail M. Alshibaya, Tamara G. Djitava, Galina V. Lobacheva, Sergei A. Danilov
- REVIEW** 63
- Heart Rate Variability in Stress Assessment and Autonomic Regulation: Current State of the Art, Clinical Applications and Outlook. A Literature Review**
 Yuri A. Lykov, Anna A. Kuzuykova, Larisa A. Marchenkova, Yury N. Korolev, Elena A. Rozhkova, Natalia N. Zubareva
- REVIEW** 77
- Personalizing Physical Rehabilitation for Geriatric Patients Using Cardiorespiratory Exercise Testing: A Review**
 Mariia S. Arefeva, Elena A. Kolesnikova, Nadezda K. Runikhina, Ksenia A. Eruslanova, Olga N. Tkacheva
- REVIEW** 91
- Local Cryotherapy after Total Knee Arthroplasty: Which Method to Choose? A Literature Review**
 Dmitry I. Kazantsev, Alexander A. Ochkurenko, Vladimir A. Peleganchuk, Yuri M. Batrak
- REVIEW** 99
- Fartlek Training as a Dynamic Approach to Improving Skill-Related Fitness in Athletes: A Review**
 Nidhi Kotadiya, Sarfraznawaz F. Shah
- IN THE FOCUS OF ATTENTION** 109
- IX International Congress "Balneotherapy in Health Resort Treatment and Medical Rehabilitation Programs"**

Оригинальная статья / Original article

DOI: <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-8-22>

Влияние полипептидного ангиопротектора на реабилитацию пациентов с сахарным диабетом 2-го типа и атеросклерозом артерий нижних конечностей, перенесших инфаркт миокарда: проспективное контролируемое исследование

 Симонян М.А.,  Марченкова Л.А.,  Васильева В.А.*

Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) остаются ведущей причиной смертности в Российской Федерации, при этом острый инфаркт миокарда (ОИМ) занимает особое место в структуре инвалидизации населения. Наличие сахарного диабета 2-го типа (СД2) у пациентов, перенесших ОИМ, встречается в 30–45 % случаев и ассоциировано с худшим прогнозом.

ЦЕЛЬ. Научное обоснование и оценка эффективности применения полипептидного ангиопротектора для повышения результативности медицинской реабилитации у пациентов с СД2 и диабетической ангиопатией нижних конечностей, перенесших ОИМ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Проведено проспективное открытое контролируемое исследование в двух параллельных группах на базе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России в 2025 г. В исследование включены 58 пациентов с СД2 и инструментально подтвержденной диабетической ангиопатией нижних конечностей через 2,5 [2,0; 3,0] месяца после ОИМ. В рамках статистического анализа данных пациенты были разделены на 2 группы: основную группу ($n = 29$; базовый курс реабилитации + полипептидный ангиопротектор по 5 мг внутримышечно 2 раза в неделю; 10 инъекций) и группу сравнения ($n = 29$; только базовый курс реабилитации). Оценка эффективности включала лабораторные, функциональные и инструментальные методы исходно, через 15 и 50 дней.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В основной группе достигнуто достоверное улучшение липидного профиля (снижение липопротеинов низкой плотности; $p = 0,04$), N-терминального фрагмента натрийуретического пропептида мозгового (NT-proBNP) ($p = 0,004$) и ИЛ-6 ($p = 0,01$). Дистанция безболевого ходьбы увеличилась ($p < 0,001$), балл по опроснику нарушения ходьбы (Walking Impairment Questionnaire — WIQ) увеличен ($p < 0,001$). Зарегистрирован прирост скорости проведения по *n. tibialis* на 6 % ($p = 0,008$) и пиковой силы мышц голени на 14 % ($p < 0,001$). По данным кардиопульмонального тестирования, максимальная мощность нагрузки возросла на 24 % ($p < 0,001$), пиковое потребление кислорода — на 12 % ($p = 0,002$). В группе сравнения динамика была минимальной или отсутствовала.

ОБСУЖДЕНИЕ. Полученные результаты демонстрируют, что включение полипептидного ангиопротектора в программу реабилитации обеспечивает мультисистемный положительный эффект: коррекцию дислипидемии, эндотелиальной дисфункции и системного воспаления, что создает основу для улучшения периферического кровообращения и повышения толерантности к физическим нагрузкам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Включение полипептидного ангиопротектора в комплексную программу II этапа медицинской реабилитации пациентов с СД2 и диабетической ангиопатией нижних конечностей, перенесших ОИМ, позволяет достоверно повысить эффективность восстановительного лечения за счет коррекции метаболических нарушений, улучшения периферической гемодинамики, нейромышечной проводимости и увеличения аэробных резервов, что сопровождается значимым улучшением качества жизни.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: медицинская реабилитация, острый инфаркт миокарда, сахарный диабет 2-го типа, диабетическая ангиопатия, полипептиды сосудов крупного рогатого скота, ангиопротектор, кардиопульмональное тестирование, качество жизни, толерантность к физической нагрузке

Для цитирования / For citation: Симонян М.А., Марченкова Л.А., Васильева В.А. Влияние полипептидного ангиопротектора на реабилитацию пациентов с сахарным диабетом 2-го типа и атеросклерозом артерий нижних конечностей, перенесших инфаркт миокарда: проспективное контролируемое исследование. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(2):8–22. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-8-22> [Simonyan M.A., Marchenkova L.A., Vasileva V.A. The Effect of a Polypeptide Angioprotector on the Rehabilitation of Patients with Type 2 Diabetes Mellitus and Atherosclerosis of the Arteries of the Lower Extremities Who Have Suffered Myocardial Infarction: A Prospective Controlled Trial. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(2):8–22. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-8-22> (In Russ.)]

* Для корреспонденции: Васильева Валерия Александровна, E-mail: valeri08.00@bk.ru, vasilevava@nmicrk.ru

Статья получена: 20.02.2026
Статья принята к печати: 05.03.2026
Статья опубликована: 23.04.2026

The Effect of a Polypeptide Angioprotector on the Rehabilitation of Patients with Type 2 Diabetes Mellitus and Atherosclerosis of the Arteries of the Lower Extremities Who Have Suffered Myocardial Infarction: A Prospective Controlled Trial

 Mariam A. Simonyan,  Larisa A. Marchenkova,  Valeriia A. Vasileva*

National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Cardiovascular diseases remain the leading cause of mortality in the Russian Federation, with acute myocardial infarction (AMI) accounting for a significant proportion of population disability. The presence of type 2 diabetes mellitus (T2DM) in patients after AMI occurs in 30–45 % of cases and is associated with a worse prognosis.

AIM. To provide a scientific rationale and evaluate the efficacy of a polypeptide angioprotector in improving the outcomes of medical rehabilitation in patients with T2DM and diabetic angiopathy of the lower extremities who have suffered an AMI.

MATERIAL AND METHODS. A prospective, open-label, controlled study was conducted in two parallel groups at the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology in 2025. The study included 58 patients with T2DM and instrumentally confirmed diabetic angiopathy of the lower extremities 2.5 [2.0; 3.0] months after AMI. For statistical data analysis, patients were divided into 2 groups: the main group ($n = 29$; standard rehabilitation course + polypeptide angioprotector 5 mg intramuscularly twice a week; 10 injections) and the comparison group ($n = 29$, standard rehabilitation course only). The efficacy was assessed using laboratory, functional, and instrumental methods at baseline, after 15 days, and after 50 days.

RESULTS. The main group achieved significant improvements in the lipid profile (LDL reduction; $p = 0.04$), NT-proBNP ($p = 0.004$), and IL-6 ($p = 0.01$). Pain-free walking distance increased ($p < 0.001$), and the Walking Impairment Questionnaire (WIQ) score improved ($p < 0.001$). There was also an increase in *n. tibial* conduction velocity of 6 % ($p = 0.008$) and in peak calf muscle strength of 14 % ($p < 0.001$). According to cardiopulmonary exercise testing, maximum workload increased by 24 % ($p < 0.001$), and peak oxygen consumption increased by 12 % ($p = 0.002$). In the control group, the changes were minimal or absent.

DISCUSSION. The findings show that incorporation of a polypeptide angioprotector in the rehabilitation program provides a multisystem positive effect: correction of dyslipidemia, endothelial dysfunction, and systemic inflammation. This lays the groundwork for improving peripheral circulation and increasing exercise tolerance.

CONCLUSION. Incorporating a polypeptide angioprotector into the comprehensive phase II medical rehabilitation program for patients with T2DM and diabetic angiopathy of the lower extremities after AMI significantly improves the effectiveness of restorative treatment. This is achieved by correcting metabolic disorders, improving peripheral hemodynamics and neuromuscular conduction, and increasing aerobic capacity, resulting in a notable improvement in quality of life.

KEYWORDS: medical rehabilitation, acute myocardial infarction, type 2 diabetes mellitus, diabetic angiopathy, bovine vascular polypeptides, angioprotector, cardiopulmonary exercise testing, quality of life, exercise tolerance

For citation: Simonyan M.A., Marchenkova L.A., Vasileva V.A. The Effect of a Polypeptide Angioprotector on the Rehabilitation of Patients with Type 2 Diabetes Mellitus and Atherosclerosis of the Arteries of the Lower Extremities Who Have Suffered Myocardial Infarction: A Prospective Controlled Trial. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2026; 25(2):8–22. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-8-22> (In Russ.).

* **For correspondence:** Valeriia A. Vasileva, E-mail: valeri08.00@bk.ru, vasilevava@nmicrk.ru

Received: 20.02.2026

Accepted: 05.03.2026

Published: 23.04.2026

ВВЕДЕНИЕ

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) продолжают занимать лидирующие позиции в структуре смертности населения Российской Федерации и большинства развитых стран мира [1]. Среди всех форм ССЗ особую медико-социальную значимость представляет острый инфаркт миокарда (ОИМ), последствия которого приводят к существенному снижению качества жизни, инвалидизации и преждевременной смерти пациентов [2]. По данным Министерства здравоохранения Российской Федерации, ежегодно в стране регистрируется более 200 тысяч новых случаев ОИМ, при этом значительная часть пациентов переносит заболевание в трудоспособном возрасте [3]. Ситуация усугубляется высокой коморбидностью пациентов с ишемической болезнью

сердца. Сахарный диабет 2-го типа (СД2) является одним из наиболее распространенных и прогностически неблагоприятных сопутствующих заболеваний. Распространенность СД2 среди пациентов с ОИМ достигает 30–45 %, и данная ассоциация взаимно отягощает течение обоих заболеваний [4, 5]. Наличие СД2 у пациента, перенесшего ОИМ, ассоциировано с более высоким риском повторных сердечно-сосудистых событий, прогрессированием сердечной недостаточности и худшими отдаленными исходами [6]. Патогенетической основой неблагоприятного прогноза выступает диабетическая ангиопатия, генерализованное поражение сосудистого русла, включающее как микроциркуляторное русло, так и магистральные артерии, в том числе артерии нижних конечностей [7]. Сочетание коронарного

атеросклероза (с манифестацией в виде ОИМ) с облитерирующим атеросклерозом артерий нижних конечностей (диабетическая ангиопатия нижних конечностей) формирует фенотип пациента с крайне высоким сердечно-сосудистым риском, требующий особого подхода к медицинской реабилитации [8]. Наличие диабетической ангиопатии нижних конечностей лимитирует физическую активность пациентов из-за болевого синдрома (перемежающейся хромоты), что в свою очередь ограничивает возможность проведения эффективных тренировок в процессе реабилитации [9].

Современные подходы к медицинской реабилитации пациентов после ОИМ базируются на мультидисциплинарном принципе и включают физические тренировки, психологическую поддержку и обучение в «школах для пациентов» [10, 11]. Эффективность физических тренировок у пациентов с ишемической болезнью сердца установлена в многочисленных исследованиях и мета-анализах: доказано повышение толерантности к физической нагрузке, улучшение качества жизни и снижение риска повторных госпитализаций [12]. Однако у коморбидных пациентов с СД2 и диабетической ангиопатией нижних конечностей стандартные программы реабилитации часто оказываются недостаточно эффективными. Наличие выраженной ишемии нижних конечностей или полинейропатии не позволяет достичь целевых параметров тренировок, что диктует необходимость поиска дополнительных методов фармакологической поддержки, направленных на улучшение трофики тканей и микроциркуляции [13]. В последние десятилетия активно изучается роль пептидных биорегуляторов в восстановительной медицине. Особый интерес представляют полипептидные препараты, выделенные из сосудов крупного рогатого скота, обладающие ангиопротекторными и репаративными свойствами [14]. Имеются данные об их положительном влиянии на эндотелиальную функцию, липидный профиль и процессы фибринолиза у пациентов с облитерирующими заболеваниями артерий [14, 15]. В экспериментальных работах показана способность данных препаратов снижать интенсивность перекисного окисления липидов, стабилизировать клеточные мембраны и улучшать микроциркуляцию [16, 17]. Однако, несмотря на теоретическую обоснованность, до настоящего времени остаются недостаточно изученными вопросы эффективности и безопасности применения полипептидных регуляторов сосудов в комплексной программе медицинской реабилитации у сложной категории пациентов с тройной коморбидностью: перенесенный ОИМ, СД2 и диабетическая ангиопатия нижних конечностей. Не определены оптимальные схемы включения данных препаратов в реабилитационный процесс, не оценивалось их влияние на ключевые параметры функционального восстановления: толерантность к физической нагрузке (по данным кардиопульмонального тестирования), параметры периферической гемодинамики, нейромышечная проводимость и качество жизни [18–20].

Предполагается, что включение полипептидного ангиопротектора в программу II этапа медицинской реабилитации пациентов с СД2 и диабетической ангиопатией нижних конечностей, перенесших ОИМ, позволит достоверно повысить эффективность восстановительного лечения за счет коррекции эндотелиальной дисфункции,

улучшения реологических свойств крови и оптимизации периферического кровообращения, что найдет отражение в положительной динамике клинико-функциональных, биохимических и инструментальных показателей.

ЦЕЛЬ

Научное обоснование и изучение эффективности применения ангиопротектора на основе регуляторных пептидов сосудов крупного рогатого скота для повышения эффективности медицинской реабилитации пациентов с СД2 и диабетической ангиопатией нижних конечностей, перенесших ОИМ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России (Центр) в 2025 г. Дизайн работы был составлен согласно требованиям CONSORT к нефармакологическим исследованиям, а также принципам надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice — GCP). Проведено проспективное открытое контролируемое исследование в двух параллельных группах.

Критерии включения. Исследуемую выборку формировали из пациентов обоего пола в возрасте от 30 до 70 лет включительно, проходящих 2-й этап медицинской реабилитации в стационаре Центра по поводу ОИМ, диагностированного в период от 1 до 3 месяцев до включения в исследование с наличием диагностированного СД2 (гликированный гемоглобин — в диапазоне до 8,5 %) и наличием в том числе инструментально подтвержденного атеросклероза артерий нижних конечностей (диабетическая ангиопатия), подписавших информированное согласие на участие в исследовании и поступивших для проведения курса медицинской реабилитации.

Критериями невключения в исследование считали: отказ подписать информированное согласие на участие в исследовании; заболевания, в том числе инфекционные, в острой стадии; хронические заболевания в стадии обострения и декомпенсации; установленную первую и вторую клинические группы диспансерного учета онкологического заболевания; наличие аллергии/повышенной чувствительности к любому компоненту лекарственного препарата, используемого в лечении; прием препаратов, указанных в разделе «Запрещенное сопутствующее лечение», до включения в исследование; употребление наркотиков, алкоголя более 2 алкогольных единиц для мужчин и более 1 алкогольной единицы для женщин в сутки.

С учетом критериев включения и невключения в исследование вошло 58 пациентов (34 мужчины и 24 женщины) в возрасте от 36 до 70 лет (медиана возраста — 58,0 [42,0; 67,0] года), поступивших на II этап медицинской реабилитации после перенесенного ОИМ (срок после перенесенного заболевания — 2,5 [2,0; 3,0] месяца). У всех участников был установлен диагноз СД2 (медиана длительности заболевания составила 6,0 [2,0; 8,0] года, медиана уровня HbA1c — 7,3 [6,8; 8,1] %). Все включенные в исследование пациенты имели инструментально подтвержденный атеросклероз артерий нижних конечностей.

В рамках статистического анализа данных пациенты были разделены на 2 группы.

Основную группу составили 29 пациентов, которые получали терапию лекарственным ангиопротектором Славинорм (полипептиды сосудов крупного рогатого скота) при прохождении базового курса медицинской реабилитации.

Группу сравнения составили 29 пациентов, сравнимых по основным параметрам с пациентами основной группы, проходивших базовый курс медицинской реабилитации и не получавших терапию препаратом полипептидного ангиопротектора.

Период наблюдения для каждого пациента в исследовании составлял 50–51 день, в том числе скрининг и включение в программу исследования — 1 день, проведение курса реабилитации на фоне назначения препарата полипептидного регулятора, оценка результатов — 15 дней, оценка результатов лечения — 50-й день.

Базовый курс медицинской реабилитации для основной группы и группы сравнения проводился в условиях круглосуточного стационара в течение 15 дней и включал 6 методов немедикаментозного лечения:

- Лазеротерапия на область подколенных ямок и локтевых ямок для улучшения кровообращения и нервной проводимости в пораженных конечностях. 5 + 5 минут. Количество процедур — 14.
- Воздействие поляризованным светом (Биоптрон) для ускорения восстановительных и обменных процессов, снижения болевого синдрома, улучшения кровообращения. Параметры воздействия: на область сосудистых стволов локтевых, подколенных ямок — по 5 минут на поле воздействия, на расстоянии — 10–12 минут от области воздействия. Количество процедур — 10.
- Воздействие низкоинтенсивным лазерным излучением при заболеваниях сердечно-сосудистой системы для улучшения микроциркуляции. Параметры воздействия: частота — 80 Гц, экспозиция — 5 минут, методика контактная на область проекции сосудистых пучков. Количество процедур — 10.
- Спелеовоздействие (групповое) для повышения адаптивных возможностей организма — 30 минут. Количество процедур — 10.
- Сухие углекислые ванны, через день, длительностью 10 минут, концентрация CO₂ — 25–30 %. Количество процедур — 8.
- Групповое занятие лечебной физкультурой для повышения толерантности к физической нагрузке, длительность — 30 минут. Количество процедур — 14.

Пациенты основной группы на фоне базового курса медицинской реабилитации получали **терапию препаратом** полипептидов сосудов крупного рогатого скота в виде лиофилизата для приготовления раствора для внутримышечного введения (5 мг)¹.

1 Славинорм. Полипептиды сосудов крупного рогатого скота. ООО «Пептидпро», Россия. Номер: ЛП-№(005799)-(РГ-РУ) от 17.06.2024. Клинико-фармакологическая группа: ангиопротектор. Фармакотерапевтическая группа: ангиопротекторы. Лиофилизат для приготовления раствора для внутримышечного введения. 5 мг.

В соответствии с информацией, представленной в общей характеристике лекарственного препарата, Славинорм является пептидным регулятором, который запускает каскад метаболических реакций, ведущих к снижению перекисного окисления липидов, вследствие чего нормализует функцию эндотелия сосудистой стенки, препятствует развитию атеросклероза за счет улучшения коэффициента атерогенности, увеличения содержания липопротеидов высокой плотности и снижения уровня липопротеидов низкой плотности, триглицеридов крови. Предупреждает развитие гиперкоагуляции за счет влияния на процессы свертывания крови и фибринолиза, в результате чего восстанавливает микроциркуляцию в органах и тканях при различных заболеваниях и патологических состояниях, обусловленных атеросклеротическим поражением сосудов.

Применение полипептидного ангиопротектора в составе комплексной терапии достоверно повышает лодыжечно-плечевой индекс, что является объективным показателем улучшения кровообращения (уменьшения степени ишемии) в нижних конечностях при облитерирующих заболеваниях, а также приводит к достоверному снижению симптомов перемежающейся хромоты: увеличению дистанции безболевого ходьбы и максимально проходимого расстояния в сравнении с плацебо у пациентов с хроническими облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей [21].

Препарат вводили внутримышечно, восстановленное содержимое одного флакона (5 мг) — 1 раз в сутки 2 раза в неделю. Курс лечения составлял 10 инъекций в течение 5 недель (сначала на фоне базового курса медицинской реабилитации в стационаре в течение 2 недель, затем амбулаторно, после выписки из стационара, в течение 3 недель).

Также в течение всего периода наблюдения проводилась медикаментозная терапия сопутствующих заболеваний (сахароснижающая терапия, гипотензивная терапия пациентам с артериальной гипертензией, статины при дислипидемии).

Комплекс обследования пациентов в обеих группах включал:

- сбор жалоб и анамнеза;
- общий клинический осмотр;
- измерение роста и массы тела с последующим расчетом индекса массы тела (кг/м²);
- проведение лабораторных исследований: определение глюкозы в крови, оценка липидограммы, коагулограммы, NT-proBNP, ИЛ-1, ИЛ-6, ИЛ-8;
- проведение функциональных тестов: тест 10-метровой ходьбы (м), тест «Встань и иди» (с), оценка безболевого ходьбы (м), оценка базовой функциональной активности (общий балл), подсчет индекса Бартела (Barthel Index) (общий балл), который оценивает базовую повседневную активность (самообслуживание, мобильность), оценка параметров ходьбы по опроснику нарушения ходьбы (Walking Impairment Questionnaire — WIQ) (общий балл), оценка качества жизни по результатам заполнения пациентом опросника SF-36 (оценка суммарных показателей в баллах от 0 до 100, где 100 — наилучшее состояние: физический показатель (PF — физическое функционирование, RP — ролевое

функционирование из-за физических проблем, BP — боль, GH — общее здоровье) и психологический показатель (MH — психическое здоровье));

- проведение инструментальных исследований: видеоанализ походки, биомеханическое исследование силы мышц (H) и биомеханики движений нижних конечностей (пиковая сила мышц голени), эхокардиография (фракция выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ; %)), кардиопульмональное тестирование (кардиопульмональный нагрузочный тест — наиболее объективный метод оценки толерантности к физической нагрузке и функционального резерва кардиореспираторной системы. Ключевые показатели: максимальная мощность нагрузки (Вт), время до появления стенокардии (с) и пиковое потребление кислорода (VO_{2peak}) — интегральный маркер физической тренированности и эффективности работы сердечно-сосудистой и дыхательной систем), электронейромиография нижних конечностей (скорость проведения импульса по *n. tibialis* (м/с)).

Контрольные обследования были выполнены сразу после завершения курса реабилитации (15-й день) и на 50–51-й день наблюдения.

Статистический анализ выполнен в программе Microsoft Statistica 10.0 с использованием параметрических и непараметрических методов. Когда выборка была репрезентативна и подчинялась нормальному закону распределения, значения приведены в виде среднего и стандартного отклонения $M \pm m$. В случае нерепрезентативной выборки, не подчиняющейся нормальным законам распределения, данные приведены в виде медианы и 25-го и 75-го квартилей (Me [Q1; Q3]).

Сравнение межгрупповых различий проводится с использованием *t*-критерия Стьюдента в случае, когда выборка подчиняется нормальному распределению, или *U*-критерия Манна — Уитни, если выборка не подчиняется нормальному распределению. Внутригрупповые сравнения (анализ динамики показателей) производятся с использованием парного *t*-критерия Стьюдента в случае, когда выборка подчиняется нормаль-

ному распределению, или критерия Вилкоксона, если выборка не подчиняется нормальному распределению.

Статистическая обработка данных производилась при помощи пакета прикладных программ SPSS 23. Количественные данные представлялись в виде Me [Q1; Q3]. Анализ различий динамики (до медицинской реабилитации и после нее) производился по критерию Вилкоксона и Verte.

При проверке статистических гипотез критический уровень значимости принимался равным 0,05.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено на заседании локального этического комитета ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России (Москва, Россия) (Протокол № 12 от 13.12.2024).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Базовые характеристики исследуемых групп

В научно-исследовательскую работу вошло 58 пациентов. В основную группу вошло 29 пациентов (из них 17 мужчин и 12 женщин) с установленным диагнозом СД2 длительностью 6,0 [2,0; 8,0] года и перенесенным ОИМ длительностью 2,5 [2,0; 3,0] месяца, получавших базовый курс реабилитации + полипептидный ангиопротектор (по 5 мг внутримышечно 2 раза в неделю, 10 инъекций). В группу сравнения вошло 29 пациентов (из них 17 мужчин и 12 женщин) с установленным диагнозом СД2 длительностью 5,5 [2,5; 8,5] года и перенесенным ОИМ длительностью 2,5 [2,0; 3,0] месяца (табл. 1), получавших только базовый курс реабилитации. Группы сопоставимы ($p > 0,05$) по полу, возрасту (медиана — ~58 лет), степени компенсации диабета (HbA1c ~7,4 %) и давности кардиального события (2,5 месяца) (табл. 1).

Влияние добавления полипептидного ангиопротектора к базовому курсу медицинской реабилитации на биохимические и метаболические показатели пациентов

При исследовании биохимических и метаболических показателей углеводного и липидного обмена

Таблица 1. Исходные характеристики исследуемых групп, Me [Q1; Q3]

Table 1. Baseline characteristics of the study groups, Me [Q1; Q3]

Параметры / Parameters	Основная группа / Main group (n = 29)	Группа сравнения / Comparison group (n = 29)	p
Мужчины/женщины / Men/Women	17/12	17/12	0,85
Возраст, годы / Age, years	58,4 [50,5; 64]	58,0 [42,0; 67,0]	0,85
Вес, кг / Weight, kg	84,1 ± 13,9	83,4 ± 11,8	0,7
Рост, см / Height, cm	164,4 [150,9; 174,3]	168,2 [160,5; 179,4]	0,5
Длительность СД2, лет / T2DM, years	6,0 [2,0; 8,0]	5,5 [2,5; 8,5]	0,91
Гликированный гемоглобин, HbA1c, % / Glycated hemoglobin, HbA1c, %	7,3 [6,8; 8,1]	7,5 [6,9; 8,2]	0,68
Срок после ОИМ, мес. / Time since AMI, months	2,5 [2,0; 3,0]	2,5 [2,0; 3,0]	0,95

Примечание: ОИМ — острый инфаркт миокарда, СД2 — сахарный диабет 2-го типа. Для сравнения величин использован *U*-критерий Манна — Уитни.

Note: AMI — acute myocardial infarction. T2DM — type 2 diabetes. The Mann — Whitney U-test was used to compare values.

нами были выявлены статистически значимые различия между группами. Хотя в группах не было отмечено статистически значимой динамики уровня атерогенных липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) ($p > 0,05$), в основной группе выявлено существенное повышение соотношения ЛПВП/ЛПНП (ЛПВП — липопротеины высокой плотности) на 37 %; $p = 0,0008$ по сравнению с исходным уровнем. При этом отношение ЛПВП/ЛПНП в основной группе через 50 дней стало существенно выше, чем в группе сравнения; $p = 0,039$ (табл. 2). Также в основной группе выявлено снижение тромбинового времени

($p = 0,02$), что может указывать на нормализацию фибринолитической активности и снижение гиперкоагуляции. Нами выявлено значимое снижение NT-proBNP (маркер сердечной недостаточности; $p = 0,004$) и ИЛ-6 (провоспалительного цитокина; $p = 0,01$). При этом в группе сравнения изменения были незначимыми (табл. 2).

Таким образом, применение лекарственного препарата полипептидов сосудов на фоне базовой реабилитации приводит к комплексному улучшению метаболического и воспалительного статуса: коррекции дислипидемии, снижению гиперкоагуляции, уменьшению

Таблица 2. Динамика биохимических показателей в исследуемых группах, Ме [Q1; Q3]
Table 2. Dynamics of biochemical parameters in the study groups, Me [Q1; Q3]

Параметры / Parameters	Период наблюдения / Observation period	Исследуемые группы / Study groups	
		Основная группа / Main group (n = 29)	Группа сравнения / Comparison group (n = 29)
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/L	Исходно / Baseline	7,8 [7,2; 10,3]	7,9 [7,3; 10,4]
	Через 50 дней / In 50 days	7,1 [6,8; 9,8]	7,7 [7,1; 10,2]
Холестерин общий, ммоль/л / Total cholesterol, mmol/L	Исходно / Baseline	3,4 [3,0; 3,8]	4,1 [3,9; 4,4]
	Через 50 дней / In 50 days	3,2 [3,0; 3,8] [*]	4,2 [4,0; 4,5]
Триглицериды, ммоль/л / Triglycerides, mmol/L	Исходно / Baseline	1,8 [1,3; 2,5]	2,1 [0,9; 1,4]
	Через 50 дней / In 50 days	1,7 [1,3; 2,3] [*]	2,2 [1,0; 1,5]
ЛПНП, ммоль/л / LDL, mmol/L	Исходно / Baseline	2,1 [1,5; 2,6]	2,2 [1,6; 2,7]
	Через 50 дней / In 50 days	2,1 [1,3; 2,5] ^{**}	2,1 [1,5; 2,6]
Соотношение ЛПВП/ЛПНП / HDL/LDL ratio	Исходно / Baseline	0,57 [0,45; 0,70]	0,50 [0,40; 0,65]
	Через 50 дней / In 50 days	0,78 [0,65; 0,90] ^{***}	0,57 [0,46; 0,68]
Фибриноген, г/л / Fibrinogen, g/L	Исходно / Baseline	3,5 [3,2; 4,4]	3,6 [3,3; 4,5]
	Через 50 дней / In 50 days	3,4 [3,1; 4,4]	3,5 [3,2; 4,4]
МНО / INR	Исходно / Baseline	1,0 [0,9; 1,2]	1,4 [0,9; 1,8]
	Через 50 дней / In 50 days	1,1 [0,9; 1,2] [*]	1,4 [1,1; 1,7]
Тромбиновое время, с / Thrombin time, s	Исходно / Baseline	3,5 [3,2; 4,4]	3,5 [3,2; 4,4]
	Через 50 дней / In 50 days	2,2 [1,8; 2,5] ^{**}	3,5 [2,9; 4,5]
Гомоцистеин, мкмоль/л / Homocysteine, μmol/L	Исходно / Baseline	10,8 [10,3; 11,8]	11,0 [10,5; 12,0]
	Через 50 дней / In 50 days	9,2 [8,5; 10,0] ^{**}	10,8 [10,3; 11,8]
NT-proBNP, пмоль/л / NT-proBNP, pmol/L	Исходно / Baseline	148,3 [87,5; 207,6]	152,1 [90,1; 210,5]
	Через 50 дней / In 50 days	98,5 [65,2; 150,3] ^{**}	148,0 [88,5; 205,8]
ИЛ-6, пг/мл / IL-6, pg/ml	Исходно / Baseline	4,8 [3,9; 7,9]	5,0 [4,0; 8,1]
	Через 50 дней / In 50 days	3,2 [2,5; 4,8] ^{***}	4,7 [3,8; 7,8]

Примечание: ИЛ — интерлейкин, ЛПВП — липопротеины высокой плотности, ЛПНП — липопротеины низкой плотности, МНО — международное нормализованное отношение, NT-proBNP — N-концевой пропептид мозгового натрийуретического гормона. Различия статистически значимы при значениях коэффициента достоверности p : * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$, *** — $p < 0,001$ в сравнении с исходным уровнем (критерий Вилкоксона), ^{*} — $p < 0,05$, ^{**} — $p < 0,01$, ^{***} — $p < 0,001$ в сравнении с группой сравнения (критерий Манна — Уитни).

Note: IL — interleukin, HDL — high-density lipoprotein, LDL — low-density lipoprotein, INR — international normalized ratio, NT-proBNP — N-terminal pro b-type natriuretic peptide. The differences are statistically significant for the reliability coefficient values p : * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.01$, *** — $p < 0.001$ compared with the initial level (Wilcoxon test); ^{*} — $p < 0.05$, ^{**} — $p < 0.01$, ^{***} — $p < 0.001$ compared with the comparison group (Mann — Whitney test).

эндотелиального повреждения и воспаления, а также к улучшению биохимических маркеров сердечной недостаточности, что подтверждает заявленные ангиопротекторные и системные эффекты препарата.

Влияние добавления полипептидного ангиопротектора к базовому курсу медицинской реабилитации на динамику функции передвижения

При исследовании динамики показателей тестов на функцию передвижения в основной группе наблюдалась выраженная положительная динамика по всем параметрам уже к 15-му дню, которая усиливалась к 50-му дню: время выполнения теста «Встань и иди» достоверно сократилось ($p = 0,005$ к 15-му дню и $p = 0,003$ к 50-му дню), а скорость ходьбы увеличилась ($p = 0,04$ и $p = 0,08$ соответственно). При этом достоверных изменений в группе сравнения не было (табл. 3). Индекс Бартела значимо вырос в обеих группах через 15 и 50 дней ($p < 0,01$), что связано с эффектом самой реабилитационной программы. Статистически значимой разницы в значениях данного показателя между группами на этапах динамического обследования выявлено не было (табл. 3).

Таким образом, в основной группе статистически значимо улучшилась функциональная мобильность пациентов: увеличилась скорость ходьбы, улучшился баланс. Эффект носит накопительный и пролонгированный характер.

Влияние добавления полипептидного ангиопротектора к базовому курсу медицинской реабилитации на параметры ходьбы

Результаты данного исследования демонстрируют значимые различия между группами. Так, в основной группе наблюдался ступенчатый прирост дистанции

безболевого ходьбы (+30 м к 15-му дню ($p = 0,004$) и еще +50 м к 50-му дню ($p < 0,001$)), достигнув в итоге 260 м (табл. 4). В группе сравнения был скромный прирост только к 15-му дню (+10 м; $p = 0,02$), который не увеличивался к 50-му дню. Аналогичная картина наблюдалась по приросту общего балла по результатам анкетирования WIQ: выраженный и прогрессирующий рост в основной группе (с 45 баллов до 65 баллов; $p < 0,001$) против минимального изменения в группе сравнения (табл. 4).

Следовательно, субъективная оценка пациентами толерантности к ходьбе достоверно и существенно улучшается в основной группе. Увеличение дистанции безболевого ходьбы (со 180 до 260 м) имеет высокую клиническую значимость, так как напрямую коррелирует с повышением качества жизни и независимости пациентов (табл. 4).

Влияние добавления полипептидного ангиопротектора к базовому курсу медицинской реабилитации на качество жизни

В группе пациентов, получавших лекарственный ангиопротектор, было выявлено статистически значимое улучшение показателей качества жизни по данным опросника SF-36 преимущественно в физическом компоненте здоровья: физическое функционирование (PF) статистически значимо улучшилось, интенсивность боли (BP) уменьшилась уже к 15-му дню ($p < 0,001$ и $p = 0,004$ соответственно), показатели частично сохранились к 50-му дню. В группе сравнения изменения были минимальны и краткосрочны (табл. 5).

Мы выявили выраженный положительный сдвиг в восприятии общего состояния здоровья (GH) в основной группе ($p < 0,001$), который усилился к 50-му дню. Психическое здоровье также улучшилось. Нами был

Таблица 3. Динамика показателей тестов на функцию передвижения, Me [Q1; Q3]

Table 3. Dynamics of indicators of tests of mobility function, Me [Q1; Q3]

Тест / Test	Период наблюдения / Observation period	Исследуемые группы / Study groups	
		Основная группа / Main group (n = 29)	Группа сравнения / Comparison group (n = 29)
Тест «Встань и иди», с / Stand-up and Go Test, s	Исходно / Baseline	10,0 [8,6; 14,3]	9,8 [8,5; 13,9]
	Через 15 дней / In 15 days	9,2 [8,1; 11,5]**·	9,7 [8,6; 13,5]
	Через 50 дней / In 50 days	8,5 [7,8; 10,2]**·	9,6 [8,5; 13,2]
Десятиметровый тест ходьбы, м/с / Ten-Meter Walk Test, m/s	Исходно / Baseline	1,0 [1,0; 1,4]	1,0 [0,9; 1,2]
	Через 15 дней / In 15 days	1,1 [1,0; 1,3]*·	1,0 [0,9; 1,1]
	Через 50 дней / In 50 days	1,2 [1,1; 1,4]*·	1,0 [0,9; 1,3]
Индекс Бартела, общий балл / Barthel Index, total score	Исходно / Baseline	94,1 [80,0; 100,0]	93,7 [76,0; 100,0]
	Через 15 дней / In 15 days	100,0 [85,0; 100,0]**·	100,0 [80,0; 100,0]**
	Через 50 дней / In 50 days	100,0 [85,0; 100,0]**	94,2 [85,0; 100,0]**

Примечание: Различия статистически значимы при значениях коэффициента достоверности p : * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$ в сравнении с исходным уровнем (критерий Вилкоксона), · — $p < 0,05$, · — $p < 0,01$ в сравнении с группой сравнения (критерий Манна — Уитни).

Note: The differences are statistically significant for the reliability coefficient values p : * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.01$ compared with the initial level (Wilcoxon test), · — $p < 0.05$, · — $p < 0.01$ compared with the comparison group (Mann — Whitney test).

Таблица 4. Оценка параметров ходьбы по опроснику нарушения ходьбы WIQ, Ме [Q1; Q3]

Table 4. Assessment of walking parameters using the walking impairment questionnaire (WIQ), Me [Q1; Q3]

Параметры / Parameters	Период наблюдения / Observation period	Исследуемые группы / Study groups	
		Основная группа / Main group (n = 29)	Группа сравнения / Comparison group (n = 29)
Дистанция безболевого ходьбы, м / Pain-free walking distance, m	Исходно / Baseline	180 [150; 220]	175 [145; 215]
	Через 15 дней / In 15 days	210 [180; 250]**,*	185 [155; 225]*
	Через 50 дней / In 50 days	260 [220; 300]**,*	190 [160; 230]**
WIQ, общий балл / WIQ, total score	Исходно / Baseline	45 [38; 52]	44 [37; 51]
	Через 15 дней / In 15 days	55 [48; 62]**,*	46 [39; 53]**
	Через 50 дней / In 50 days	65 [58; 72]**,*	47 [40; 54]*

Примечание: WIQ — опросник нарушения ходьбы. Различия статистически значимы при значениях коэффициента достоверности p : * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$, *** — $p < 0,001$ в сравнении с исходным уровнем (критерий Вилкоксона); * — $p < 0,01$, ** — $p < 0,001$ в сравнении с группой сравнения (критерий Манна — Уитни).

Note: WIQ — walking impairment questionnaire. The differences are statistically significant for the reliability coefficient values p : * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.01$, *** — $p < 0.001$ compared with the initial level (Wilcoxon test), * — $p < 0.01$, ** — $p < 0.001$ compared with the comparison group (Mann — Whitney test).

Таблица 5. Динамика показателей качества жизни по опроснику SF-36, Ме [Q1; Q3]

Table 5. Dynamics of quality-of-life indicators according to the SF-36 questionnaire, Me [Q1; Q3]

Параметры / Parameters	Период наблюдения / Observation period	Исследуемые группы / Study groups	
		Основная группа / Main group (n = 29)	Группа сравнения / Comparison group (n = 29)
Физическое функционирование (PF) / Physical Functioning (PF)	Исходно / Baseline	50,0 [42,5; 55,0]	48,0 [40,0; 53,0]
	Через 15 дней / In 15 days	65,0 [58,0; 72,0]**,*	50,0 [42,0; 55,0]*
	Через 50 дней / In 50 days	54,0 [48,0; 58,0]*,*	46,0 [40,0; 54,0]
Ролевое функционирование (физическое) (RP) / Role Functioning (Physical) (RP)	Исходно / Baseline	25,0 [20,0; 100,0]	25,0 [0,0; 80,0]
	Через 15 дней / In 15 days	75,0 [50,0; 100,0]**,*	25,0 [0,0; 80,0]
	Через 50 дней / In 50 days	50,0 [25,0; 85,0]*,*	25,0 [0,0; 80,0]
Боль (BP) / Pain (BP)	Исходно / Baseline	67,5 [45,0; 78,0]	65,0 [42,0; 76,0]
	Через 15 дней / In 15 days	80,0 [70,0; 90,0]**,*	68,0 [45,0; 78,0]*
	Через 50 дней / In 50 days	70,5 [48,0; 78,0]*,*	64,5 [47,0; 75,0]*
Общее состояние здоровья (GH) / General Health (GH)	Исходно / Baseline	45,0 [32,0; 55,5]	44,0 [30,0; 54,0]
	Через 15 дней / In 15 days	60,0 [50,0; 70,0]**,*	46,0 [32,0; 56,0]*
	Через 50 дней / In 50 days	65,0 [52,0; 69,5]**,*	43,0 [29,0; 46,0]
Психическое здоровье (MH) / Mental Health (MH)	Исходно / Baseline	60,5 [48,0; 68,0]	58,0 [46,0; 66,0]
	Через 15 дней / In 15 days	72,0 [65,0; 80,0]*,*	58,1 [48,0; 68,0]
	Через 50 дней / In 50 days	60,7 [49,0; 68,0]*,*	60,0 [48,0; 68,0]

Примечание: Различия статистически значимы при значениях коэффициента достоверности p : * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$, *** — $p < 0,001$ в сравнении с исходным уровнем (критерий Вилкоксона); * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$, *** — $p < 0,001$ в сравнении с группой сравнения (критерий Манна — Уитни).

Note: The differences are statistically significant for the reliability coefficient values p : * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.01$, *** — $p < 0.001$ compared with the initial level (Wilcoxon test), * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.01$, *** — $p < 0.001$ compared with the comparison group (Mann — Whitney test).

получен резкий рост ролевого функционирования (RP): улучшение к 15-му дню в основной группе ($p = 0,002$), что означает снижение ограничений в работе и повседневной деятельности из-за физического состояния (табл. 5).

Таким образом, применение препарата Славинорм в комплексной реабилитации не только улучшает объективные функциональные показатели, но и приводит к субъективно значимому и статистически достоверному повышению качества жизни пациентов, особенно в сферах физического функционирования, общего восприятия здоровья и снижения ограничений из-за боли (табл. 5).

Влияние добавления полипептидного ангиопротектора к базовому курсу медицинской реабилитации на результаты инструментальных исследований

В результате научной работы в основной группе отмечено достоверное увеличение скорости проведения импульса по *n. tibialis* ($p = 0,008$), что свидетельствует об улучшении функции периферических нервов, часто страдающих при диабетической полинейропатии (табл. 6). Также пиковая сила мышц голени значительно возросла в основной группе ($p < 0,001$), что отражает улучшение кровоснабжения и иннервации. В основной группе наблюдалось небольшое, но статистически значимое увеличение ФВ ЛЖ ($p = 0,005$), в то время как в группе сравнения изменений не было (табл. 6). Это указывает на потенциальное положительное влияние на систолическую функцию миокарда.

Таким образом, применение полипептидного ангиопротектора в комплексной реабилитации оказывает положительное воздействие не только на макро- и микроциркуляцию, но и на состояние периферических нервов, мышечную силу и, возможно, на сократительную функцию миокарда, демонстрируя мультисистемный эффект.

Влияние добавления полипептидного ангиопротектора к базовому курсу медицинской реабилитации на показатели кардиопульмонального тестирования

Результаты исследования убедительно демонстрируют превосходство комбинированной терапии: в основной группе выросла толерантность к нагрузке. Так, максимальная мощность нагрузки увеличилась на 24 % (с 85 Вт до 105 Вт; $p < 0,001$), группа сравнения без изменений (табл. 7). Улучшились показатели ишемического порога в основной группе: время до появления стенокардии увеличилось на 31 % (с 320 с до 420 с; $p < 0,001$), что свидетельствует об улучшении перфузии миокарда и/или снижении его потребности в кислороде. Пиковое потребление O_2 : VO_2 peak достоверно повысился в основной группе ($p = 0,002$), что является прямым доказательством увеличения функциональных резервов организма (табл. 7).

Таким образом, данные кардиопульмонального тестирования продемонстрировали, что добавление полипептидного ангиопротектора к программе кардиореабилитации приводит к значимому и клинически важному повышению толерантности к физической нагрузке, отдалает время возникновения стенокардии и увеличивает аэробную способность, что является ключевой целью реабилитации пациентов после ОИМ.

Результаты, полученные в ходе исследования комплексного подхода к медицинской реабилитации, включавшего применение препарата Славинорм на фоне стандартной программы медицинской реабилитации, продемонстрировали благоприятный профиль безопасности и хорошую переносимость у сложной категории коморбидных пациентов с СД2, диабетической ангиопатией нижних конечностей и перенесенным ОИМ.

В группе применения препарата полипептидного регулятора сосудов крупного рогатого скота были зарегистрированы случаи болезненности в месте инъек-

Таблица 6. Изменение инструментальных показателей (электронейромиографии нижних конечностей, биомеханики ходьбы по данным метода видеоанализа походки, эхокардиографии), Me [Q1; Q3]

Table 6. Changes in instrumental parameters (electroneuromyography of the lower extremities, gait biomechanics according to the video gait analysis method, echocardiography), Me [Q1; Q3]

Параметры / Parameters	Период наблюдения / Observation period	Исследуемые группы / Study group	
		Основная группа / Main group (n = 29)	Группа сравнения / Comparison group (n = 29)
Скорость проведения по <i>n. tibialis</i> , м/с / Conduction velocity <i>n. tibialis</i> , m/s	Исходно/ Baseline	40,1 [38,5; 42,0]	39,8 [38,2; 41,7]
	Через 50 дней / In 50 days	42,5 [40,8; 44,2]**,*	40,2 [38,6; 42,1]
Пиковая сила мышц голени, Н / Peak calf muscle force, N	Исходно/ Baseline	280 [240; 320]	275 [235; 315]
	Через 50 дней / In 50 days	320 [280; 360]**,*	285 [245; 325]
ФВ ЛЖ, % / EF LV, %	Исходно/ Baseline	48 [45; 52]	47 [44; 51]
	Через 50 дней / In 50 days	49 [46; 53]**,*	47 [44; 52]

Примечание: Различия статистически значимы при значениях коэффициента достоверности p : ** — $p < 0,01$, *** — $p < 0,001$ в сравнении с исходным уровнем (критерий Вилкоксона), * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,001$ в сравнении с группой сравнения (критерий Манна — Уитни).

Note: The differences are statistically significant for the reliability coefficient values p : ** — $p < 0.01$, *** — $p < 0.001$ compared with the initial level (Wilcoxon test), * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.001$ compared with the comparison group (Mann — Whitney test).

Таблица 7. Динамика показателей кардиопульмонального теста, Ме [Q1; Q3]

Table 7. Dynamics of cardiopulmonary test indicators, Me [Q1; Q3]

Параметры / Parameters	Период наблюдения / Observation period	Исследуемые группы / Study group	
		Основная группа / Main group (n = 29)	Группа сравнения / Comparison group (n = 29)
Максимальная мощность, Вт / Maximum power, W	Исходно / Baseline	85 [75; 95]	84 [74; 94]
	Через 50 дней / In 50 days	105 [95; 115] ^{***,*}	88 [78; 98]
Время до появления стенокардии, с / Time to angina onset, sec	Исходно / Baseline	320 [280; 360]	315 [275; 355]
	Через 50 дней / In 50 days	420 [380; 460] ^{***,*}	330 [290; 370]
Пиковое потребление O ₂ (VO _{2peak}), мл/кг/мин / Peak O ₂ consumption (VO _{2peak}), ml/kg/min	Исходно / Baseline	16,5 [15,0; 18,0]	16,3 [14,8; 17,8]
	Через 50 дней / In 50 days	18,5 [17,0; 20,0] ^{**,*}	16,8 [15,3; 18,3]

Примечание: Различия статистически значимы при значениях коэффициента достоверности p : ^{**} — $p < 0,01$, ^{***} — $p < 0,001$ в сравнении с исходным уровнем (критерий Вилкоксона), ^{***,*} — $p < 0,001$ в сравнении с группой сравнения (критерий Манна — Уитни).

Note: The differences are statistically significant for the reliability coefficient values p : ^{**} — $p < 0.01$, ^{***} — $p < 0.001$ compared with the initial level (Wilcoxon test), ^{***,*} — $p < 0.001$ compared with the comparison group (Mann — Whitney test).

ции у 6 пациентов (20,7 %). Выявленное нежелательное явление (боль в месте инъекции) соответствует данным инструкции по медицинскому применению препарата полипептидного регулятора сосудов крупного рогатого скота (лиофилизат для приготовления раствора для внутримышечного введения, 5 мг), согласно которой болезненность и дискомфорт в месте введения препарата наблюдаются с частотой «очень часто». За весь период наблюдения в основной группе не было зарегистрировано случаев досрочного прекращения программы медицинской реабилитации или отказов от лечения по причине непереносимости. Выявленные нежелательные явления не потребовали системной терапии, прекращения лечения и завершились выздоровлением без последствий. Полученные данные позволяют сделать вывод о благоприятном профиле безопасности предложенного комбинированного метода медицинской реабилитации, что является важным условием для его потенциального внедрения в клиническую практику.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное проспективное контролируемое исследование продемонстрировало, что включение полипептидного регулятора сосудов крупного рогатого скота в программу II этапа медицинской реабилитации пациентов с СД2 и диабетической ангиопатией нижних конечностей, перенесших ОИМ, способствует достоверному повышению эффективности восстановительного лечения. Полученные результаты охватывают широкий спектр оцениваемых параметров (от биохимических маркеров и показателей системного воспаления до функциональных тестов, инструментальных характеристик и качества жизни), что позволяет комплексно оценить терапевтический потенциал предложенного метода.

Одним из ключевых результатов исследования явилось статистически значимое улучшение параметров

липидного обмена в основной группе. Выявленное увеличение соотношения ЛПВП/ЛПНП ($p < 0,001$) свидетельствует о коррекции дислипидемии одного из основных факторов прогрессирования атеросклероза у пациентов с СД2 [6, 7]. Данный эффект согласуется с экспериментальными данными о способности пептидных биорегуляторов влиять на липидный обмен и снижать интенсивность перекисного окисления липидов [14, 21].

Значимое снижение уровня NT-proBNP в основной группе ($p = 0,004$) при отсутствии динамики в группе сравнения указывает на положительное влияние исследуемой терапии на функциональное состояние миокарда. NT-proBNP является чувствительным маркером напряжения стенки левого желудочка, его снижение ассоциировано с улучшением прогноза для пациентов после ОИМ [19, 22, 23]. Можно предположить, что улучшение периферического кровообращения и микроциркуляции, снижение постнагрузки на фоне ангиопротективной терапии создают благоприятные условия для ремоделирования миокарда и уменьшения его дисфункции.

Важным результатом представляется снижение уровня ИЛ-6 ($p = 0,01$) в основной группе, что отражает системный противовоспалительный эффект предложенной терапии. Хроническое вялотекущее воспаление играет ключевую роль в патогенезе как атеротромбоза, так и диабетических осложнений [5]. Способность пептидных регуляторов модулировать продукцию провоспалительных цитокинов была продемонстрирована в ряде доклинических исследований [17, 24]. Подавление активности ИЛ-6 может способствовать стабилизации атеросклеротической бляшки и улучшению эндотелиальной функции.

Полученные данные о статистически значимом улучшении показателей тестов мобильности (тест «Встань и иди», 10-метровый тест ходьбы) в основной группе имеют высокую клиническую значимость. Улучшение

баланса и скорости ходьбы является важным предиктором снижения риска падений и повышения функциональной независимости пациентов [9]. Особенно важно, что положительная динамика в основной группе носила накопительный характер (усиливалась к 50-му дню), тогда как в группе сравнения изменения были минимальными и краткосрочными. Это может свидетельствовать о том, что добавление полипептидного регулятора не просто потенцирует эффекты физических тренировок, но и создает условия для долгосрочной адаптации нейромышечного аппарата.

Наиболее значимые положительные результаты получены при оценке параметров ходьбы по тесту с дистанцией безболевого ходьбы и опроснику WIQ. Увеличение дистанции безболевого ходьбы со 180 м до 260 м ($p < 0,001$) в основной группе против незначительной динамики в группе сравнения (с 175 м до 190 м) выходит за пределы минимальной клинически значимой разницы (30–50 м), принятой в ангиологии [8]. Это прямое доказательство улучшения периферического кровообращения и уменьшения степени ишемии нижних конечностей. Субъективное восприятие пациентами своей способности к передвижению (рост балла WIQ с 45 до 65; $p < 0,001$) коррелирует с объективными данными и отражает повышение качества жизни.

Полученные результаты согласуются с данными зарубежных исследований, демонстрирующих, что фармакологическая поддержка, улучшающая микроциркуляцию, значительно увеличивает эффективность тренировок у пациентов с перемежающейся хромотой [13, 25].

Выявленное увеличение скорости проведения импульса по *n. tibialis* (с 40,1 м/с до 42,5 м/с; $p = 0,008$) представляет особый интерес. Диабетическая дистальная полинейропатия является одним из наиболее частых и инвалидизирующих осложнений СД2, существенно лимитирующих реабилитационный потенциал [7]. Улучшение нейрорепродуктивности может быть связано с двумя механизмами: во-первых, с улучшением васкуляризации нервных стволов (*vasa nervorum*) за счет ангиопротективного действия препарата; во-вторых, с непосредственным нейротрофическим эффектом пептидных регуляторов [15]. Увеличение пиковой силы мышц голени (с 280 Н до 320 Н; $p < 0,001$) коррелирует с улучшением параметров ходьбы и может объясняться не только собственно тренировочным эффектом, но и улучшением трофики мышечной ткани вследствие нормализации микроциркуляции. Саркопения часто сопровождает хронические заболевания, в том числе СД2 и сердечно-сосудистую патологию, ее коррекция является важной задачей реабилитации [15].

Небольшое, но статистически значимое увеличение ФВ ЛЖ в основной группе (с 48 % до 49 %, $p = 0,005$) при отсутствии динамики в группе сравнения отражает не столько прямое инотропное действие, сколько улучшение условий работы миокарда за счет снижения постнагрузки и улучшения коронарной перфузии на фоне системного ангиопротективного эффекта.

Данные кардиопульмонального тестирования представляют наибольшую доказательную ценность, поскольку являются золотым стандартом оценки толерантности к физической нагрузке и функциональных резервов кардиореспираторной системы [12, 18]. Уве-

личение максимальной мощности нагрузки на 24 % (с 85 Вт до 105 Вт; $p < 0,001$) и времени до появления стенокардии на 31 % (с 320 с до 420 с; $p < 0,001$) в основной группе при отсутствии значимой динамики в группе сравнения убедительно доказывает преимущество комбинированной терапии. Особого внимания заслуживает достоверное повышение пикового потребления кислорода ($VO_2\text{peak}$) интегрального маркера аэробной способности и важнейшего предиктора выживаемости у кардиологических пациентов [2, 12]. Увеличение $VO_2\text{peak}$ в основной группе на 2 мл/кг/мин (с 16,5 до 18,5; $p = 0,002$) превышает порог клинической значимости (1–1,5 мл/кг/мин) и ассоциируется со снижением риска сердечно-сосудистой смертности [18]. Полученные данные согласуются с результатами мета-анализа Dibben G. et al. в 2023 г., показавших, что эффективная кардиореабилитация должна приводить к приросту $VO_2\text{peak}$ не менее чем на 10–15 % от исходного уровня [11]. В нашем исследовании прирост в основной группе составил 12 %, что соответствует международным стандартам качества медицинской реабилитации. Важно подчеркнуть, что в группе сравнения, получавшей только стандартную реабилитацию без фармакологической поддержки, прирост $VO_2\text{peak}$ был минимальным (с 16,3 до 16,8 мл/кг/мин) и статистически незначимым, что подчеркивает ограниченные возможности стандартных программ у сложной категории коморбидных пациентов.

Выявленное статистически значимое улучшение показателей качества жизни по опроснику SF-36, особенно в доменах физического функционирования (PF), боли (BP) и общего восприятия здоровья (GH), имеет важное субъективное значение для пациентов. Рост показателя ролевого функционирования (RP) с 25 до 75 баллов к 15-му дню ($p = 0,002$) отражает снижение ограничений в повседневной деятельности и возвращение к активной жизни, что является конечной целью медицинской реабилитации [10, 11]. Полученные нами данные согласуются с исследованиями, демонстрирующими, что улучшение объективных функциональных параметров у пациентов с заболеваниями периферических артерий напрямую коррелирует с повышением качества жизни [9, 25].

Полученные данные о частоте нежелательных явлений (болезненность в месте инъекции у 20,7 % пациентов) соответствуют информации, указанной в инструкции к препарату. Отсутствие серьезных нежелательных явлений, случаев досрочного прекращения терапии и системных аллергических реакций позволяет сделать вывод о благоприятном профиле безопасности предложенного метода у сложной категории коморбидных пациентов.

Полученные результаты сопоставимы с данными международных исследований, изучавших эффективность фармакологической поддержки реабилитации у пациентов с ССЗ и диабетом. Так, исследование Hess C.N. et al. 2017 г. продемонстрировало, что у пациентов со стабильной ишемической болезнью сердца добавление метаболической терапии к тренировкам приводило к значимо большему приросту $VO_2\text{peak}$ по сравнению с тренировками в монорежиме [20]. Исследование Kim J.H. et al. 2023 г. показало, что у пациентов

с диабетической ангиопатией применение препаратов, улучшающих микроциркуляцию, достоверно увеличило дистанцию безболевого ходьбы и улучшало показатели качества жизни [25].

Полученные данные обосновывают необходимость проведения многоцентрового рандомизированного контролируемого исследования с пролонгированным периодом наблюдения (не менее 12 месяцев) для оценки влияния предлагаемого метода на отдаленные исходы, включая сердечно-сосудистую смертность, частоту повторных госпитализаций и потребность в реваскуляризации нижних конечностей. Целесообразно также изучение молекулярных механизмов действия полипептидного регулятора, в частности его влияния на экспрессию генов, регулирующих ангиогенез и эндотелиальную функцию.

Таким образом, проведенное исследование убедительно демонстрирует, что включение полипептидного ангиопротектора в комплексную программу II этапа медицинской реабилитации пациентов с СД2 и диабетической ангиопатией нижних конечностей, перенесших ОИМ, позволяет достоверно повысить эффективность восстановительного лечения. Сочетанное применение стандартной реабилитационной программы и ангиопротективной терапии обеспечивает мультисистемный положительный эффект: коррекцию дислипидемии и эндотелиальной дисфункции (снижение ЛПНП, ИЛ-6), улучшение параметров периферического кровообращения и микроциркуляции (увеличение дистанции безболевого ходьбы, улучшение показателей WIQ), повышение толерантности к физической нагрузке и аэробной способности (прирост VO_2 peak, увеличение максимальной мощности), а также улучшение нейромышечной проводимости и качества жизни.

Полученные результаты открывают новые перспективы для оптимизации реабилитационных программ у наиболее сложной категории коморбидных кардиологических пациентов и обосновывают необходимость дальнейших исследований в этом направлении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено комплексное исследование эффективности применения отечественного лекарственного ангиопротектора в программе медицинской реабилитации коморбидных пациентов. Техническим и клиническим результатом является разработка и научное обоснование нового алгоритма комбинированной терапии, интегрирующего стандартную кардиореабилитацию с курсом ангиопротекторной терапии для пациентов с СД2, диабетической ангиопатией нижних конечностей для перенесших ОИМ пациентов.

Доказана высокая клиническая эффективность включения препарата Славинорм в комплексную реабилитацию. По результатам проспективного контролируемого исследования ($n = 58$) установлено достоверное ($p < 0,05$) превосходство комбинированного подхода над стандартной реабилитацией по ключевым функциональным показателям: дистанция безболевого ходьбы увеличилась на 44 % (с 180 м до 260 м), скорость ходьбы в 10-метровом тесте возросла с 1,0 м/с до 1,2 м/с, а медианное время выполнения теста «Встань и иди» сократилось на 15 %.

Установлено патогенетическое системное действие препарата Славинорм, определяющее его эффективность. Ключевыми механизмами являются: коррекция липидного профиля (достоверное снижение ЛПНП и улучшение соотношения ЛПВП/ЛПНП), снижение уровня маркеров эндотелиального и системного воспаления (ИЛ-6); положительное влияние на состояние периферических нервов (увеличение скорости проведения импульса по *n. tibialis* на 6 %) и силы мышц голени, улучшение показателей центральной гемодинамики (снижение NT-proBNP и увеличение ФВ ЛЖ). Доказано значимое положительное влияние комбинированной терапии на восстановление толерантности к физической нагрузке и аэробных резервов пациентов. Результаты кардиопульмонального нагрузочного тестирования показали, что в группе, получавшей полипептидный ангиопротектор, максимальная мощность нагрузки увеличилась на 24 %, время до появления стенокардии возросло на 31 %, а пиковое потребление кислорода (VO_2 peak) достоверно повысилось, что свидетельствует об успешном достижении одной из основных целей кардиореабилитации.

В ходе исследования подтверждено существенное улучшение качества жизни, связанного со здоровьем, у пациентов основной группы. По данным опросника SF-36, наблюдалось статистически значимое ($p < 0,05$) повышение баллов по шкалам физического функционирования, ролевого функционирования, общего состояния здоровья и снижение интенсивности болевого синдрома, что отражает успешную физическую и психосоциальную адаптацию.

Подтверждена безопасность и хорошая переносимость препарата полипептидов сосудов крупного рогатого скота в составе комплексной терапии у сложной категории коморбидных пациентов. Это позволяет рекомендовать его включение в состав комплексной терапии с возможностью проведения повторных курсов в программах вторичной профилактики.

Разработан и научно обоснован алгоритм применения полипептидного ангиопротектора в программах медицинской реабилитации, предусматривающий его назначение пациентам с СД2 и диабетической макроангиопатией, перенесшим ОИМ, на II этапе реабилитации с последующим продолжением курса в амбулаторных условиях. Алгоритм направлен на профилактику повторных сердечно-сосудистых событий, ускорение восстановления трудоспособности и повышение качества жизни.

Проведенное исследование и полученные результаты являются научно-методической основой для расширения показаний к применению препарата полипептидов сосудов крупного рогатого скота и его внедрения в клинические рекомендации по кардиореабилитации и ведению пациентов с сахарным диабетом. Разработанный подход соответствует задачам повышения доступности и эффективности высокотехнологичной реабилитационной помощи в Российской Федерации, а также стратегии импортозамещения в фармакотерапии. Дальнейшие исследования целесообразно направить на оценку отдаленных результатов и экономической эффективности предложенного алгоритма в рамках многоцентровых рандомизированных исследований.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Симонян Мариам Андраниковна, младший научный сотрудник, отдел нейрореабилитации и клинической психологии, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0658-0666>

Марченкова Лариса Александровна, доктор медицинских наук, доцент, руководитель научно-исследовательского управления, главный научный сотрудник, отдел соматической реабилитации, репродуктивного здоровья и активного долголетия, профессор кафедры восстановительной медицины, физической терапии и медицинской реабилитации, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1886-124X>

Васильева Валерия Александровна, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, отдел соматической реабилитации, репродуктивного здоровья и активного долголетия, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

E-mail: valeri08.00@bk.ru, vasilevava@nmicrk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6526-4512>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: Васильева В.А. — верификация данных, анализ данных, проведение исследования, написание черновика рукописи, визуализация, проверка и редактирование рукописи; Симонян М.А. — программное обеспечение, обеспечение

материалов для исследования, курация данных; Марченкова Л.А. — руководство проектом, курирование проекта, научное обоснование, методология, проведение исследования, курация данных, проверка и редактирование рукописи.

Источники финансирования. Данное исследование было проведено в рамках научно-исследовательской работы Минздрава России «Влияние применения препарата Славинорм на эффективность медицинской реабилитации пациентов с сахарным диабетом 2-го типа, перенесших острый инфаркт миокарда».

Конфликт интересов. Марченкова Л.А. — председатель редакционного совета журнала «Вестник восстановительной медицины». Остальные авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов.

Этическое утверждение. Авторы заявляют, что все процедуры, описанные в данной статье, соответствуют этическим стандартам учреждений, проводивших исследование, а также Хельсинкской декларации в редакции 2013 г. Проведение исследования было одобрено на заседании локального этического комитета при ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России (Москва, Россия) (Протокол № 10 от 14.11.2024).

Информированное согласие. В исследовании не раскрывается сведений, позволяющих идентифицировать личность пациентов. От всех пациентов/законных представителей было получено письменное согласие на публикацию всей соответствующей медицинской информации, включенной в рукопись.

Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по запросу у корреспондирующего автора.

ADDITIONAL INFORMATION

Mariam A. Simonyan, Junior Research Fellow, Neurorehabilitation and Clinical Psychology Unit, National Medical Research Center of Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0658-0666>

Larisa A. Marchenkova, D.Sc. (Med.), Associate Professor, Head of the Office of Scientific Research, Chief Researcher, Unit of Somatic Rehabilitation, Reproductive Health and Active Longevity, Professor at the Department of Restorative Medicine, Physical Therapy and Medical Rehabilitation, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1886-124X>

Valeriia A. Vasileva, PhD (Med.), Senior Researcher, Unit Somatic Rehabilitation, Active Longevity and Reproductive Health, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

E-mail: valeri08.00@bk.ru, vasilevava@nmicrk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6526-4512>

Author Contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Vasileva V.A. — data verification, data analysis, investigation, writing — original draft, visualization, writing — review & editing; Simonyan M.A. —

software, resources, data curation; Marchenkova L.A. — project administration, supervision, conceptualization, methodology, investigation, data curation, writing — review & editing.

Funding. This study was conducted as part of the research project entitled “The impact of Slavinorm on the effectiveness of medical rehabilitation for patients with type 2 diabetes mellitus who have suffered acute myocardial infarction” overseen by the Russian Ministry of Health”.

Disclosure. Marchenkova L.A. — Chair of the Editorial Council of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal. The other authors state that there is no conflict of interest.

Ethics approval. The authors declare that all procedures used in this article are in accordance with the ethical standards of the institutions that conducted the study and are consistent with the 2013 Declaration of Helsinki. This study was approved by the Local Ethics Committee of the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology (Moscow, Russia) (Protocol No. 10 dated November 14, 2024).

Informed Consent for Publication. The study does not disclose information to identify the patients. Written consent was obtained from all patients /legal representatives for publication of all relevant medical information included in the manuscript.

Data Access Statement. The data that support the findings of this study are available on request from the corresponding author.

Список литературы / References

1. Бойцов С.А., Погосова Н.В., Антропова О.Н. и др. Кардиоваскулярная профилактика 2022. Российские национальные рекомендации. Российский кардиологический журнал. 2023; 28(5): 89–158. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5452> [Boytsov S.A., Pogosova N.V., Antropova O.N., et al. Cardiovascular prevention 2022. Russian national guidelines. Russian Journal of Cardiology. 2023; 28(5): 89–158. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5452> (In Russ.).]
2. Ibanez B., James S., Agewall S., et al. 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation. *European Heart Journal*. 2018; 39(2): 119–177. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx393>
3. Einarson T.R., Acs A., Ludwig C., Panton U.H. Prevalence of cardiovascular disease in type 2 diabetes: a systematic literature review of scientific evidence from across the world in 2007–2017. *Cardiovascular Diabetology*. 2018; 17(1): 83. <https://doi.org/10.1186/s12933-018-0728-6>
4. Дедов И.И., Шестакова М.В., Майоров А.Ю. и др. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом. Сахарный диабет. 2023; 26(25): 1–224. <https://doi.org/10.14341/DM13042> [Dedov I.I., Shestakova M.V., Mayorov A.Yu., et al. Algorithms of specialized medical care for patients with diabetes mellitus. *Diabetes Mellitus*. 2023; 26(25): 1–224. <https://doi.org/10.14341/DM13042> (In Russ.).]
5. Arnold S.V., Bhatt D.L., Barsness G.W., et al. Clinical management of stable coronary artery disease in patients with type 2 diabetes: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2020; 141(19): e779–e806. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000766>
6. American Diabetes Association. Cardiovascular disease and risk management: Standards of Medical Care in Diabetes 2023. *Diabetes Care*. 2023; 46(Suppl. 1): S158–S190. <https://doi.org/10.2337/dc23-S010>
7. Gerhard-Herman M.D., Gornik H.L., Barrett C., et al. 2016 AHA/ACC guideline on the management of patients with lower extremity peripheral artery disease. *Circulation*. 2017; 135(12): e686–e725. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000470>
8. Treat-Jacobson D., McDermott M.M., Bronas U.G., et al. Optimal exercise programs for patients with peripheral artery disease: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2019; 139(4): e10–e33. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000623>
9. Аронов Д.М., Бубнова М.Г., Барбараш О.Л. и др. Острый инфаркт миокарда с подъемом сегмента ST электрокардиограммы: реабилитация и вторичная профилактика. Российские клинические рекомендации. Российский кардиологический журнал. 2020; 25(11): 4100. <https://doi.org/10.15829/29/1560-4071-2020-4100> [Aronov D.M., Bubnova M.G., Barbarash O.L., et al. Acute ST-segment elevation myocardial infarction: rehabilitation and secondary prevention. Russian clinical guidelines. *Russian Journal of Cardiology*. 2020; 25(11): 4100. <https://doi.org/10.15829/29/1560-4071-2020-4100> (In Russ.).]
10. Anderson L., Oldridge N., Thompson D.R., et al. Exercise-based cardiac rehabilitation for coronary heart disease: Cochrane systematic review and meta-analysis. *Journal of the American College of Cardiology*. 2016; 67(1): 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.10.044>
11. Dibben G., Faulkner J., Oldridge N., et al. Exercise-based cardiac rehabilitation for coronary heart disease: a meta-analysis. *European Heart Journal*. 2023; 44(6): 452–469. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac747>
12. Fakhry F., van de Luijngaarden K.M., Bax L., et al. Supervised walking therapy in patients with intermittent claudication. *Journal of Vascular Surgery*. 2022; 56(4): 1132–1142. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2012.04.046>
13. Кузьник Б.И., Морозов В.Н., Хавинсон В.Х. Пептидная регуляция сосудистого тонуса. Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2019; 168(11): 534–540. <https://doi.org/10.1007/s10517-020-04788-6> [Kuznik B.I., Morozov V.N., Khavinson V.Kh. Peptide regulation of vascular tone. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2019; 168(11): 534–540. <https://doi.org/10.1007/s10517-020-04788-6> (In Russ.).]
14. Каторкин С.Е., Кривошеков Е.П., Ельшин Е.Б., Кушнарчук М.Ю. Современные возможности и перспективы консервативного лечения пациентов с заболеваниями периферических артерий. Амбулаторная хирургия. 2022; 19(2): 50–60. <https://doi.org/10.21518/1995-1477-2022-19-2-50-60> [Katorkin S.E., Krivoshechekov E.P., Elshin E.B., Kushnarchuk M.Yu. Modern possibilities and prospects of conservative treatment of patients with peripheral artery diseases. *Ambulatory Surgery*. 2022; 19(2): 50–60. <https://doi.org/10.21518/1995-1477-2022-19-2-50-60> (In Russ.).]
15. Кузьник Б.И., Рыжак Г.А., Хавинсон В.Х. Полипептидный комплекс сосудов и его роль в регуляции физиологических функций при возрастной патологии. Успехи геронтологии. 2019; 32(1–2): 174–179. https://khavinson.info/assets/files/russ/2019-kuznik_ryzhak.pdf [Kuznik B.I., Ryzhak G.A., Khavinson V.K. Polypeptide vessel complex and its role in physiology function regulation in aging pathology. *Advances in Gerontology*. 2019; 32(1–2): 174–179. https://khavinson.info/assets/files/russ/2019-kuznik_ryzhak.pdf (In Russ.).]
16. Sipola M., Finckenberg P., Vapaatalo H., Pihlanto-Leppälä A., Korhonen H., Korpela R., Nurminen M.L. Alpha-lactorphin and betalactorphin improve arterial function in spontaneously hypertensive rats. *Life Sciences*. 2002; 71(11): 1245–1253. [https://doi.org/10.1016/s0024-3205\(02\)01793-9](https://doi.org/10.1016/s0024-3205(02)01793-9)
17. Соколова И.Б., Сергеев И.В., Рыжак Г.А., Хавинсон В.Х., Козина Л.С. Влияние пептидного биорегулятора сосудов на микроциркуляцию в коре головного мозга старых крыс с артериальной гипертензией. Успехи геронтологии. 2017; 30(4): 534–537. http://www.gersociety.ru/netcat_files/userfiles/10/AG_2017-30-04.pdf. [Sokolova I.B., Sergeev I.V., Ryzhak G.A., Khavinson V.K., Kozina L.S. Effects of vascular peptide bioregulator on cerebral microcirculation of old hypertensive rats. *Advances in Gerontology*. 2017; 30(4): 534–537. http://www.gersociety.ru/netcat_files/userfiles/10/AG_2017-30-04.pdf. (In Russ.).]
18. Мареев В.Ю., Фомин И.В., Агеев Ф.Т. и др. Клинические рекомендации ОССН РКО РНМОТ по сердечной недостаточности. Журнал Сердечная Недостаточность. 2020; 21(4): 311–408. <https://doi.org/10.18087/cardio.2020.4.n1140> [Mareev V.Yu., Fomin I.V., Ageev F.T., et al. Russian Society of Cardiology (RSC) clinical practice guidelines for heart failure. *Journal of Cardiac Failure*. 2020; 21(4): 311–408. <https://doi.org/10.18087/cardio.2020.4.n1140> (In Russ.).]
19. Hambrecht R., Walther C., Möbius-Winkler S., et al. Percutaneous coronary angioplasty compared with exercise training in patients with stable coronary artery disease. *Circulation*. 2021; 144(5): 356–365. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.120.052849>
20. Hess C.N., Norgren L., Ansel G.M., Capell W.H., Fowkes F.G.R., Gottsäter A., et al. Structured review of antithrombotic therapy in peripheral artery disease with a focus on revascularization: A TASC (InterSociety Consensus for the Management of Peripheral Artery Disease) initiative. *Circulation*. 2017; 135(25): 2534–2555. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.117.024469>
21. Сучков И.А., Калинин Р.Е., Мжаванадзе Н.Д., Камаев А.А., Буренин А.Г., Ларьков Р.Н. Эффективность и безопасность применения препарата на основе регуляторных полипептидов сосудов для лечения перемежающейся хромоты (результаты многоцентрового двойного слепого плацебо-контролируемого рандомизированного исследования). Ангиология и сосудистая хирургия. 2023; 29(1): 23–33. <https://doi.org/10.33029/1027-6661-2023-29-1-23-33> [Suchkov I.A., Kalinin R.E., Mzhavanadze N.D., Kamaev A.A., Burenin A.G., Larkov R.N. Efficacy and safety of a drug based on vascular regulatory polypeptides for the treatment of intermittent claudication (results of a multicenter double-blind placebo-controlled randomized trial). *Angiology and Vascular Surgery*. 2023; 29(1): 23–33. <https://doi.org/10.33029/1027-6661-2023-29-1-23-33> (In Russ.).]
22. Moshiri K.J., Rockson S.G. Lymphedema: New insights into diagnosis and treatment. *Annual Review of Medicine*. 2021; 72: 315–330. <https://doi.org/10.1146/annurev-med-043020-091644>

23. Lee A.B., Rockson S.G. Lymphedema: A comprehensive review. *Cardiology Clinics*. 2023; 41(1): 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.ccl.2022.08.010>
24. Рыжак А.П., Чалисова Н.И., Линькова Н.С., Ничик Т. Е., Дудков А.В., Колчина Н.В., Рыжак Г.А., Халимов Р.И. Влияние полипептидов на пролиферацию и апоптоз клеток при старении. *Клеточные технологии в биологии и медицине*. 2016; 4: 221–225 [Ryzhak A.P., Chalisova N.I., Linkova N.S., Nichik T.E., Dudkov A.V., Kolchina N.V., Ryzhak G.A., Khalimov R.I. Effect of polypeptides on cell proliferation and apoptosis during aging. *Cell Technologies in Biology and Medicine*. 2016; 4: 221–225 (In Russ.)]
25. Kim J.H., Choi J.H., Kim S.J., et al. Efficacy of complex decongestive therapy combined with exercise in patients with lymphedema: A randomized controlled trial. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2023; 47(2): 112–121. <https://doi.org/10.5535/arm.23015>

Дисфункциональная вариативность постинсультной спастической акинезии в свете реабилитационной динамики: ретроспективное наблюдательное сравнительное исследование

 Захаров Я.Ю.^{1,2,*},  Белкин А.А.^{1,2},  Поздняков Д.Г.¹

¹ Автономная некоммерческая организация «Клинический институт мозга», Березовский, Россия

² Уральский государственный медицинский университет Минздрава России, Екатеринбург, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Акинезия сегментов конечностей не всегда определяет однозначно неблагоприятный прогноз постинсультного восстановления моторики, что может указывать на дисфункциональную вариативность, определяющую однотипные клинические проявления, но различную эффективность реабилитационного протокола. Целесообразен поиск дополнительных биомаркеров, дифференцирующих дисфункциональный патогенез схожей клинической картины.

ЦЕЛЬ. Сравнение эффективности двигательного восстановления и регресса спастичности после стандартной и расширенной (с транскраниальной нейромодуляцией) реабилитации пациентов с постинсультной спастической акинезией кисти при различном функциональном состоянии кортикоспинального тракта (КСТ) в краткосрочный период.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В ретроспективном обсервационном сравнительном исследовании принимало участие 294 человека (возраст — от 23 до 83 лет; мужчин — 52,4 %) с постинсультной спастической акинезией кисти. По уровню порога моторного ответа покоя (ПМО_{покоя}), амплитуды моторного вызванного потенциала и времени центрального моторного проведения (ВЦМП) кортикального представительства *m. abductor pollicis brevis* пораженной гемисферы пациенты были разделены на 3 группы: 1-я — полное поражение КСТ в зоне индикации, 2-я — частичное поражение КСТ, 3-я — интактный КСТ. Каждая группа была разделена на подгруппы, представители которых получали стандартный 10-дневный курс реабилитации в сочетании с ритмической транскраниальной магнитной стимуляцией (рТМС) или без нее. Клиническая эффективность оценивалась непосредственно по окончании курса реабилитации по увеличению показателя шкалы мышечной силы Совета по медицинским исследованиям (Medical Research Council — MRC) и снижению спастичности по модифицированной шкале Эшворта.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Наибольшая эффективность двигательного восстановления при стандартной реабилитации (без рТМС) наблюдалась в 3-й группе ($p < 0,0167$). Эффективность двигательного восстановления в группах 1 ($p = 0,015$) и 2 ($p = 0,02$) повышала рТМС. Регресс спастичности наблюдался в диапазоне 25,7–32,1 % и значимо не отличался в сравниваемых подгруппах. Выявлялась высокая положительная корреляция случаев двигательного восстановления и регресса спастичности в подгруппах 3-й группы.

ОБСУЖДЕНИЕ. Состояние КСТ определяет не только клинические проявления, но и эффективность реабилитационных подходов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. При поражении КСТ рТМС демонстрирует эффективность в восстановлении произвольных движений, но не влияет на спастичность. При сохранности КСТ восстановление моторики и регресс спастичности сопряжены и, возможно, зависят от реституции поврежденного кортикоретикулярного тракта (КРТ).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инсульт, физическая реабилитация, транскраниальная магнитная стимуляция

Для цитирования / For citation: Захаров Я.Ю., Белкин А.А., Поздняков Д.Г. Дисфункциональная вариативность постинсультной спастической акинезии в свете реабилитационной динамики: ретроспективное наблюдательное сравнительное исследование. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(2):23–32. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-23-32> [Zakharov Ya.Yu., Belkin A.A., Pozdnyakov D.G. Dysfunctional Variability of Post-Stroke Spastic Akinesia in Light of Rehabilitation Dynamics: A Retrospective Observational Comparative Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(2):23–32. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-23-32> (In Russ.)]

* Для корреспонденции: Захаров Яков Юрьевич, E-mail: zakh.ekb@mail.ru, ofud@neuro-clinic.ru

Статья получена: 29.07.2025
Статья принята к печати: 09.12.2025
Статья опубликована: 23.04.2026

Dysfunctional Variability of Post-Stroke Spastic Akinesia in Light of Rehabilitation Dynamics: A Retrospective Observational Comparative Study

 Yakov Yu. Zakharov^{1,2,*},  Andrey A. Belkin^{1,2},  Dmitry G. Pozdnyakov¹

¹ Clinical Institute of Brain, Berezovsky, Russia

² Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Akinesia of limb segments does not always clearly determine an unfavorable prognosis for post-stroke motor recovery, which may indicate dysfunctional variability that determines uniform clinical manifestations, but different effectiveness of the rehabilitation protocol. It is advisable to search for additional biomarkers that differentiate the dysfunctional pathogenesis of a similar clinical picture.

AIM. Comparison of the effectiveness of motor recovery and spasticity regression after standard and extended (with transcranial neuromodulation) rehabilitation of patients with post-stroke spastic akinesia of the hand with different functional states of the corticospinal tract (CST) in the short term.

MATERIALS AND METHODS. A retrospective observational comparative study included 294 subjects (aged 23 to 83 years; 52.4 % men) with post-stroke spastic akinesia of the hand. Based on the resting motor response threshold, motor evoked potential amplitude, and central motor conduction time of the cortical representation of m. Abductor pollicis brevis of the affected hemisphere, the patients were divided into 3 groups: Group 1 complete CST lesion; Group 2 partial CST lesion; Group 3 intact CST. Each group was divided into subgroups, the representatives of which received a standard rehabilitation course with or without repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). Clinical effectiveness was assessed immediately after the treatment course using the MRC Muscle Scale and mAS.

RESULTS. The highest motor recovery effectiveness in a standard rehabilitation (without rTMS) was observed in group 3 ($p < 0.0167$). rTMS increased motor recovery effectiveness in groups 1 ($p = 0.015$) and 2 ($p = 0.02$). Spasticity regression was observed in the range of 25.7–32.1 % and did not differ significantly in the compared subgroups. A high positive correlation between cases of motor recovery and spasticity regression was identified in subgroups of Group 3.

DISCUSSION. The state of the CST determines not only clinical manifestations, but also the effectiveness of rehabilitation approaches.

CONCLUSION. rTMS in CST lesions demonstrates effectiveness in restoring voluntary movements, but does not affect spasticity. With the preservation of CST, the restoration of motor skills and regression of spasticity are associated with and probably caused by the restitution of the corticoreticular tract.

KEYWORDS: stroke, physical rehabilitation, transcranial magnetic stimulation

For citation: Zakharov Ya.Yu., Belkin A.A., Pozdnyakov D.G. Dysfunctional Variability of Post-Stroke Spastic Akinesia in Light of Rehabilitation Dynamics: A Retrospective Observational Comparative Study. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2026; 25(2):23–32. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-23-32> (In Russ.).

* **For correspondence:** Yakov Yu. Zakharov, E-mail: zakh.ekb@mail.ru, ofud@neuro-clinic.ru

Received: 29.07.2025

Accepted: 09.12.2025

Published: 23.04.2026

ВВЕДЕНИЕ

Начальная степень пареза является наиболее важным предиктором моторного восстановления после инсульта, а начальный паралич подразумевает наихудший прогноз [1, 2]. В патогенезе постинсультной спастической акинезии важную роль играет нарушение функционирования сенсомоторного кольца системы обратной связи между моторной корой, нисходящими двигательными путями, включая кортикоспинальный тракт (КСТ), спинальными мотонейронами и восходящими афферентными путями. При этом КСТ является ключевым элементом данного кольца, обеспечивающим не только нисходящий контроль произвольных движений, но и модуляцию афферентного потока на спинальном уровне. Поражение КСТ приводит к разрыву сенсомоторного кольца, что проявляется нарушением моторного контроля, искажением проприоцептивной обратной связи, дезинтеграцией сенсомоторных и корково-под-

корковых взаимодействий, формированием патологических компенсаторных механизмов. Однако даже полная акинезия конечностей (или их сегментов) не всегда определяет однозначно неблагоприятный прогноз постинсультного восстановления моторики [3–5], что может указывать на дисфункциональную вариативность, определяющую однотипные клинические проявления, но различную эффективность реабилитационного протокола. Учитывая это, целесообразен поиск дополнительных биомаркеров, дифференцирующих дисфункциональный патогенез схожей клинической картины. Так, для пациентов с тяжелыми нарушениями прогностические модели могут принести большую пользу за счет включения нейровизуализационных и нейрофизиологических биомаркеров [6]. В частности, анализ уровня возбудимости первичной моторной коры повышает реабилитационную прогностическую точность клинического обследования для различных групп пациентов [7].

Таким образом, в клинической практике важно проведение сочетанного клинико-нейрофизиологического анализа, указывающего на варианты прогностического моделирования стратегии реабилитационного вмешательства.

ЦЕЛЬ

Сравнение эффективности двигательного восстановления и регресса спастичности после стандартной и расширенной (с транскраниальной нейромодуляцией) реабилитации пациентов с постинсультной спастической акинезией кисти при различном функциональном состоянии КСТ в краткосрочный период.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

В ретроспективное обсервационное исследование по данным регистра нейрореабилитационного центра на основании обработки обезличенных информационных карт включены пациенты с верифицированной постинсультной спастической акинезией кисти, проходившие стандартный курс реабилитационного лечения в сочетании с ритмической транскраниальной магнитной стимуляцией (рТМС) или без нее. Выборка пациентов на основании нейрофизиологических показателей была стратифицирована на 3 группы, каждая из которых была разделена на две подгруппы, получавшие, соответственно, стандартное и расширенное (с дополнительной рТМС) реабилитационное вмешательство. В рамках каждой подгруппы изучалась клиническая эффективность и корреляция эффективности регресса обездвиженности и спастичности кисти непосредственно после курса реабилитации.

Критерии соответствия

Критерии включения: односторонняя спастическая постинсультная слабость верхней конечности (при обязательной обездвиженности и спастичности сегмента «кисть»), обусловленная первичным ишемическим инсультом головного мозга с локализацией нейровизуализационно подтвержденного (магнитной резонансной томографией; компьютерной рентгеновской томографией) очага в бассейне внутренней сонной артерии сроком от 8 до 365 суток.

Критерии невключения: повторный инсульт, нарушение сознания, другие заболевания и травмы центральной и/или периферической нервной системы, нейрохирургическое вмешательство на головном мозге в анамнезе, острые инфекционные заболевания и лихорадка, тяжелая соматическая патология, эпилепсия или эпилептические приступы в анамнезе, эпилептиформная активность, выявленная при проведении электроэнцефалографии, сопутствующее лечение препаратами, влияющими на возбудимость коры головного мозга (антидепрессанты, стимуляторы нервной системы и антипсихотические препараты), прием алкоголя и/или наркотических препаратов (или период их резкой отмены), ранее проводимая стимуляция головного мозга, отсутствие регистрации вызванного моторного ответа от пораженной гемисферы.

Критерии исключения: невыполнение протокола обследования и/или лечения.

Условия проведения

Исследование проведено на базе АНО «Клиника института мозга» (Березовский, Россия).

Продолжительность исследования

В рамках одного курса реабилитационного лечения общей продолжительностью 14 дней.

Анализ в подгруппах

Выраженность двигательного дефицита определялась методом функционального мышечного тестирования с использованием шкалы мышечной силы Совета по медицинским исследованиям (Medical Research Council — MRC) согласно регламенту стандартной клинической практики для сегмента «кисть» отдельно для пораженной и непораженной верхней конечности. Интерпретация по шкале MRC: полное отсутствие произвольной мышечной активности — 0 баллов; нормальная мышечная сила — 5 баллов.

Выраженность спастичности кисти определялась методом мануального тестирования с использованием 6-балльной (диапазон — 0–4 балла) модифицированной шкалы Эшворта (Modified Ashworth Scale of muscle spasticity — mAS) [8, 9].

Всем участникам проводилось исследование моторных вызванных потенциалов (МВП) методом ТМС на электронейромиографах «Нейро-МВП-5», «Нейро-МВП-Микро» с использованием магнитного стимулятора «Нейро-МС/Д» и сдвоенного индуктора «ИДУ-02-100-О» (Нейрософт, Россия). Одноимпульсная диагностическая ТМС осуществлялась в области кортикального представительства короткой мышцы, отводящей большой палец кисти (*m. abductor pollicis brevis*), первичной моторной коры (M1) обоих полушарий и фокусировалась по максимальной амплитуде вызванного моторного ответа контралатеральной верхней конечности (hotspot — зона «горячей точки»). Для характеристики возбудимости первичной моторной коры головного мозга изучался уровень порога моторного ответа покая (ПМО_{покая}), который определялся как минимальная интенсивность (магнитная индукция) стимулятора, выраженная в процентах от максимально возможной интенсивности аппарата с использованием описанного выше койла, необходимая для вызова МВП амплитудой не менее 50 мкВ в 50 % и более предъявленных стимулов (не менее 10 стимулов) в hotspot-фокусе M1 индикаторных мышц. Дополнительно регистрировались максимальная амплитуда МВП при супрамаксимальной стимуляции и время центрального моторного проведения (ВЦМП). Доминантное полушарие определялось с помощью Эдинбургского опросника право- и леворукости (Edinburgh Handedness Inventory) [10].

Все пациенты по уровню функционального состояния КСТ пораженного полушария были разделены на 3 группы: 1-я группа (МВП не регистрируется (ареактивность) — полное поражение КСТ в проекции стандартного кортикального представительства индикаторной мышцы); 2-я группа (повышение ПМО_{покая}, снижение амплитуды МВП, увеличение ВЦМП, частичное поражение КСТ в проекции стандартного кортикального представительства индикаторной мышцы); 3-я группа (исследуемые показатели МВП в пределах норматив-

ных показателей, интактный КСТ в проекции стандартного кортикального представительства индикаторной мышцы).

Описание медицинского вмешательства

Для каждой подгруппы стандартной реабилитации проводился стандартный комплекс реабилитации (суставная гимнастика, миофасциальный стрейтчинг, идеомоторные упражнения, пассивно-активная и активная кинезиотерапия малоподвижных и подвижных сегментов конечностей, периферическая физиотерапия, ортезирование и нейропсихологические занятия) без адьювантной стимуляции мозга (рТМС).

В подгруппах расширенной реабилитации в дополнение к стандартному реабилитационному комплексу пациентам проводилась курсовая (10 ежедневных процедур) стандартная рТМС в проекции кортикального представительства индикаторной (гомолога акинетичной) мышцы непораженной гемисферы в низкочастотном (ингибирующем) режиме (сдвоенным 8-figure индуктором; непрерывно с частотой импульсов 1 Гц; магнитная индукция 100 % ПМО_{покоя}; 1200 импульсов за процедуру).

Методы регистрации исходов

Степень двигательного дефицита (по шкале MRC) и спастичность (по шкале mAS) в сегменте «кисть» пораженной верхней конечности определялись до курса реабилитационного лечения и непосредственно после него.

Основные исходы исследования

Клинический эффект благоприятный, исход в коррекции двигательного дефицита констатировался при увеличении показателя на 1 балл и более по шкале MRC, а в коррекции спастичности — при уменьшении показателя на 0,5 балла и более по шкале mAS сегмента «кисть» пораженной конечности непосредственно по окончании курса реабилитационного лечения.

Этическая экспертиза

Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом ООО «Клиника института мозга» (Березовский, Россия) (Протокол № 006/0503 от 13.05.2024).

Статистический анализ

Размер выборки предварительно не рассчитывался. Статистические расчеты проводились с использованием пакета программ StatPlus (США). Данные представлены в виде выборочного среднего (M) и выборочного стандартного отклонения (SD), а также медианы (Me) и 25 % и 75 % процентилей [25 %; 75 %]; p — достигнутый уровень значимости (статистическая значимость определялась при $p < 0,05$). Для проверки нормальности распределения был выбран критерий Шапиро — Уилка. В случае нормального (гауссовского) распределения при сравнении двух групп использовался одновыборочный t -критерий Стьюдента. В условиях отклонения гипотезы нормальности распределения выборок при сравнении двух групп применялся непараметрический критерий Манна — Уитни. Для корреляционного ана-

лиза использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена (значимость взаимосвязи признавалась при значении $p < 0,05$; коэффициент корреляции (R) считался высоким, если превышал 0,50, средним, если составлял от 0,30 до 0,49, и низким — от 0,10 до 0,29). Для обработки качественных показателей использовался критерий хи-квадрат (χ^2) для произвольной таблицы сопряженности (с поправкой Бонферрони при множественных сравнениях).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В исследование отобрано 294 пациента в возрасте от 23 до 83 лет (мужчин — 53,7 %) с верифицированной постинсультной акинезией кисти на фоне слабости верхней конечности, проходивших реабилитационное лечение. В контрольную группу включено 40 здоровых волонтеров в возрасте от 20 до 85 лет (мужчин — 55 %). Схема исследования представлена на рисунке 1. Общие демографические и клинические характеристики группы пациентов и здоровых добровольцев приведены в таблице 1. Репрезентативность сравниваемых подгрупп в рамках каждой группы и подгрупп отражена в таблице 2.

Основные результаты исследования

При изучении двигательного восстановления изначально обездвиженной кисти (табл. 3) более высокая эффективность в рамках стандартной реабилитации (без рТМС) наблюдалась в 3-й группе ($p = 0,005$ в сравнении с 1-й группой и $p = 0,015$ — 2-й группой). Повышение количества благоприятных исходов двигательного восстановления наблюдалось при рТМС в группах 1 ($p = 0,015$) и 2 ($p = 0,02$). Адьювантная клиническая эффективность рТМС в субпопуляции пациентов 3-й группы не выявлялась. Регресс спастичности наблюдался в диапазоне 25,7–32,1 % и значимо не отличался в сравниваемых подгруппах. Корреляционный анализ благоприятных исходов двигательного восстановления и регресса спастичности выявил высокую положительную корреляцию в подгруппах 3-й группы и среднюю — в подгруппе реабилитации без рТМС 2-й группы.

Нежелательные явления

В процессе проведения курса реабилитации нежелательных явлений не отмечено.

ОБСУЖДЕНИЕ

Постинсультная акинезия кисти, как правило, обусловлена центральным параличом, возникающим при повреждении моторных зон коры или проводящих путей КСТ, что приводит к утрате произвольного двигательного контроля. В случаях функциональной сохранности КСТ отсутствие инициации движений может быть связано с дефицитом активации его нейронов, что отражает нарушение нисходящего двигательного побуждения.

В данном исследовании у пациентов 3-й группы (с блокадой инициации КСТ) выявлена выраженная положительная корреляция между восстановлением моторики и регрессом спастичности, что свидетельствует о сопряженности домен-специфичных саногне-

Таблица 1. Общие демографические и клинические характеристики когорты пациентов
Table 1. General demographic and clinical characteristics of the patient cohort

Показатели / Indicators	Статистический анализ / Statistical analysis	Пациенты / Patients (n = 294)	Контрольная группа / Control group (n = 40)
Возраст, лет / Age, years	Me [25 %; 75 %]	60,8 ± 14,5 61 [52; 70]	60,6 ± 13,8 62 [54; 69]
Пол, женщины / Gender, women		136 (46,3)	18 (45,0)
Пораженная гемисфера, правая / Affected hemisphere, right	n (%)	125 (42,5)	—
Доминантная гемисфера, левая / Dominant hemisphere, left		271 (92,2)	37 (92,5)
MRC кисть, баллы / hand, points	M ± SD	0	5
mAS кисть, баллы / hand, points	Me [25 %; 75 %]	1,43 ± 0,21 1 [1; 2]	0

Примечание: M — среднее значение, SD — стандартное отклонение, Me — медиана, MRC — шкала мышечной силы Совета по медицинским исследованиям, mAS — модифицированная шкала Эшворта для клинической оценки мышечного тонуса.

Note: M — mean value, SD — standard deviation, Me — median, MRC — Medical Research Council Weakness Scale, mAS — modified Ashworth Scale for clinical assessment of muscle tone.



Рис. 1. Схема исследования
Fig. 1. Flow diagram of the study

Примечание: rTMC — ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция.
Note: rTMS — repetitive transcranial magnetic stimulation.

нетических процессов. Данный феномен согласуется с известными данными: спастичность (по шкале Эшворта) коррелирует со степенью структурного поражения кортикострикулярного тракта (КСТ) поврежденной гемисферы, что объясняется доминированием медиального ретикулоспинального тракта контралатерального полушария [11–13]. Вероятно, в условиях ретикулоспинального растормаживания возникает блокада активации КСТ, опосредованная дисфункцией ретикулоталамокортикальных регуляторных контуров [14–17]. Восстановление тормозного контроля КСТ пораженной гемисферы [18] нивелирует гиперактивность медиаль-

ного ретикулоспинального тракта контралатеральной стороны, устраняя блокаду активации ипсилезионного КСТ [12]. Опережающее восстановление КСТ, по сравнению с КСТ, объясняется небольшим расстоянием целевой регенерации аксональных волокон до ядер ретикулярной формации, тогда как функциональное восстановление КСТ реализуется преимущественно через механизмы кортикальной реорганизации [17]. Это подтверждается повышенной эффективностью реабилитации в подгруппах с применением rTMC у пациентов с частичным/полным поражением КСТ [18, 19], где нейромодуляция усиливает компенсаторные механизмы.

Таблица 2. Демографические и клиничко-нейрофизиологические характеристики групп
Table 2. Demographic and clinical-neurophysiologic characteristics of groups

Показатели / Indicators	Группа 1 / Group 1 (n = 137)		Группа 2 / Group 2 (n = 104)		Группа 3 / Group 3 (n = 53)		
	Статистический анализ / Statistical analysis	рТМС / rTMS (n = 74)	без рТМС / without rTMS (n = 63)	рТМС / rTMS (n = 56)	без рТМС / without rTMS (n = 48)	рТМС / rTMS (n = 23)	без рТМС / without rTMS (n = 30)
Возраст, лет / Age, years	M ± SD Me [25 %; 75 %]	61,7 ± 14,7 63 [56; 71]	61,0 ± 14,9 63 [56; 72]	60,9 ± 14,6 63 [54; 71]	60,1 ± 15,0 63 [53; 71]	58,2 ± 15,2 61 [49; 68]	61,6 ± 13,5 64 [55; 70]
Пол, женщины / Gender, women		34 (45,9)	29 (46,0)	27 (48,2)	22 (45,8)	11 (47,8)	14 (46,7)
ПГ, правая / АН, right	n (%)	30 (40,5)	27 (42,8)	23 (41,1)	21 (43,8)	10 (43,5)	12 (40,0)
ДГ, левая / ДН, left		70 (94,5)	57 (90,5)	51 (91,1)	45 (93,8)	21 (91,3)	28 (93,3)
MRC кисть, баллы / MRC hand, points		0	0	0	0	0	0
mAS кисть, баллы / mAS hand, points		1,42 ± 0,38 1,5 [1; 1,5]	1,53 ± 0,40 1,5 [1; 2]	1,41 ± 0,45 1,25 [1; 2]	1,54 ± 0,47 1,5 [1; 2]	1,41 ± 0,44 1,5 [1; 2]	1,47 ± 0,43 1,5 [1; 2]
ПМО_{покоя} ПГ, % / rMT АН, %	M ± SD Me [25 %; 75 %]	МВП не регистрируются / MEP are not registered	89,75 ± 6,28 90 [86,7; 94]*	0,38 ± 0,12 0,39 [0,29; 0,47]*	88,33 ± 7,02 90 [85; 92,2]*	0,40 ± 0,11 0,39 [0,3; 0,48]*	46,61 ± 7,15 47 [42,5; 51,5]^ 4,33 ± 0,56 4,25 [3,9; 4,78]^
ВЦМП, мс / СМСТ, ms		12,0 ± 1,21 12,2 [11,2; 12,7]*	11,94 ± 0,85 12,1 [11,5; 12,5]^	7,18 ± 0,84 7,2 [6,7; 7,9]^	7,18 ± 0,86 7,2 [6,5; 7,9]^		

Примечание: Статистическая достоверность отличий: * — группы пациентов и здоровых ($p < 0,05$), ^ — между сравнимаемыми подгруппами разных групп ($p < 0,05$), МВП — моторные вызванные потенциалы, индуцированные транскраниальной магнитной стимуляцией (нормативные показатели амплитуды: $4,31 \pm 0,54$, $4,25 [3,9, 4,63]$), ПМО_{покоя} — порог моторного ответа покоя (нормативные показатели: $45,80 \pm 5,23, 46 [42, 49]$), ПГ, ДГ — пораженная и доминантная гемисферы головного мозга, ВЦМП — время центрального моторного проведения (нормативные показатели: $7,12 \pm 0,84, 7,2 [6,6, 7,7]$), МРС — шкала мышечной силы Совета по медицинским исследованиям, mAS — рутиническая транскраниальная магнитная стимуляция. Me — медиана, рТМС — ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция.

Note: Statistical significance of differences: * — between groups of patients and healthy people ($p < 0.05$), ^ — between the compared same-type subgroups of different groups ($p < 0.05$), MEP — motor evoked potentials (normal amplitude values: $4.31 \pm 0.54, 4.25 [3.9, 4.63]$), rMT — rest motor threshold (normative values: $45.80 \pm 5.23, 46 [42, 49]$), CMCT — central motor conduction time (normative values: $7.12 \pm 0.84, 7.2 [6.6, 7.7]$), AH, DH — affected and dominant hemispheres of the brain, MRC — Medical Research Council Weakness Scale, mAS — modified Ashworth Scale for clinical assessment of muscle tone, M — mean value, SD — standard deviation, Me — median, rTMS — repetitive transcranial magnetic stimulation.

Таблица 3. Клиническая эффективность реабилитации
Table 3. Clinical effectiveness of rehabilitation

Показатели / Indicators	Группа 1 / Group 1 (n = 137)		Группа 2 / Group 2 (n = 104)		Группа 3 / Group 3 (n = 53)	
	рТМС / rTMS (n = 74)	Без рТМС / without rTMS (n = 63)	рТМС / rTMS (n = 56)	Без рТМС / without rTMS (n = 48)	рТМС / rTMS (n = 23)	Без рТМС / without rTMS (n = 30)
Благоприятные исходы / Favorable outcomes MRC, %	37,8*	15,9 ³	39,2*	16,7 ³	43,5	43,3 ^{1,2}
Благоприятные исходы / Favorable outcomes mAS, %	25,7	28,6	28,5	27,1	30,4	32,1

Примечание: * — статистическая достоверность отличий между сравниваемыми подгруппами в рамках одной группы ($p < 0,05$), ^{1,2,3} — статистическая достоверность отличий между сравниваемыми однотипными подгруппами различных групп ($p < 0,0167$), рТМС — ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция, МРС — шкала мышечной силы Совета по медицинским исследованиям, mAS — модифицированная шкала Эшворта для клинической оценки мышечного тонуса.

Note: * — statistical reliability of differences between the compared subgroups within the same group ($p < 0.05$), ^{1,2,3} — statistical reliability of differences between the compared same-type subgroups of different groups ($p < 0.0167$), rTMS — repetitive transcranial magnetic stimulation, MRC — Medical Research Council Weakness Scale, mAS — modified Ashworth Scale for clinical assessment of muscle tone.

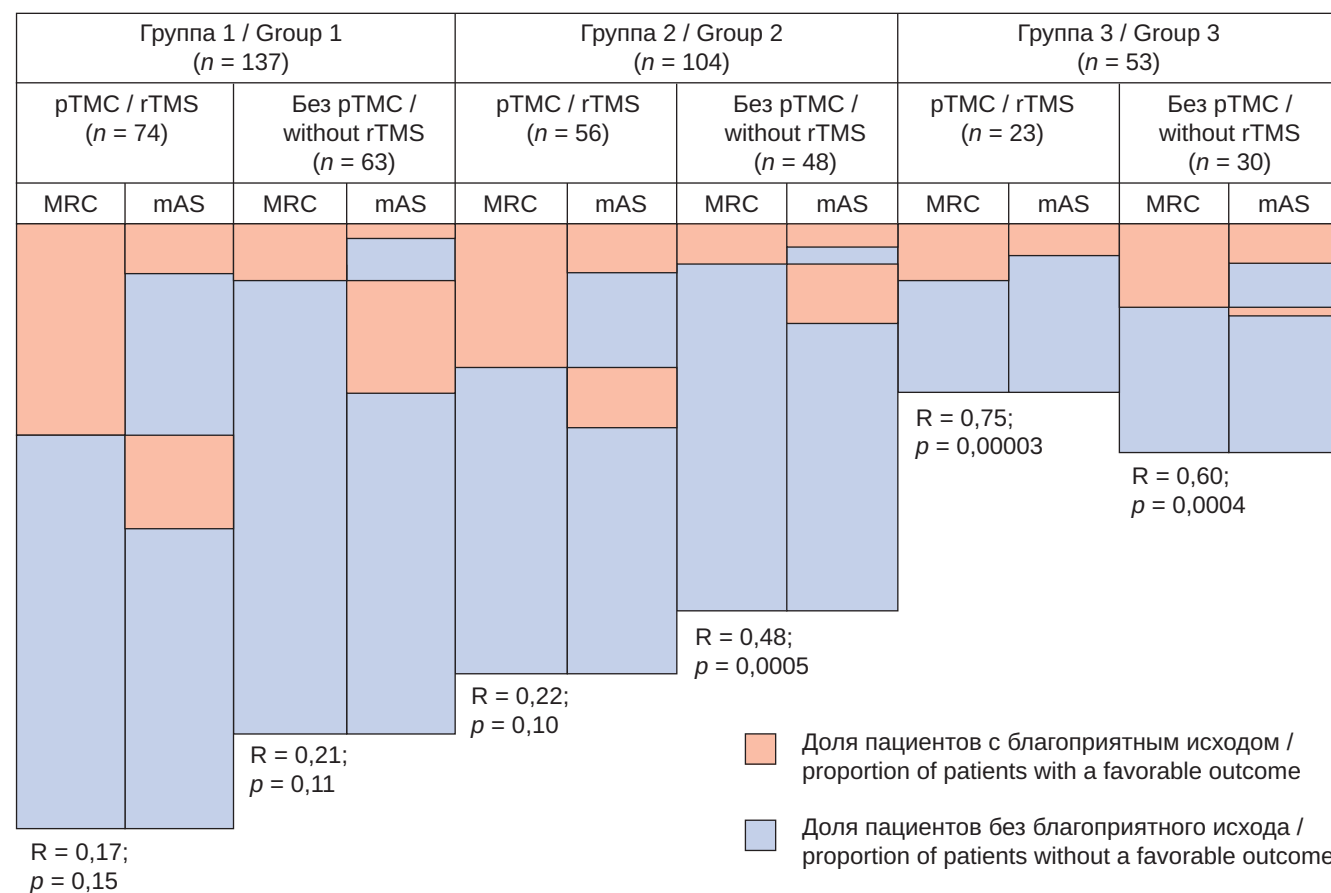


Рис. 2. Корреляция клинических исходов по шкалам МРС и mAS
Fig. 2. Correlation of clinical outcomes on the MRC and mAS scales

Примечание: Жирным шрифтом отмечена значимая корреляция ($p < 0,05$); рТМС — ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция, МРС — шкала мышечной силы Совета по медицинским исследованиям; mAS — модифицированная шкала Эшворта для клинической оценки мышечного тонуса; R — коэффициент ранговой корреляции Спирмена.
Note: Significant correlation is indicated in bold font ($p < 0.05$), rTMS — repetitive transcranial magnetic stimulation, MRC — Medical Research Council Weakness Scale, mAS — modified Ashworth Scale for clinical assessment of muscle tone, R — Spearman's rank correlation coefficient.

Умеренная сопряженность восстановления моторики и уменьшения спастичности в подгруппе стандартного протокола реабилитации при частичном поражении КСТ (группа 2) указывает на некоторое сохранение естественного течения саногенеза в ней, а именно на первоочередное деблокирование интактных единиц КСТ в условиях опережающего восстановления КРТ. При этом эффективность регресса двигательного дефицита при сочетанном поражении КСТ и КРТ лимитируется процессом кортикальной реорганизации КСТ, дополнено усиленным нейропластичностью.

В свою очередь адьювантная рТМС первичной моторной коры интактного полушария не влияет на регресс спастичности, что подтверждает недостаточную роль используемого протокола в модуляции поврежденного КРТ.

Применение рТМС в 1-й и 2-й группах (с поражением КСТ) может рассматриваться как попытка частичного восстановления функции сенсомоторного кольца через активацию сохраненных элементов КСТ, усиление компенсаторной активности альтернативных двигательных путей, модуляцию процессов нейропластичности.

В 3-й группе (с сохраненным КСТ) нарушение функции сенсомоторного кольца носит преимущественно функциональный характер за счет тонико-фазического моторно-моторного разобщения с первичным повреждением КРТ пораженного полушария. В этом случае стандартная реабилитация способствует восстановлению нормального функционирования сенсомоторного кольца через нормализацию проприоцептивной обратной связи, восстановление сенсомоторной и корково-подкорковой интеграции, оптимизацию репаративных процессов.

Таким образом, состояние КСТ как ключевого элемента сенсомоторного кольца определяет не только клинические проявления, но и эффективность различных реабилитационных подходов. Это подтверждает необходимость учета состояния всех компонентов сенсомоторного кольца при планировании индивидуальных программ реабилитации.

Ограничения исследования

Данное исследование ограничено краткосрочным периодом определения эффективности двигательной реабилитации (непосредственно после окончания курса реабилитации); отсутствием распределения пациен-

тов по срокам восстановительного периода после поражения головного мозга. В дальнейшем планируется расширение параметров стратификации (продолжительность постинсультного периода) и оценка динамики регресса двигательного дефицита в отдаленный период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование выделило два ключевых дисфункциональных варианта постинсультной спастической акинезии кисти, определяющих эффективность реабилитации:

1. При поражении КСТ адьювантная рТМС демонстрирует эффективность в восстановлении произвольных движений, но не влияет на спастичность.

2. При сохранности КСТ доминирует механизм тонико-фазического моторно-моторного разобщения, связанный с первичным повреждением КРТ пораженной гемисферы. В этом случае восстановление моторики и регресс спастичности сопряжены и, возможно, зависят от опережающей регенерации поврежденного КРТ.

Выявленная корреляция между динамикой двигательного дефицита и спастичностью подтверждает необходимость стратификации пациентов по типу поражения (КСТ и/или КРТ) для персонализации реабилитации. Оптимизация протоколов требует интеграции методов, направленных на стимуляцию корковой реорганизации (при повреждении КСТ) и усиление аксонального спрутинга при первичном поражении КРТ. Полученные данные подчеркивают важность нейровизуализационной и нейрофизиологической диагностики для прогнозирования исходов и выбора адьювантных стратегий (например, рТМС) в подгруппах с подтвержденным вовлечением КСТ. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка методов направленной нейропластичности ретикулоспинальных путей для коррекции спастичности. Дифференцированный подход к реабилитации должен учитывать состояние всех компонентов сенсомоторного кольца, что требует комплексной оценки проводящей функции двигательных трактов, состояния афферентных путей, интегративной функции сенсомоторной коры, механизмов межполушарного взаимодействия. Это позволит более точно определять мишени терапевтического воздействия и прогнозировать эффективность различных реабилитационных стратегий.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Захаров Яков Юрьевич, кандидат медицинских наук, врач-невролог, врач-физиотерапевт отделения медицинской реабилитации, Автономная некоммерческая организация «Клинический институт мозга»; ведущий научный сотрудник, лаборатория неинвазивной стимуляции мозга, Уральский государственный медицинский университет Минздрава России.

E-mail: zakh.ekb@mail.ru, ofud@neuro-clinic.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5605-011X>

Белкин Андрей Августович, доктор медицинских наук, профессор, директор, Автономная некоммерческая организация «Клинический институт мозга»; заведующий лабораторией неинвазивной стимуляции мозга, Уральский

государственный медицинский университет Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0544-1492>

Поздняков Дмитрий Геннадьевич, заведующий нейрофизиологической лабораторией, Автономная некоммерческая организация «Клинический институт мозга».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0496-1899>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следу-

ющим образом: Захаров Я.Ю. — научное обоснование, методология, проведение исследования, верификация данных, анализ данных, написание черновика рукописи; Белкин А.А. — курация данных, проверка и редактирование рукописи; Поздняков Д.Г. — обеспечение материалов для исследования.

Источники финансирования. Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие других явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическое утверждение. Авторы заявляют, что все процедуры, использованные в данной статье, соответствуют

этическим стандартам учреждений, проводивших исследование, и соответствуют Хельсинкской декларации в редакции 2013 г. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ООО «Клиника института мозга» (Березовский, Россия), Протокол № 006/0503 от 13.05.2024.

Информированное согласие. В исследовании не раскрывается сведений, позволяющих идентифицировать личность пациентов. От всех пациентов/законных представителей было получено письменное согласие на публикацию всей соответствующей медицинской информации, включенной в рукопись.

Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

ADDITIONAL INFORMATION

Yakov Yu. Zakharov, PhD (Med.), Neurologist, Physiotherapist of the Rehabilitation Department, Clinical Institute of Brain; Leading Researcher, Laboratory of Non-Invasive Brain Stimulation, Ural State Medical University.

E-mail: zakh.ekb@mail.ru, ofud@neuro-clinic.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5605-011X>

Andrey A. Belkin, D.Sc. (Med.), Professor, Director, Clinical Institute of Brain; Head of the Laboratory of Non-Invasive Brain Stimulation, Ural State Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0544-1492>

Dmitry G. Pozdnyakov, Head of the Neurophysiological Laboratory, Clinical Institute of Brain.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0496-1899>

Author Contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Zakharov Ya.Yu. — conceptualization, methodology, investigation, validation, data

analysis, writing — original draft; Belkin A.A. — data curation, writing — review & editing; Pozdnyakov D.G. — resources.

Funding. This study was not supported by any external funding sources.

Disclosure. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Ethics Approval. The authors declare that all procedures used in this article are in accordance with the ethical standards of the institutions that conducted the study and are consistent with the 2013 Declaration of Helsinki. The study was approved by the Local Ethics Committee of the Clinical Institute of Brain, Protocol No 006/0503 dated May 13, 2024.

Informed Consent for Publication. The study does not disclose information to identify the patients. Written consent as obtained from all patients /legal representatives for publication of all relevant medical information included in the manuscript.

Data Access Statement. The data that support the findings of this study are available on reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

- Salvalaggio S., Bocconi L., Turolla A. Patient's assessment and prediction of recovery after stroke: a roadmap for clinicians. *Arch Physiother.* 2023; 13(1): 13. <https://doi.org/10.1186/s40945-023-00167-4>
- van der Vliet R., Selles R.W., Andrinopoulou E.R., et al. Predicting Upper Limb Motor Impairment Recovery after Stroke: A Mixture Model. *Ann Neurol.* 2020; 87(3): 383–393. <https://doi.org/10.1002/ana.25679>
- Rosso C., Lamy J.C. Prediction of motor recovery after stroke: being pragmatic or innovative? *Curr Opin Neurol.* 2020; 33(4): 482–487. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000843>
- Jang S.H., Chang C.H., Jung Y.J., Seo Y.S., et al. Recovery process of bilaterally injured corticoreticulospinal tracts in a patient with subarachnoid hemorrhage: Case report. *Medicine (Baltimore).* 2018; 97(50): e13401. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000013401>
- Jang S.H., Cho M.K. Relationship of Recovery of Contralesional Ankle Weakness With the Corticospinal and Corticoreticular Tracts in Stroke Patients. *Am J Phys Med Rehabil.* 2022; 101(7): 659–665. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001881>
- Lin L.Y., Ramsey L., Metcalf N.V., et al. Stronger prediction of motor recovery and outcome post-stroke by cortico-spinal tract integrity than functional connectivity. *PLoS One.* 2018; 13(8): e0202504. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202504>
- Veldema J., Nowak D.A., Gharabaghi A. Resting motor threshold in the course of hand motor recovery after stroke: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil.* 2021; 18(1): 158. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00947-8>
- Bohannon R.W., Smith M.B. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Physical Therapy.* 1987; 67(2): 206–207. <https://doi.org/10.1093/ptj/67.2.206>
- Супонева Н.А., Юсупова Д.Г., Ильина К.А., и др. Валидация Модифицированной шкалы Эшворта (Modified Ashworth Scale) в России. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* 2020; 14(1): 89–96. <https://doi.org/10.25692/ACEN.2020.1.10> [Suponeva N.A., Yusupova D.G., Ilyina K.A., et al. Validation of the Modified Ashworth scale In Russia. *Annals of clinical and experimental neurology.* 2020; 14(1): 89–96. <https://doi.org/10.25692/ACEN.2020.1.10> (In Russ.)]
- Oldfield R.C. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia.* 1971; 9(1): 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Jang S.H., Lee S.J. Corticoreticular Tract in the Human Brain: A Mini Review. *Front Neurol.* 2019; 10: 1188. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.01188>

12. Li S., Chen Y.T., Francisco G.E., et al. A Unifying Pathophysiological Account for Post-stroke Spasticity and Disordered Motor Control. *Front Neurol.* 2019; 10: 468. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00468>
13. Cho M.J., Yeo S.S., Lee S.J., Jang S.H. Correlation between spasticity and corticospinal/corticoreticular tract status in stroke patients after early stage. *Medicine (Baltimore).* 2023; 102(17): e33604. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000033604>
14. Claassen J., Kondziella D., Alkhachroum A., et al. Cognitive Motor Dissociation: Gap Analysis and Future Directions. *Neurocrit Care.* 2024; 40(1): 81–98. <https://doi.org/10.1007/s12028-023-01769-3>
15. Halassa M.M., Acsády L. Thalamic Inhibition: Diverse Sources, Diverse Scales. *Trends Neurosci.* 2016; 39(10): 680–693. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2016.08.001>
16. Murata Y., Colonnese M.T. Thalamic inhibitory circuits and network activity development. *Brain Res.* 2019; 1706: 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2018.10.024>
17. Bósz E., Plattner V.M., Biró L., et al. A cortico-subcortical loop for motor control via the pontine reticular formation. *Cell Rep.* 2025; 44(2): 115230. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2025.115230>
18. Jang S.H., Seo Y.S. Difference between injuries of the corticospinal tract and corticoreticulospinal tract in patients with diffuse axonal injury: a diffusion tensor tractography study. *Int J Neurosci.* 2020; 130(2): 124–129. <https://doi.org/10.1080/00207454.2019.1667779>
19. Grefkes C., Fink G.R. Reorganization of cerebral networks after stroke: New insights from neuroimaging with connectivity approaches. *Brain.* 2011; 134(5): 1264–1276. <https://doi.org/10.1093/brain/awr033>
20. Guo Z., Jin Y., Bai X., et al. Distinction of high- and low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on the functional reorganization of the motor network in stroke patients. *Neural Plast.* 2021; 2021: 8873221. <https://doi.org/10.1155/2021/8873221>

Оценка прорегенераторного действия секрета мезенхимальных стромальных клеток пантов алтайского марала: результаты экспериментального исследования

 **Ерёмин П.С.,**  **Марков П.А.***

Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Известно, что секретом мезенхимальных стромальных клеток (МСК) обладает высокой эффективностью в терапии различных заболеваний. Однако существуют ограничения, препятствующие его широкому внедрению в клиническую практику, например, донорская вариабельность, возраст донора, состояние здоровья, генетические особенности. В связи с этим ведется поиск новых подходов и методов решения данной проблемы. Уникальным природным ресурсом являются панты алтайского марала (ПМ), представляющие собой природный «биореактор» стволовых клеток и факторов роста. Несмотря на все возрастающий интерес к этому объекту, на сегодняшний день отсутствуют исследования по оценке прорегенераторного действия секрета МСК ПМ.

ЦЕЛЬ. Охарактеризовать компонентный состав и биологическую активность секрета стволовых клеток ПМ для научного обоснования возможности их использования в качестве основы для разработки бесклеточных терапевтических продуктов регенеративной медицины.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследование проводилось на базе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России» с октября по декабрь 2025 г. Концентрирование секрета МСК ПМ и жировой ткани (ЖТ) человека проводили методом лиофилизации. Прорегенеративное действие секретов МСК ПМ и МСК ЖТ оценивали на модели кислотно-индуцированного повреждения фибробластов (ФБ) человека. С использованием методов световой и люминесцентной микроскопии, а также методов проточной цитометрии оценивали морфологию, пролиферативную активность и количество живых, апоптотических и мертвых клеток в популяции ФБ человека.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Установлено, что концентрация факторов роста в секрете МСК ПМ в среднем на 50 % выше по сравнению с МСК ЖТ. Выявлена способность МСК ПМ стимулировать жизнеспособность ФБ с кислотно-индуцированным повреждением, что выражается в восстановлении их пролиферативной активности, увеличении количества живых клеток в популяции с 48 ± 7 % до 85 ± 3 % и снижении количества апоптотических клеток с 24 ± 4 % до 5 ± 1 %. Показано, что эффективность стимулирующего действия секрета МСК ПМ сопоставима с прорегенеративным действием секрета МСК ЖТ человека.

ОБСУЖДЕНИЕ. Полученные результаты дополняют данные литературы и демонстрируют, что секретом МСК ПМ, являющийся ксеногенным по отношению к ФБ человека, способен оказывать прорегенераторное действие и стимулировать восстановление клеточной популяции ФБ с кислотно-индуцированным повреждением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Полученные результаты подтверждают перспективность использования МСК ПМ и МСК ЖТ в качестве биологического ресурса для разработки бесклеточных терапевтических продуктов, а также подчеркивают необходимость выбора оптимального метода получения секрета для максимального сохранения его функциональной активности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: клеточный секрет, стромально-васкулярная фракция пантов алтайского марала, стромально-васкулярная фракция жировой ткани человека, фибробласты, регенерация

Для цитирования / For citation: Ерёмин П.С., Марков П.А. Оценка прорегенераторного действия секрета мезенхимальных стромальных клеток пантов алтайского марала: результаты экспериментального исследования. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(2):33–41. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-33-41> [Eremin P.S., Markov P.A. Assessment of the Pro-Regenerative Activity of the Altai Maral Antler Mesenchymal Stromal Cell Secretome: Experimental Study Results. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(2):33–41. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-33-41> (In Russ.).]

* **Для корреспонденции:** Марков Павел Александрович, E-mail: markovpa@nmicrk.ru, p.a.markov@mail.ru

Статья получена: 24.02.2026
Статья принята к печати: 05.03.2026
Статья опубликована: 23.04.2026

Assessment of the Pro-Regenerative Activity of the Altai Maral Antler Mesenchymal Stromal Cell Secretome: Experimental Study Results

 Petr S. Eremin,  Pavel A. Markov*

National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. It is known that the secretome of mesenchymal stromal cells exhibits high efficacy in the therapy of various diseases. However, there are limitations hindering its widespread introduction into clinical practice, such as donor variability including donor age, health status, and genetic characteristics. In this regard, the search for new approaches and methods to address this issue is ongoing. A unique natural resource is the antlers of the Altai maral, which represent a natural "bioreactor" of stem cells and growth factors. Despite the increasing interest in this subject, to date there are no studies evaluating the pro-regenerative effect of the secretome from Altai maral antler mesenchymal stromal cells.

AIM. To characterize the component composition and biological activity of the stem cell secretome from Altai maral antlers to scientifically substantiate the possibility of its use as a basis for the development of cell-free therapeutic products in regenerative medicine.

MATERIALS AND METHODS. The study was conducted at the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of Russia, from October to December 2025. Concentration of the secretome from Altai maral antler mesenchymal stromal cells (MSC-MA) and human adipose tissue mesenchymal stromal cells (MSC-AT) was performed by lyophilization. The pro-regenerative effect of the MSC-MA and MSC-AT secretomes was evaluated using a model of acid-induced damage to human fibroblasts. Using light and luminescence microscopy, as well as flow cytometry, the morphology, proliferative activity, and the number of live, apoptotic, and dead cells in the human fibroblast population were assessed.

RESULTS. It was established that the concentration of growth factors in the MSC-MA secretome is on average 50 % higher compared to MSC-AT. The ability of MSC-MA to stimulate the viability of fibroblasts with acid-induced damage was revealed, which is expressed in the restoration of their proliferative activity, an increase in the number of live cells in the population from 48 ± 7 % to 85 ± 3 %, and a decrease in the number of apoptotic cells from 24 ± 4 % to 5 ± 1 %. It was shown that the effectiveness of the stimulating effect of the MSC-MA secretome is comparable to the pro-regenerative effect of the human MSC-AT secretome.

DISCUSSION. The obtained results complement the literature data and demonstrate that the MSC-MA secretome, which is xenogeneic with respect to human fibroblasts, is capable of exerting a pro-regenerative effect and stimulating the recovery of the fibroblast cell population with acid-induced damage.

CONCLUSION. The obtained results confirm the promising potential of using MSC-AS and MSC-AT as a biological resource for the development of cell-free therapeutic products, and also emphasize the need to select an optimal method for obtaining the secretome to maximally preserve its functional activity.

KEYWORDS: cellular secretome, stromal-vascular fraction of Altai maral antler, stromal-vascular fraction of human adipose tissue, fibroblasts, regeneration

For citation: Eremin P.S., Markov P.A. Assessment of the Pro-Regenerative Activity of the Altai Maral Antler Mesenchymal Stromal Cell Secretome: Experimental Study Results. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(2):33–41. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-33-41> (In Russ.).

* **For correspondence:** Pavel A. Markov, E-mail: markovpa@nmicrk.ru, p.a.markov@mail.ru

Received: 24.02.2026

Accepted: 05.03.2026

Published: 23.04.2026

ВВЕДЕНИЕ

Мезенхимальные стромальные клетки (МСК) на протяжении последних десятилетий рассматривались как один из наиболее перспективных инструментов регенеративной медицины благодаря их способности к дифференцировке, иммуномодуляции и поддержанию тканевого гомеостаза. Однако эффективность их применения переменчива, и многочисленные исследовательские работы по использованию МСК не показали заявленного результата. Несмотря на большое число испытаний, зарегистрированных на платформе clinicaltrials.gov [1], существует проблема стандартизации клеточного продукта, что отражается в ограниченном количестве одобренных регулируемыми органами методов лечения с использованием МСК.

Накопленные данные свидетельствуют, что терапевтические эффекты МСК обусловлены преимущественно

их паракринной активностью, а не прямой дифференцировкой и замещением поврежденных тканей. Согласно современным оценкам, около 80 % регенеративного потенциала МСК связано именно с секретируемыми факторами [2, 3].

Клеточный секретом представляет собой совокупность всех белков, секретируемых МСК, включая компоненты кондиционированной среды, экзосомы и другие биологически активные вещества. Установлено, что секретом МСК обладает многочисленными свойствами, ускоряющими заживление острых ран, в том числе стимулирует пролиферативную активность фибробластов (ФБ) и кератиноцитов, способствует ангиогенезу, оказывает противовоспалительное, антифиброзное и антиоксидантное действие [4, 5].

Известно, что секретом МСК обладает высокой эффективностью в терапии различных нейродегенератив-

ных заболеваний, повреждений нервной ткани, дефектов хряща и восстановления костной ткани [6]. Однако существуют ограничения, препятствующие его широкому внедрению в клиническую практику. В первую очередь это сложность стандартизации состава секретомы, характеристики присутствующих биоактивных соединений, дозировки, оптимизации доставки и механизма действия [7].

Кроме того, следует учитывать, что МСК из разных тканей (жировая ткань (ЖТ), костный мозг, пупочный канатик, пульпа зуба) имеют различные секреторные профили. Например, секретом МСК ЖТ богат ангиогенными факторами, что делает его предпочтительным для стимуляции васкуляризации. МСК пупочного канатика демонстрируют более выраженные иммуномодулирующие свойства. Также существенное значение имеют такие факторы, как донорская вариабельность: возраст донора, состояние здоровья и генетические особенности [8].

В этой связи все большее внимание исследователей привлекает бесклеточная терапия, основанная на применении секретомы МСК, совокупности биоактивных молекул (цитокинов, факторов роста, внеклеточных везикул), секретиремых клетками в культуральную среду. Секретом лишен многих недостатков клеточной терапии, сохраняя при этом ключевые регенеративные свойства: противовоспалительное, антиапоптотическое, проангиогенное и иммуномодулирующее действие.

Особый интерес представляет поиск новых, доступных и эффективных источников секретомы. Уникальным природным ресурсом являются панты алтайского марала (ПМ) — молодые, неокостеневшие рога оленя, обладающие феноменальной скоростью роста (до 2 см в сутки) и являющиеся природным «биореактором» стволовых клеток и факторов роста [9]. Традиционно используемые в восточной медицине, панты в последние годы стали объектом интенсивного научного изучения [10–12].

ЦЕЛЬ

Провести сравнительный анализ компонентного состава и биологической активности секретомы стволовых клеток ПМ и секретомы стволовых клеток стромально-васкулярной фракции ЖТ человека для научного обоснования возможности их использования в качестве основы для разработки бесклеточных терапевтических продуктов регенеративной медицины.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России с октября по декабрь 2025 г. Для получения кондиционированной среды использовали стандартный протокол ведения клеточных культур. При достижении клетками 70–85 % монослоя отбирали ростовую среду, дважды промывали в стерильном сбалансированном солевом растворе (фосфатно-солевой буфер Дульбекко — DPBS) и добавляли обогащенную питательную среду DMEM (1000 г/л глюкозы) с содержанием двухпроцентной сыворотки. Инкубировали при стандартных условиях (37 °C, 5 % CO₂) в течение 72 часов. Для очистки от клеточного дебриса супернатант проводили через фильтр-

сита, размер пор 40 мкм, с последующей стерилизацией шприцевым фильтром (0,22 мкм).

Получение кондиционированной среды методом лиофилизации

В работе использовали сушильную камеру Abat ЛФ-06 серии LIGHT (Abat, Россия). В камере объемом 42 л проводилась температурная обработка при низком давлении (менее 10 мбар) и температуре от –10 °C до –15 °C. Образцы стерильного супернатанта помещали в чашки Петри диаметром 94 мм, объемом 15 мл. Полное высушивание занимало 18 часов. После процедуры лиофилизации в стерильных условиях образовавшийся сухой порошок смывали с поверхности чашки Петри 3 мл DPBS и проводили через шприцевой фильтр (0,22 мкм) в стерильную пробирку.

Для имитации физико-химических условий острого воспаления ФБ человека инкубировали 30 минут при 39 °C в закисленной до pH 6,0 питательной среде. Затем в клеточную суспензию вносили DPBS и центрифугировали при 1700 об/мин в течение 5 минут. Дальнейшее культивирование клеток проводили в стандартных условиях. Закисление среды осуществляли с использованием молочной кислоты. Для контроля повреждения клеток применяли оценку количества живых, мертвых и апоптотических клеток в популяции. Повреждение считалось смоделированным при снижении количества живых клеток в популяции на 20–30 % и увеличении количества апоптотических клеток в два раза.

Оценку биосовместимости проводили в условиях *in vitro* с использованием ФБ человека (HdFb d281), полученных из банка клеточных культур «Коллекция клеточных культур» Центра коллективного пользования Института биологии развития им. Н.К. Кольцова Российской академии наук.

Морфометрические характеристики клеток оценивали методом световой и люминесцентной микроскопии (Leica Microsystems). Жизнеспособность клеток оценивали с использованием набора Calcein AM согласно протоколу производителя (Calcein AM Cell Viability Assay Kit, Servicebio).

Оценку количества живых, апоптотических и мертвых клеток в популяциях ФБ проводили методом точной цитометрии с использованием цитофлуориметра BD FACSCanto II (Becton Dickinson and Company, США) и коммерческого набора (FITC Annexin V Apoptosis Detection Kit, Pharmingen, США).

Полученные данные были обработаны программами Statistica 10, SPSS версии 20 (SPSS, Inc., Chicago, IL, США) и Microsoft Excel 2007. Данные представляли в виде среднего арифметического ± стандартного отклонения. Значимость различий была определена при помощи однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) и парного сравнения (post hoc) критерия Тьюки.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В рамках исследования были получены и охарактеризованы фракции биологически активных компонентов, выделенные из кондиционированной среды (КС) МСК двух источников: ПМ и ЖТ человека (рис. 1).

Результаты оценки компонентного состава КС показали, что обе линии МСК продуцируют широкий спектр

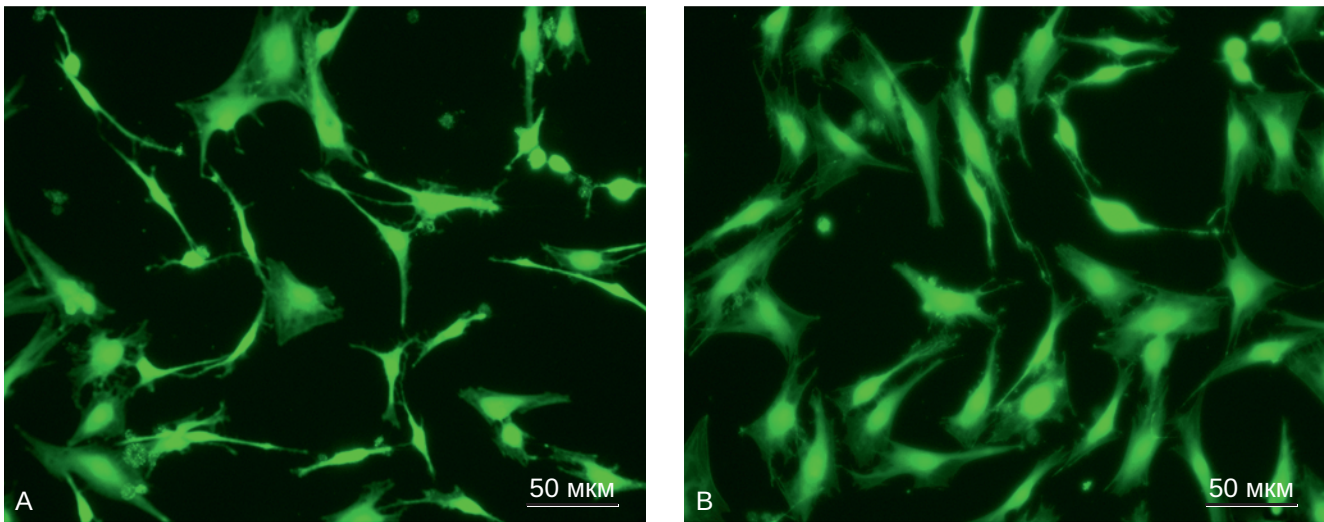


Рис. 1. Мезенхимальные стромальные клетки пантов алтайского марала (А) и жировой ткани человека (В); увеличение $\times 200$, масштабный отрезок 50 мкм, люминесцентная микроскопия, окрашивание ацетоксиметилловым эфиром кальцеина

Fig. 1. Maral antler mesenchymal stromal cells (A) and human adipose tissue-derived mesenchymal stromal cells (B). Note: Magnification $\times 200$, scale bar 50 μm , luminescence microscopy, Calcein Acetoxymethyl ester staining

цитокинов, факторов роста и белков, однако с заметными количественными и качественными различиями. В частности, в среде, полученной от МСК ПМ, были обнаружены значительно более высокие концентрации VEGF, TGF- $\beta 1$ и IGF-1 (табл. 1). Полученные результаты указывают на потенциально более выраженный регенеративный потенциал секретомата МСК ПМ.

На следующем этапе исследования оценивали клеточные реакции ФБ человека на компоненты КС от МСК ПМ и МСК ЖТ. Для этого проводили концентрирование КС методом лиофилизации. В результате были получены образцы концентрированной КС (ККС) МСК ПМ и МСК ЖТ, содержащие 27 ± 3 мг/мл и 15 ± 3 мг/мл белка соответственно.

Прорегенеративное действие ККС из МСК ПМ и МСК ЖТ оценивали на модели кислотно-индуцированного

повреждения ФБ. Выявлено, что ФБ, предварительно инкубированные в кислой среде с pH 6 (ФБ_{-кп}), характеризуются сниженной адгезивной способностью: через 2 часа инкубации в стандартных условиях культивирования количество адгезированных клеток более чем в два раза меньше, чем в группах с интактными ФБ (ФБ_{-инт}). Кроме того, анализ жизнеспособности клеток показал, что в популяции ФБ_{-кп} увеличивается количество апоптотических и мертвых клеток (табл. 2).

Через 24 часа инкубации ФБ_{-инт} приобретают веретеновидную форму (рис. 2), увеличиваются в размерах и пролиферируют (табл. 3). За этот же промежуток времени большая часть адгезированных ФБ_{-кп} также трансформируется в веретеновидную форму, однако их размеры на 40 % меньше, чем у ФБ_{-инт} (рис. 2, табл. 3).

Таблица 1. Характеристика компонентного состава клеточного секретомата мезенхимальных стромальных клеток пантов алтайского марала и жировой ткани человека

Table 1. Characterization of the Component Composition of the Cellular Secretome from Altai Maral Antler Mesenchymal Stromal Cells and Human Adipose Tissue

Компоненты / Components	Клеточный секретом МСК / Cell Secretome MSC	
	пантов марала / maral antler	жировой ткани человека / human adipose tissue
Общий белок, мг/мл / Total protein, mg/mL	$5,7 \pm 0,5^*$	$4,1 \pm 0,5$
VEGF, пг/мл / VEGF, pg/mL	$1820,5 \pm 145,6^*$	$620,2 \pm 85,9$
TGF- $\beta 1$, пг/мл / TGF- $\beta 1$, pg/mL	$950,2 \pm 70,5^*$	$410,7 \pm 51,2$
IGF-1, пг/мл / IGF-1, pg/mL	$1120,7 \pm 98,2^*$	$680,2 \pm 64,2$

Примечание: данные представляли в виде среднего арифметического значения \pm стандартное отклонение, $n = 5$, * — различия достоверны по сравнению с мезенхимальными стромальными клетками жировой ткани человека при $p < 0,05$, МСК — мезенхимальные стромальные клетки, VEGF — фактор роста эндотелия сосудов, TGF- $\beta 1$ — трансформирующий ростовой фактор бета-1; IGF-1 — инсулиноподобный фактор роста-1.

Note: data are presented as the arithmetic mean \pm standard deviation, $n = 5$, * — differences are significant compared to Human Adipose Tissue MSCs at $p < 0.05$, MSC — mesenchymal stromal cells, VEGF — vascular endothelial growth factor, TGF- $\beta 1$ — transforming growth factor beta-1; IGF-1 — insulin-like growth factor-1.

Таблица 2. Характеристика функциональной активности и жизнеспособности фибробластов человека с кислотно-индуцированным повреждением

Table 2. Characterization of the functional activity and viability of human fibroblasts with acid-induced damage

Фибробласты / Fibroblasts	Количество клеток, шт. / 200 мкм ² / Cell count per 200 μm ²	Популяционный состав, % / Population composition, %		
		Живые клетки / Live cells	Апоптотические клетки / Apoptotic cells	Мертвые клетки / Necrotic cells
ФБ _{-ИНТ} / FB _{-ИНТ}	65 ± 7	92 ± 3	4 ± 1	5 ± 2
ФБ _{-КП} / FB _{-АД}	24 ± 5*	58 ± 7*	17 ± 4*	22 ± 2*

Примечание: данные представляли в виде среднего арифметического значения ± стандартного отклонения, n = 5, * — различия достоверны по сравнению с ФБ_{-ИНТ} при p < 0,05, ФБ_{-ИНТ} — интактные фибробласты, ФБ_{-КП} — фибробласты с кислотно-индуцированным повреждением.

Note: data are presented as the arithmetic mean ± standard deviation, n = 5, * — differences are significant compared to FB_{-ИНТ} at p < 0.05, FB_{-ИНТ} — intact fibroblasts, FB_{-АД} — fibroblasts with acid-induced damage.

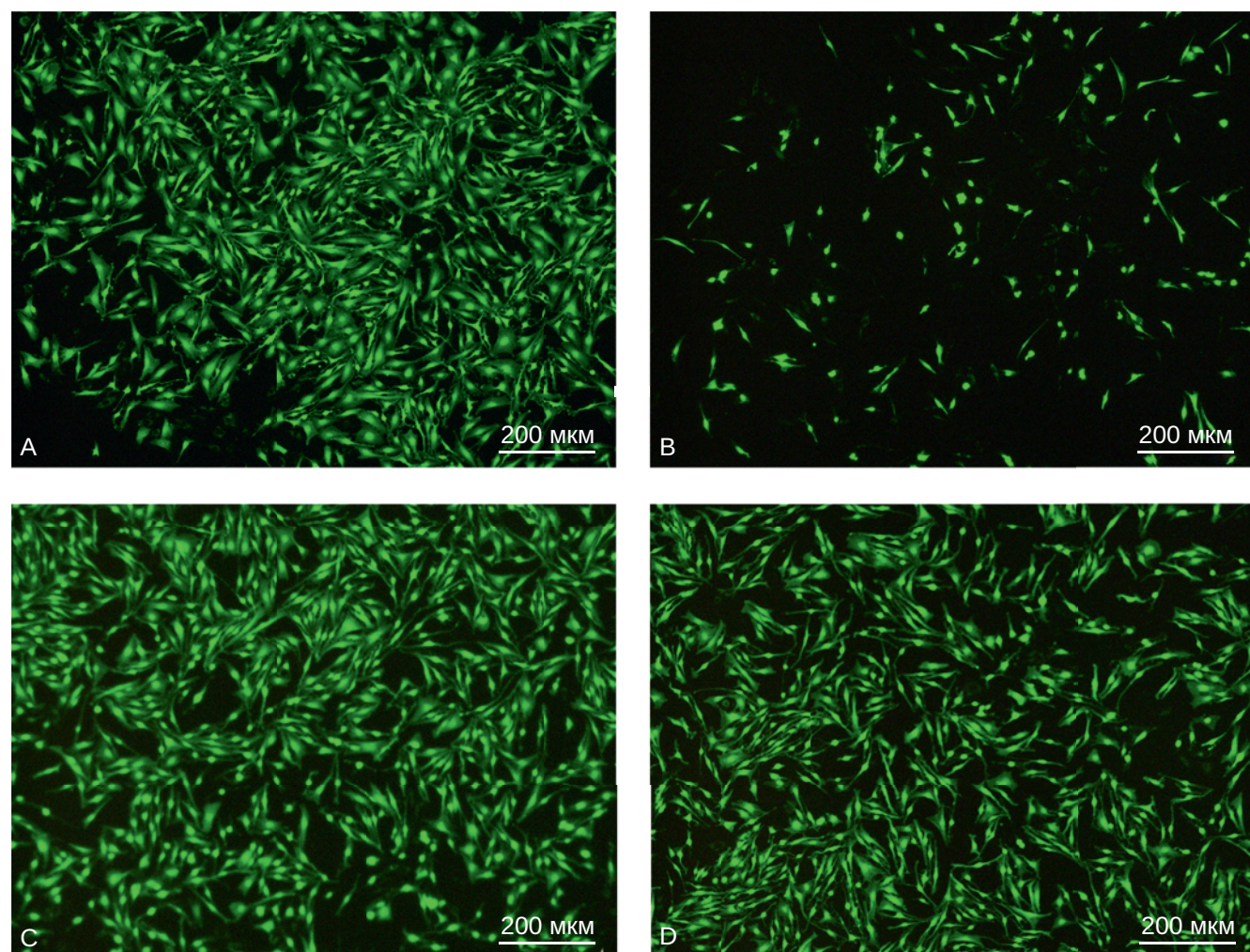


Рис. 2. Фибробласты человека на поверхности культурального пластика через 24 часа инкубации в стандартных условиях культивирования

Fig. 2. Human fibroblasts on the surface of culture plastic after 24 hours of incubation in standard culture medium

Примечание: А — интактные фибробласты, В — фибробласты с кислотно-индуцированным повреждением, С — фибробласты с кислотно-индуцированным повреждением, инкубированные с концентрированным клеточным секретом мезенхимальных стромальных клеток пантов марала, D — фибробласты с кислотно-индуцированным повреждением, инкубированные с концентрированным клеточным секретом мезенхимальных стромальных клеток жировой ткани человека. Люминесцентная микроскопия, увеличение ×50, размер шкалы 200 мкм, окрашивание Calcein AM.

Note: A — intact fibroblasts, B — fibroblasts with acid-induced damage, C — fibroblasts with acid-induced injury incubated with concentrated cellular secretome from maral antler mesenchymal stromal cells, D — fibroblasts with acid-induced injury incubated with concentrated cellular secretome from human adipose-derived mesenchymal stromal cells. Luminescence microscopy, magnification ×50, scale bar 200 μm, Calcein AM staining.

Кроме того, ФБ_{-кп} характеризуются сниженным пролиферативным потенциалом: за 24 часа культивирования их количество не увеличивается (рис. 2, табл. 3).

Выявлено, что внесение в культуральную среду ККС из МСК ПМ и МСК ЖТ восстанавливает функциональную активность и жизнеспособность ФБ_{-кп}, что выражается в восстановлении морфологии и размеров клеток, а также конфлюэнтности монослоя популяции ФБ (рис. 2, табл. 3).

Данные микроскопии и морфологического анализа согласуются с результатами проточной цитометрии и анализа количества живых, апоптотических и мертвых клеток в популяции. Инкубация поврежденных ФБ_{-кп} в культуральных средах, обогащенных ККС из МСК ПМ и МСК ЖТ, увеличивает количество жизнеспособных клеток в популяции до уровня, сопоставимого с интактными клетками (табл. 4).

Таблица 3. Морфология и количество фибробластов через 24 часа инкубации в концентрированных кондиционированных средах, *in vitro*

Table 3. Morphology and number of fibroblasts after 24 hours of incubation in concentrated conditioned media, *in vitro*

Фибробласты / Fibroblasts	Количество клеток, шт. / 200 мкм ² / Cell count per 200 μm ²	Длина клеток, мкм / Cell length, μm
ФБ _{-инт} / FB _{-INT}	82 ± 7	118 ± 23
ФБ _{-кп} / FB _{-AD}	33 ± 8 ^a	74 ± 14 ^a
ФБ _{-кп} + ККС МСК ПМ / FB _{-AD} + MSCs MA	77 ± 7 ^b	124 ± 19 ^b
ФБ _{-кп} + ККС МСК ЖТ / FB _{-AD} + MSCs AT	79 ± 7 ^b	129 ± 18 ^b

Примечание: данные представляли в виде среднего арифметического значения ± стандартное отклонение, n = 5, ^a — различия достоверны по сравнению с ФБ_{-инт} при p < 0,05; ^b — различия достоверны по сравнению с ФБ_{-кп} при p < 0,05, ФБ_{-инт} — интактные фибробласты, ФБ_{-кп} — фибробласты с кислотно-индуцированным повреждением, ФБ_{-кп} + ККС МСК ПМ — фибробласты с кислотно-индуцированным повреждением, инкубированные с концентрированным клеточным секретом мезенхимальных стромальных клеток пантов марала, ФБ_{-кп} + ККС МСК ЖТ — фибробласты с кислотно-индуцированным повреждением, инкубированные с концентрированным клеточным секретом мезенхимальных стромальных клеток жировой ткани человека.

Note: data are presented as mean ± standard deviation, n = 5, ^a — differences are significant compared to FB_{-INT} at p < 0.05; ^b — differences are significant compared to FB_{-AD} at p < 0.05, FB_{-INT} — intact fibroblasts, FB_{-AD} — fibroblasts with acid-induced damage, FB_{-AD} + MSCs MA — fibroblasts with acid-induced injury incubated with concentrated cellular secretome from maral antler mesenchymal stromal cells, FB_{-AD} + MSCs AT — fibroblasts with acid-induced injury incubated with concentrated cellular secretome from human adipose-derived mesenchymal stromal cells.

Таблица 4. Количество живых, апоптотических и мертвых клеток в популяции фибробластов через 24 часа инкубации в концентрированных кондиционированных средах, *in vitro*

Table 4. Number of live, apoptotic, and dead cells in the fibroblast population after 24 hours of incubation in concentrated conditioned media, *in vitro*

Фибробласты / Fibroblasts	Популяционный состав, % / Population composition		
	Живые клетки / Live cells	Апоптотические клетки / Apoptotic cells	Мертвые клетки / Necrotic cells
ФБ _{-инт} / FB _{-INT}	91 ± 3	4 ± 1	3 ± 2
ФБ _{-кп} / FB _{-AD}	48 ± 7 ^a	24 ± 4 ^a	23 ± 4 ^a
ФБ _{-кп} + ККС МСК ПМ / FB _{-AD} + MSCs MA	85 ± 3 ^{a,b}	5 ± 1 ^a	10 ± 3 ^{a,b}
ФБ _{-кп} + ККС МСК ЖТ / FB _{-AD} + MSCs AT	88 ± 3 ^b	5 ± 3	7 ± 2

Примечание: данные представляли в виде среднего арифметического значения ± стандартное отклонение, n = 5, ^a — различия достоверны по сравнению с ФБ_{-инт} при p < 0,05, ^b — различия достоверны по сравнению с ФБ_{-кп} при p < 0,05, ФБ_{-инт} — интактные фибробласты, ФБ_{-кп} — фибробласты с кислотно-индуцированным повреждением, ФБ_{-кп} + ККС МСК ПМ — фибробласты с кислотно-индуцированным повреждением, инкубированные с концентрированным клеточным секретом мезенхимальных стромальных клеток пантов марала, ФБ_{-кп} + ККС МСК ЖТ — фибробласты с кислотно-индуцированным повреждением, инкубированные с концентрированным клеточным секретом мезенхимальных стромальных клеток жировой ткани человека.

Note: data are presented as mean ± standard deviation, n = 5, ^a — differences are significant compared to FB_{-INT} at p < 0.05, ^b — differences are significant compared to FB_{-AD} at p < 0.05, FB_{-INT} — intact fibroblasts, FB_{-AD} — fibroblasts with acid-induced damage, FB_{-AD} + MSCs MA — fibroblasts with acid-induced injury incubated with concentrated cellular secretome from maral antler mesenchymal stromal cells, FB_{-AD} + MSCs AT — fibroblasts with acid-induced injury incubated with concentrated cellular secretome from human adipose-derived mesenchymal stromal cells.

ОБСУЖДЕНИЕ

Терапия на основе МСК продемонстрировала положительные результаты в широком спектре доклинических моделей и клинических испытаний при лечении заболеваний человека. В контексте трансплантации МСК широко признано, что основным механизмом регенеративного потенциала МСК являются не сами клетки и их способность к дифференцировке, а паракринная активность: терапевтические эффекты МСК в основном объясняются действием их секрета, то есть совокупностью факторов, секретируемых этими клетками. Это делает бесклеточный подход более предпочтительным благодаря направленной эффективности и безопасности [13].

В практической и экспериментальной медицине основным и наиболее распространенным источником МСК является ЖТ человека [14]. Кроме того, в качестве клеток-продуцентов секрета изучаются стволовые клетки пульпы зуба [15], клетки сетчатки глаза [16], МСК амниотической жидкости [17], пуповинной крови и пуповинного канатика [18], костного мозга [19] и др. Интерес к новым источникам МСК и их секретом обусловлен поиском наиболее эффективного по прорегенераторному действию состава клеточного секрета.

Изучение биологических свойств пантов марала применительно к их использованию в регенеративной медицине вызвано высокой пролиферативной активностью клеточного компонента и наличием широкого спектра факторов роста. Однако большинство рекомендаций по терапевтическому применению пантов основано на опыте традиционной (преимущественно восточной) медицины, где панты оленей используются преимущественно в виде биологически активной добавки к пище или при наружном применении (ванны, компрессы, мази).

Результаты проведенного исследования дополняют уже известные экспериментальные данные по применению пантов марала с целью регенерации тканей [20] и демонстрируют, что панты марала являются не толь-

ко сырьем для традиционной медицины, но и сложным биологическим комплексом с высоким регенеративным, противовоспалительным и адаптогенным потенциалом.

Одним из направлений исследований в экспериментальной и трансляционной медицине является направленная функционализация биологического действия раневых покрытий и имплантируемых биоматериалов [21]. Таким образом, полученные результаты расширяют возможности направленной функционализации раневых покрытий и имплантируемых биоматериалов для стимуляции регенерации мягких и твердых тканей.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на стандартизацию методов получения активных субстанций из пантов и углубленное изучение механизмов их действия на молекулярном уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что секретом стволовых клеток ПМ характеризуется высокими концентрациями сигнальных молекул и цитокинов прорегенеративного действия, значительно превосходящими аналогичный показатель секрета стволовых клеток стромально-васкулярной фракции ЖТ человека.

Выявлено, что клеточный секретом стволовых клеток ПМ обладает способностью стимулировать жизнеспособность ФБ и восстанавливать их пролиферативную активность в условиях *in vitro*, имитирующих острую стадию воспаления. Эффективность стимулирующего действия секрета стволовых клеток ПМ сопоставима с прорегенеративным действием секрета стволовых клеток стромально-васкулярной фракции ЖТ человека.

Полученные результаты подтверждают перспективность использования МСК ПМ и МСК ЖТ в качестве биологического ресурса для разработки бесклеточных терапевтических продуктов, а также подчеркивают необходимость выбора оптимального метода получения секрета для максимального сохранения его функциональной активности.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Ерёмин Петр Серафимович, научный сотрудник, лаборатория клеточных технологий, отдел биомедицинских технологий, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8832-8470>

Марков Павел Александрович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, отдел биомедицинских технологий, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

E-mail: markovpa@nmicrk.ru, p.a.markov@mail.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4803-4803>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают свое авторство в соответствии с международными критериями ICMJE (все

авторы внесли значительный вклад в концепцию, дизайн исследования и подготовку статьи, прочитали и одобрили окончательный вариант до публикации). Наибольший вклад распределен следующим образом: Ерёмин П.С. — анализ данных, верификация данных, написание черновика рукописи; Марков П.А. — научное обоснование, написание черновика рукописи, проверка и редактирование рукописи.

Источники финансирования. Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

ADDITIONAL INFORMATION

Petr S. Eremin, Researcher, Laboratory of Cellular Technologies, Department of Biomedical Technologies, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8832-8470>

Pavel A. Markov, PhD (Biol.), Leading Researcher, Department of Biomedical Technologies, National Medical Research Center of Rehabilitation and Balneology.

E-mail: markovpa@nmicrk.ru, p.a.markov@mail.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4803-4803>

Author Contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors

contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Eremin P.S. — formal analysis, validation, writing — original draft; Markov P.A. — conceptualization, writing — original draft, writing — review & editing.

Funding. This study was not supported by any external funding sources. Disclosure. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Data Access Statement. The data that support the findings of this study are available on reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

- Lu W., Allickson J. Mesenchymal stromal cell therapy: Progress to date and future outlook. *Mol Ther.* 2025; 33(6): 2679–2688. <https://doi.org/10.1016/j.ymthe.2025.02.003>
- Ma H., Siu W.S., Leung P.C. The Potential of MSC-Based Cell-Free Therapy in Wound Healing-A Thorough Literature Review. *Int J Mol Sci.* 2023; 24(11): 9356. <https://doi.org/10.3390/ijms24119356>
- Sohrabi B., Dayeri B., Zahedi E., et al. Mesenchymal stem cell (MSC)-derived exosomes as novel vehicles for delivery of miRNAs in cancer therapy. *Cancer Gene Ther.* 2022; 29(8–9): 1105–1116. <https://doi.org/10.1038/s41417-022-00427-8>
- Li X., Zhang D., Yu Y., Wang L., Zhao M. Umbilical cord-derived mesenchymal stem cell secretome promotes skin regeneration and rejuvenation: From mechanism to therapeutics. *Cell Prolif.* 2024; 57(4): e13586. <https://doi.org/10.1111/cpr.13586>
- Bar J.K., Lis-Nawara A., Grelewski P.G. Dental Pulp Stem Cell-Derived Secretome and Its Regenerative Potential. *Int J Mol Sci.* 2021; 22(21): 12018. <https://doi.org/10.3390/ijms222112018>
- Trzyna A., Banaś-Ząbczyk A. Adipose-Derived Stem Cells Secretome and Its Potential Application in “Stem Cell-Free Therapy”. *Biomolecules.* 2021; 11(6): 878. <https://doi.org/10.3390/biom11060878>
- Singh N., Choonara Y.E., Kumar P. Method standardization of secretome production, collection, and characterization: New insights and challenges. *Regen Ther.* 2025; 29: 466–473. <https://doi.org/10.1016/j.reth.2025.04.005>
- Zununi Vahed S., Hejazian S.M., Bakari W.N., et al. Milking mesenchymal stem cells: Updated protocols for cell lysate, secretome, and exosome extraction, and comparative analysis of their therapeutic potential. *Methods.* 2025; 238: 40–60. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2025.03.004>
- Renecker L. Producing & Processing Reindeer Velvet Antler. 1994; 8.
- Khvorost O., Rudnyk A., Fedchenkova Y., et al. Prospects for expanding the range of medicinal products based on velvet antlers. *Social Pharmacy in Health Care.* 2025; 11: 80–92. <https://doi.org/10.24959/sphhcj.25.347>
- Смирнова И.Н., Суслов Н.И., Хлусов И.А. и др. Экспериментальное обоснование применения пантов марала на фоне экстремальных психоэмоциональных нагрузок. *Биомедицина.* 2019; 3: 33–40. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-15-3-33-40> [Smirnova I.N., Suslov N.I., Khlusov I.A., et al. Experimental substantiation of the use of maral deer antlers for combating extreme psycho-emotional stress. *Journal Biomed.* 2019; 3: 33–40. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-15-3-33-40> (In Russ.)]
- Лунин К.П., Турецкова В.Ф., Макарова О.Г. Изучение стабильности высушенной крови марала в условиях стресс-испытаний. *Фармация.* 2018; 67(4): 29–33. <https://doi.org/10.29296/25419218-2018-04-06> [Lunin K.P., Turetskova V.F., Makarova O.G. Investigation of the stability of dried maral (*cervus elaphus*) blood during stress tests. *Pharmacy.* 2018; 67(4): 29–33. <https://doi.org/10.29296/25419218-2018-04-06> (In Russ.)]
- Верещагина С.В., Смирнова И.Н., Абдулкина Н.Г., Баранкин Б.В. Эффективность использования оленьих рогов из бархатной скорлупы марала в коррекции нарушений иммунной системы у спортсменов. *Современные вопросы биомедицины.* 2021; 5(4): 1. https://doi.org/10.51871/2588-0500_2021_05_04_1 [Vereshchagina S.V., Smirnova I.N., Abdulkina N.G., Barankin B.V. The effectiveness of using maral velvet antlers in the correction of immune dysfunction in athletes. *Modern Issues of Biomedicine.* 2021; 5(4): 1. https://doi.org/10.51871/2588-0500_2021_05_04_1 (In Russ.)]
- Еремин П.С., Рожкова Е.А., Гильмутдинова И.Р. Возможности использования клеточного секретомы для стимуляции регенерации мягких тканей: обзор. *Вестник восстановительной медицины.* 2025; 24(5): 106–112. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-5-106-112> [Eremin P.S., Rozhkova E.A., Gilmudtinova I.R. Possibilities of Using Cellular Secretome to Stimulate Soft Tissue Regeneration: a Review. *Bulletin of Rehabilitation Medicine.* 2025; 24(5): 106–112. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-5-106-112> (In Russ.)]
- Sendera A., Kubis H., Pałka A., Banaś-Ząbczyk A. Therapeutic and Clinical Potential of Adipose-Derived Stem Cell Secretome for Skin Regeneration. *Cells.* 2025; 14(21): 1727. <https://doi.org/10.3390/cells14211727>
- Bar J.K., Lis-Nawara A., Grelewski P.G. Dental Pulp Stem Cell-Derived Secretome and Its Regenerative Potential. *Int J Mol Sci.* 2021; 22(21): 12018. <https://doi.org/10.3390/ijms222112018>
- Donato L., Scimone C., Alibrandi S., et al. Human retinal secretome: A cross-link between mesenchymal and retinal cells. *World J Stem Cells.* 2023; 15(7): 665–686. <https://doi.org/10.4252/wjsc.v15.i7.665>
- Klaymook S., Tirawanchai N., Wichitwiengrat S., et al. MSC secretome from amniotic fluid halts IL-1β and TNF-α inflammation via the ERK/MAPK pathway, promoting cartilage regeneration in OA *in vitro*. *J Stem Cells Regen Med.* 2024; 20(1): 3–13. <https://doi.org/10.46582/jsrm.2001002>
- Jarquín-Yáñez K., Aguilar-Sandoval D.M., Piñón-Zárate G., et al. Growth Factor-Primed WJ-MSC Secretome Enhances Fibroblast Expansion *In vitro*. *Biomedicines.* 2025; 13(12): 2863. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13122863>
- Михайлов Н.О., Глухов А.А., Андреев А.А. и др. Клинико-морфологические аспекты применения измельченных слайсов пантов марала в лечении асептических ран мягких тканей. *Московский хирургический журнал.* 2025; 1: 148–155. <https://doi.org/10.17238/2072-3180-2025-1-148-155> [Mikhailov N.O., Glukhov A.A., Andreev A.A., et al. Clinical and morphological aspects of the use of crushed maral antler slices in the treatment of aseptic soft tissue wounds. *Moscow Surgical Journal.* 2025; 1: 148–155. <https://doi.org/10.17238/2072-3180-2025-1-148-155> (In Russ.)]

21. Марков П.А., Костромина Е.Ю., Фесюн А.Д., Еремин П.С. Обоснование использования магниточувствительных биоматериалов в клинической практике для стимуляции регенерации костных тканей: обзор литературы. Вестник восстановительной медицины. 2024; 23(3): 69–76. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-69-76> [Markov P.A., Kostromina E.Yu., Fesyun A.D., Eremin P.S. Rationale of Using Magnetically Sensitive Biomaterials in Bone Tissue Therapy: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3): 69–76. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-69-76> (In Russ.).]
22. Марков П.А., Еремин П.С., Торлопов М.А., Мартаков И.С., Михайлов В.И. Биофункционализация альгинатного гидрогеля магнитными наночастицами: результаты экспериментального исследования. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(4): 121–129. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-121-129> [Markov P.A., Eremin P.S., Torloпов M.A., Martakov I.S., Mikhailov V.I. Use of Magnetic Nanoparticles for Biofunctionalization of Alginate Hydrogel: Experimental Study Findings. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(4): 121–129. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-4-121-129> (In Russ.).]

Оригинальная статья / Original article

DOI: <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-42-52>

Походка у детей 10–13 лет со спастической диплегией после многоуровневых ортопедических вмешательств: ретроспективное исследование

 Долганова Т.И.^{1,*},  Гатамов О.И.²,  Томов А.Д.³,  Долганов Д.В.¹,
 Насипжанов О.Ф.¹,  Попков Д.А.¹

¹ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова Минздрава России, Курган, Россия

² Федеральный научно-клинический центр медицинской реабилитации и курортологии Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

³ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова Минздрава России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Одновременные или последовательные двусторонние многоуровневые ортопедические вмешательства — методы выбора хирургической ортопедической коррекции.

ЦЕЛЬ. Определить закономерности изменения кинематических и кинетических параметров походки у детей со спастической диплегией, которым выполнялись многоуровневые двусторонние ортопедические хирургические вмешательства в ранний подростковый период.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Ретроспективное исследование 68 пациентов с детским церебральным параличом (ДЦП) проводилось на базе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России (Курган, Россия) с января 2018 г. по март 2025 г. Группы: I — пациентам ранее не проводились хирургические вмешательства на мышечном аппарате нижних конечностей ($n = 38$), II — выполнялись вмешательства на трицепсах голени ($n = 30$); подгруппы: А — уровень I–II GMFCS (Система классификации больших моторных функций), Б — уровень III GMFCS. Кинематические данные регистрировали оптическими камерами Qualisys 7+ , синхронизированными с шестью динамометрическими платформами KISTLER (Kistler Group, Швейцария).

РЕЗУЛЬТАТЫ. Статистически значимые отличия между группами выявлены по показателю «опорный толчок» в период 1–2-го года после операции, когда мощность сокращений у ранее не оперированных пациентов I–II GMFCS была на 40–50 % выше. Суммарная мощность сокращений мышц увеличивается к 3–4 годам после операции, но сохраняется сниженной на 20 % в группе 2 уровня III GMFCS.

ОБСУЖДЕНИЕ. Полученные результаты подтверждают улучшение интегрального показателя походки (GPS) для всех групп. Снижение скорости ходьбы в сочетании с увеличением двуопорного периода в цикле шага является негативным аспектом эволюции походки. Неблагоприятным фактором, объединяющим возрастные и хирургические аспекты, является выполнение фибромиотомий, фибротомий, удлинение ахиллова сухожилия в раннем возрасте, когда еще не развились ретракции мышц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. У детей с уровнем I–II GMFCS и без ранних вмешательств на мышечном аппарате эволюция параметров походки сопровождается увеличением скорости ходьбы, улучшением кинематических и кинетических параметров. У детей с уровнем I–II GMFCS, которым выполнялись вмешательства на трицепсах голени, и уровнем III GMFCS в процессе реабилитации отсутствует увеличение скорости ходьбы. Сопряженная динамика скоростных и мощностных параметров походки отражала адекватное энергообеспечение биомеханики движений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: церебральный паралич, многоуровневые вмешательства, отдаленные результаты, подростки

Для цитирования / For citation: Долганова Т.И., Гатамов О.И., Томов А.Д., Долганов Д.В., Насипжанов О.Ф., Попков Д.А. Походка у детей 10–13 лет со спастической диплегией после многоуровневых ортопедических вмешательств: ретроспективное исследование. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(2):42–52. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-42-52> [Dolganova T.I., Gatamov O.I., Tomov A.D., Dolganov D.V., Nasipzhanov O.F., Popkov D.A. Gait in Children Aged 10–13 Years with Spastic Diplegia after Multilevel Orthopedic Interventions: A Retrospective Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(2):42–52. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-42-52> (In Russ.)]

* Для корреспонденции: Долганова Тамара Игоревна, E-mail: rjik532007@rambler.ru, office@rncvto.ru

Статья получена: 17.09.2025
Статья принята к печати: 15.10.2025
Статья опубликована: 23.04.2026

Gait in Children Aged 10–13 Years with Spastic Diplegia after Multilevel Orthopedic Interventions: A Retrospective Study

 Tamara I. Dolganova^{1,*},  Orkhan I. oglu Gatamov²,  Akhmed D. Tomov³,
 Dmitry V. Dolganov¹,  Orifzhan F. Nasipzhanov¹,  Dmitry A. Popkov¹

¹ National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Ortopaedics, Kurgan, Russia

² Federal Scientific and Clinical Center for Medical Rehabilitation and Balneology of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia

³ Priorov Central Institute for Trauma and Ortopaedics, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Simultaneous or sequential bilateral multilevel orthopedic interventions are methods for choosing surgical orthopedic correction.

AIM. To determine patterns of change in kinematic and kinetic gait parameters in children with spastic diplegia who underwent multilevel bilateral orthopedic surgery in early adolescence.

MATERIALS AND METHODS. A retrospective study of 68 patients with cerebral palsy (CP) was conducted at the National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Ortopaedics (Kurgan, Russia) from January 2018 to March 2025. Groups: I patients who had not previously undergone lower limb muscular surgery ($n = 38$); II patients who had undergone triceps brachii surgery ($n = 30$); subgroups: A GMFCS level I–II, B GMFCS level III. Kinematic data were recorded using Qualisys 7+ optical cameras synchronized with six KISTLER dynamometric platforms (Kistler Group, Switzerland).

RESULTS. Statistically significant differences were found between the groups for the support impulse during the period of 1–2 years after the surgery, when the contraction power in previously unoperated patients with GMFCS levels I–II was 40–50 % higher. Following the surgery, there is an increase in total muscle contraction power after a period of 3–4 years; however, GMFCS level III in group 2 remains reduced by 20 %.

DISCUSSION. The results confirm an improvement in the integrated gait performance (GPS) for all groups. A decrease in walking speed, combined with an increase in the double-support period of the gait cycle, is a negative aspect of gait evolution. An unfavorable factor, combining age and surgical aspects, is the performance of fibromyotomies, fibrotomies, and Achilles tendon lengthening at an early age, when muscle retractions have not yet developed.

CONCLUSION. In children with GMFCS Levels I–II and without early muscular interventions, there is an evolution of gait parameters concomitant with an increase in walking speed and improvement in kinematic and kinetic parameters. In children with GMFCS Levels I–II after triceps surae interventions and GMFCS Level III, no increase in walking speed has been observed during the rehabilitation. The coupled dynamics of speed and power parameters of gait reflected adequate energy supply of the biomechanics of movements.

KEYWORDS: cerebral palsy, multilevel interventions, long-term outcomes, adolescents

For citation: Dolganova T.I., Gatamov O.I., Tomov A.D., Dolganov D.V., Nasipzhanov O.F., Popkov D.A. Gait in Children Aged 10–13 Years with Spastic Diplegia after Multilevel Orthopedic Interventions: A Retrospective Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(2):42–52. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-42-52> (In Russ.).

* **For correspondence:** Tamara I. Dolganova, E-mail: rjik532007@rambler.ru, office@rncvto.ru

Received: 17.09.2025

Accepted: 15.10.2025

Published: 23.04.2026

ВВЕДЕНИЕ

Общепризнано, что развитие вторичных ортопедических осложнений ведет как к снижению двигательной активности, так и к потере ранее приобретенных навыков и существенному ухудшению качества жизни [1–4]. Для хирургической ортопедической коррекции методом выбора считаются одновременные двусторонние (или последовательные двусторонние с небольшим временным интервалом) многоуровневые ортопедические вмешательства, сопровождающиеся единым реабилитационным периодом [5–9]. Оптимальным возрастом выполнения многоуровневых вмешательств признается период 10–16 лет, особенно во второй половине пубертатного ускорения роста, когда риск рецидивов ортопедических проблем снижается [10, 11]. Существуют достаточно разнообразные возрастные периодизации развития человека. Период непосредственно в начале пубертатного скачка

роста (предпубертатного ускорения роста, 10–11 лет у девочек и 10–13 лет у мальчиков) может описываться как первая треть подросткового периода, когда происходит активизация росткового процесса и отмечается возрастание темпов роста в длину длинных костей нижних конечностей [12–14]. Именно в этот период формируются ортопедические осложнения детского церебрального паралича (ДЦП), уже определяющие показания к хирургической коррекции [5, 15]. Отметим также роль неоснованных ранних вмешательств удлинения ахиллова сухожилия или различных вариантов чрескожных фибромиотомий (на стадии спастичности, до развития мышечной ретракции), критично ослабляющих трицепс голени и ведущих к развитию ятрогенной ортопедической патологии на нижних конечностях [16–18].

Компьютерный 3D-анализ походки остается наиболее точным инструментом для оценки двигательных

нарушений и измерения ортопедических деформаций и контрактур, а также предиктором эффективности ортопедического хирургического лечения [6–8, 10].

ЦЕЛЬ

Определить закономерности изменения кинематических и кинетических параметров походки у детей со спастической диплегией, которым выполнялись многоуровневые двусторонние ортопедические хирургические вмешательства в ранний подростковый период.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Одноцентровое динамическое ретроспективное нерандомизированное исследование проведено в ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» (Курган, Россия) (научная лаборатория Клиники нейроортопедии и системных заболеваний), одобрено локальным этическим комитетом (Протокол № 2(57) от 17.05.2018). Период проведения: январь 2018 г. — март 2025 г.

В данное исследование было включено 68 пациентов со спастической формой церебрального паралича, которым проводилось двустороннее ортопедическое многоуровневое вмешательство.

Критериями включения явились возраст проведения операции 10–13 лет, возможность выполнения компьютерного анализа походки в установленные сроки обследования (до операции, в интервалах 1–2 и 3–4 года после операции), уровни поражения глобальных моторных функций I, II, III GMFCS, интервал не менее 6 месяцев после сеанса ботулинотерапии, отсутствие в анамнезе выполнения селективной дорзальной ризотомии.

Критерии исключения: более тяжелые уровни нарушения глобальных моторных функций, недостаточное проведение инструментального анализа походки, возраст на момент выполнения многоуровневого вмешательства менее 10 и более 13 лет, выполнение ортопедической операции на одной анатомической области.

После анализа 513 случаев для исследования было отобрано 68 человек, которые соответствовали критериям включения. Характеристики групп представлены в таблице 1, иллюстрирующей сопоставимость групп.

Учитывая хирургический анамнез, пациенты были разделены на две группы:

- I группа — пациенты, которым ранее не проводились хирургические вмешательства на мышечном аппарате нижних конечностей. Это 38 человек, из них с уровнем I–II GMFCS — 26 человек, средний возраст — $11,8 \pm 1,7$ года, с уровнем III GMFCS — 12 человек, средний возраст — $11,1 \pm 0,7$ года;
- II группа — пациенты, которым выполнялись вмешательства на трицепсах голени (удлинение ахиллова сухожилия, так называемые малоинвазивные фибромиотенотомии в раннем возрасте. Это 30 человек, из них с уровнем I–II GMFCS — 17 человек, средний возраст — $12,6 \pm 1,8$ года, с уровнем III GMFCS — 13 человек, средний возраст — $12,5 \pm 1,7$ года.

Перед операцией и на этапах отдаленного послеоперационного периода пациентам, помимо клиноручевого обследования, проводился компьютерный

анализ походки. Пациенты ходили самостоятельно или придерживаясь за одну руку родителя, босиком на 7-метровой дорожке с привычной для них скоростью. Кинематические данные регистрировали оптическими камерами Qualisys 7+, синхронизированными с шестью динамометрическими платформами KISTLER (Kistler Group, Швейцария). При установке маркеров использовали модель IOR. Анализ кинематики и кинетики проводили в программах QTM (Qualisys) и Visual3D (C-Motion) с автоматизированным расчетом значений¹ [19, 20].

Статистическая обработка данных включала методы описательной статистики (программа AtteStat 12.0.5). Проверка выборок на подчинение нормальному закону распределения проводилась по критерию Шапиро — Уилка. В выборочных совокупностях нормальность распределения не подтверждена. Данные анализировались с использованием непараметрических критериев, средние значения представлены в виде Me [Q1; Q3]. Статистическую значимость различий определяли с использованием критерия Вилкоксона с принятием уровня значимости $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В различных сочетаниях между собой были выполнены следующие элементы оперативных вмешательств (всего 432): апоневротомия *m. psoas major* — по 4 в I и II группах; удлинение *m. adductor longus* — по 14 в группах; удлинение *m. gracilis* — по 32 и 26 соответственно; удлинение медиальных сгибателей коленного сустава — по 36 и 28; низведение надколенника — по 12 и 20; апоневротомия *m. gastrocnemius* (Strayer) в сочетании или без апоневротомии *m. soleus* — по 38 и 18; чрескожная ахиллопластика по Ноке — по 14 и 6; подтаранный артрорез по Grice — по 6 и 8; удлинение латеральной колонны стопы по Evans — по 26 и 20; тенodes *m. tibialis post* — по 26; деторсионная остеотомия бедра — по 12 и 8; деторсионная остеотомия костей голени — по 2; таранно-ладьевидный артрорез — по 8 и 12; корригирующая остеотомия первой плюсневой кости — по 2 и 12 соответственно. В среднем на одно вмешательство пришлось 3,2 элемента операции.

Существенным различием между группами служило выполнение во всех случаях в группе I удлинения трицепса голени (в большинстве случаев за счет апоневротомии икроножных мышц), а в группе II более чем в половине случаев — низведение надколенника. Отметим, что и в группе II потребовалось удлинение трицепса голени у 18 из 30 пациентов, но это было уже повторное вмешательство на указанной мышце.

Пространственно-временные характеристики и интегральный индекс походки представлены в таблице 1.

1 Аксенов А.Ю., Клишковская Т.А. Программа формирования отчета биомеханики ходьбы человека. Патент RU № 2020665238. 24.11.2020 г. Доступно на: https://elibrary.ru/download/elibrary_44443021_78708169.PDF. [Aksenov A.Yu., Klishkovskaya T.A. Program for the formation of a human walking biomechanics report. Patent RU No. 2020665238. November 24, 2020. Available from: https://elibrary.ru/download/elibrary_44443021_78708169.PDF (In Russ.)]

Таблица 1. Пространственно-временные характеристики походки. Данные представлены в виде медианы Me [Q1; Q3]
Table 1. Spatial and temporal characteristics of gait. The data is presented as the median Me [Q1; Q3]

Группа / Group	GMFCS	До операции / Before the operation	1–2 года / 1–2 years	3–4 года / 3–4 years
Обобщенный индекс походки [GPS] / Gait profile score				
1	I–II	13,9 [11,8; 16,6]	13,4 [9,2; 15,1]	12,5 [6,9; 15,3]
	III	16,8 [13,7; 23,9]	13,7 [12,9; 14,3]	14,4 [12,6; 14,8]
2	I–II	14,5 [13,6; 16,4]	12,0 [11,6; 12,6] ²	14,3 [12,5; 16,2]
	III	17,4 [15,4; 18,7]	16,2 [14,9; 18,9] ^{*.1}	15,4 [12,2; 16,7]
Скорость, м/с / Speed, m/s				
1	I–II	0,89 [0,66; 1,05]	0,73 [0,59; 0,83]	0,87 [0,7; 1,0]
	III	0,69 [0,59; 0,76]	0,58 [0,57; 0,62]	0,45 [0,27; 0,58] ^{1,2}
2	I–II	0,64 [0,59; 0,85]	0,64 [0,38; 0,69]	0,52 [0,47; 0,84]
	III	0,65 [0,43; 0,74]	0,31 [0,23; 0,62] ^{*.1,2}	0,44 [0,42; 0,48]
Длительность периода опоры, % цикла шага / Stance time, % of the step cycle				
1	I–II	63,1 [62,2; 66,7]	66,8 [63,2; 69,6]	65,6 [64,1; 66,7]
	III	65,6 [60,1; 69,1]	68,5 [64,7; 72,1]	73,9 [70,1; 80,9] ²
2	I–II	64,6 [62,4; 71,2]	68,9 [64,6; 73,9]	66,8 [66,0; 73,5]
	III	69,5 [66,3; 72,7]	71,9 [67,2; 81,1]	75,2 [73,3; 76,2]
Длительность неопорного периода, % цикла шага / Swing time, % of the step cycle				
1	I–II	37,1 [33,3; 38,3]	32,7 [28,8; 36,3]	34,0 [32,0; 35,6]
	III	34,0 [30,9; 38,1]	31,6 [27,9; 35,3]	26,4 [19,1; 29,4] ²
2	I–II	35,2 [29,1; 37,5]	31,3 [26,2; 35,3]	33,2 [26,4; 34,1]
	III	30,8 [27,3; 33,6]	28,2 [18,9; 33,4]	24,9 [23,1; 26,7]
Длительность двуопорного периода, % цикла шага / Double limb support phase, % of the step cycle				
1	I–II	26,2 [24,7; 31,2]	31,3 [28,8; 37,0]	30,4 [29,3; 36,2]
	III	30,8 [29,4; 36,8]	34,2 [30,8; 37,3]	45,4 [36,2; 49,1] ²
2	I–II	29,6 [25,4; 34,3]	39,3 [28,5; 46,2]	34,9 [30,7; 38,0]
	III	36,1 [31,3; 43,9]	46,7 [34,1; 56,3] [*]	46,8 [38,8; 52,8]

Примечание: * — достоверные ($p < 0,05$) отличия по критерию между группами по идентичному уровню GMFCS на данном сроке сравнения, ¹ — достоверные ($p < 0,05$) отличия внутри данной группы между уровнями GMFCS на данном сроке сравнения, ² — достоверные ($p < 0,05$) различия с предоперационным значением внутри группы по данному уровню GMFCS.

Note: * — significant ($p < 0.05$) differences in criterion between groups with identical GMFCS levels at this time of comparison, ¹ — significant ($p < 0.05$) differences within this group between GMFCS levels at this comparison period, ² — significant ($p < 0.05$) differences with the preoperative value within the group for this GMFCS level.

У большинства пациентов GPS становится ниже предоперационных значений в отдаленный период наблюдения более чем на 10 %, что определяется как диагностически значимое улучшение глобальной оценки кинематических параметров походки. Исключение составляют пациенты уровней I–II GMFCS из группы II, где GPS становится равен исходному в отдаленный период. Для обеих групп отмечается одинаковая тенденция снижения скорости ходьбы в среднесрочный и отдаленный периоды наблюдения. Увеличение относительной длительности периода опоры и длительности двойного двуопорного периода достоверно увеличивается в обеих подгруппах III GMFCS за счет значимого снижения длительности фазы переноса в цикле шага. Особенности кинематических параметров (табл. 2) в предоперационный

период в обеих подгруппах III GMFCS отражают характеристики, типичные для развития приседающей походки (crouch gait — CG).

Хирургическое лечение позволило улучшить/нормализовать амплитуды движений в коленном и голеностопном суставах в обеих группах. При этом для подгруппы I–II GMFCS группы I критичным изменением явилось устранение эквинусной установки стопы без развития избыточного сгибания коленного сустава в опорную фазу цикла шага. А для подгрупп III GMFCS и подгруппы I–II GMFCS группы II оперативное вмешательство достоверно улучшило углы максимального и минимального сгибания коленного сустава в опорную фазу, а также позицию колена в момент первичного контакта, устранив элементы flexed-knee gait на протяжении всего периода наблюдения.

Таблица 2. Динамика кинематических параметров. Данные представлены в виде медианы Me [Q1; Q3]

Table 2. Dynamics of kinematic parameters. The data is presented as the median Me [Q1; Q3]

Группа / Group	GMFCS	До операции / Before the operation	1–2 года / 1–2 years	3–4 года / 3–4 years
Максимальная тыльная флексия в опорную фазу / Maximum back flexion in the reference phase				
1	I–II	12 [6,9; 15,6] [*]	15,2 [10,3; 19,7]	12,1 [3,4; 15,5]
	III	23 [19,4; 30,98] ¹	16,1 [10,3; 19,9] ²	18,0 [14,4; 19,7]
2	I–II	19,4 [14,1; 25,9]	14,7 [9,7; 20,3]	14,3 [6,5; 24,7]
	III	23,4 [15,98; 27,8]	13,1 [7,2; 19,1] ²	16,4 [9,6; 20,2]
Позиция колена при первичном контакте / Knee position during initial contact				
1	I–II	21,7 [14,3; 28,7] [*]	17,8 [10,0; 24,3]	16,6 [11,0; 28,2]
	III	47,0 [43,7; 53,1] ¹	17,0 [8,9; 22,8] ²	25,5 [18,5; 31,1] ²
2	I–II	31,1 [26,6; 41,5] [*]	18,5 [11,4; 21,95] ²	28,1 [12,8; 34,4] [*]
	III	44,6 [30,3; 48,1] ¹	16,9 [13,2; 32,2] ²	27,1 [24,7; 28,3] ²
Максимальное разгибание коленного сустава в опорную фазу / Maximum extension of the knee joint in the Stance time				
1	I–II	10,2 [5,95; 15,4] [*]	8,3 [1,7; 12,9]	6,9 [3,6; 12,5]
	III	40,6 [30,6; 45,5] ¹	8,6 [0,45; 11,8] ²	5,9 [2,8; 10,4] ²
2	I–II	15,5 [9,8; 29,8]	11,1 [–1,7; 16,2]	8,4 [–7,7; 19,5]
	III	32,4 [13,9; 40,1] ²	9,5 [0,0; 20,4] ²	11,2 [6,1; 12,8] ²
Позиция тазобедренного сустава при первичном контакте / Hip joint position during initial contact				
1	I–II	39,2 [31,5; 47,3]	38,3 [31,9; 48,1]	38,3 [29,0; 47,5]
	III	47,3 [38,2; 54,8]	39,2 [25,2; 46,1]	42,7 [34,5; 48,6]
2	I–II	38,2 [29,7; 44,4]	31,8 [27,5; 36,8] [*]	34,95 [29,5; 37,7]
	III	41,2 [36,6; 54,0]	40,95 [37,8; 54,9] ¹	40,0 [35,5; 46,2]

Примечание: ^{*} — достоверные ($p < 0,05$) отличия по критерию между группами по идентичному уровню GMFCS на данном сроке сравнения, ¹ — достоверные ($p < 0,05$) отличия внутри данной группы между уровнями GMFCS на данном сроке сравнения, ² — достоверные ($p < 0,05$) различия с предоперационным значением внутри группы по данному уровню GMFCS.

Note: ^{*} — significant ($p < 0.05$) differences in criterion between groups with identical GMFCS levels at this time of comparison, ¹ — significant ($p < 0.05$) differences within this group between GMFCS levels at this comparison period, ² — significant ($p < 0.05$) differences with the preoperative value within the group for this GMFCS level.

Между группами выявлено статистически значимое различие в периоде послеоперационного наблюдения по следующим показателям: максимальное разгибание коленного сустава в конце периода опоры, максимальный наклон таза в сагиттальной плоскости (для подгрупп III GMFCS, где показатели ранее не оперированных пациентов близки или соответствуют возрастной норме) и позиция коленного сустава при первичном контакте (значимо меньше угол в подгруппе I–II GMFCS ранее не оперированных пациентов, чем в соответствующей подгруппе группы II), что в целом отражает сохранение тенденции к развитию ятрогенного СГ в группе II.

Сопоставление кинематических и кинетических данных (табл. 3) позволяет всесторонне понять эволюцию ходьбы в изучаемых группах пациентов. Момент силы разгибания тазобедренного сустава имеет тенденцию постепенного снижения на протяжении периода наблюдения для всех подгрупп, однако статистически значимой разницы с исходными значениями выявлено не было. Для обеих подгрупп III GMFCS оперативное лечение сопровождалось статистически значимым сни-

жением момента силы разгибания коленного сустава, особенно выраженного в период 1–2-го года после операции, с последующим увеличением значений показателя, но без достижения исходных значений. Момент силы подошвенного сгибания во всех подгруппах носит одинаковую тенденцию: снижение в первый интервал послеоперационного наблюдения с последующим увеличением. Однако превышение дооперационных значений данной силовой характеристика отмечено лишь в подгруппе I–II GMFCS ранее не оперированных пациентов. Генерируемая мощность сокращений для движений тазобедренного сустава носит однонаправленный характер для всех изучаемых групп: умеренное снижение послеоперационных значений в период 1–2-го года сменяется ростом в период наблюдения 3–4-го года, что сопровождается неизменным увеличением эффективности мышечных сокращений. Суммарная генерируемая мощность мышечных сокращений для движений коленным суставом в обеих подгруппах I–II GMFCS имеет тенденцию к снижению, но без выявленных статистически значимых различий с исходным уровнем. А для под-

Таблица 3. Динамика кинетических параметров. Данные представлены в виде медианы Me [Q1; Q3]**Table 3.** Dynamics of kinetic parameters. The data is presented as the median Me [Q1; Q3]

Группа / Group	GMFCS	До операции / Before the operation	1–2 года / 1–2 years	3–4 года / 3–4 years
Момент силы разгибания тазобедренного сустава, Nm/kg / Hip Extensor Moment, Nm/kg				
1	I–II	0,9 [0,66; 1,11]	0,78 [0,63; 0,99]	0,76 [0,66; 1,03]
	III	0,96 [0,84; 1,13]	0,75 [0,55; 0,95]	0,66 [0,47; 0,99]
2	I–II	0,8 [0,51; 1,32]	0,74 [0,61; 0,88]	0,76 [0,67; 0,92]
	III	0,94 [0,62; 1,14]	0,81 [0,60; 1,02]	0,77 [0,65; 0,94]
Момент силы разгибания коленного сустава, Nm/kg / Knee Extensor Moment, Nm/kg				
1	I–II	0,57 [0,38; 0,78]	0,47 [0,29; 0,64]	0,40 [0,31; 0,54]
	III	1,0 [0,76; 1,13] ²	0,33 [0,23; 0,50] ²	0,54 [0,36; 0,77] ²
2	I–II	0,72 [0,52; 0,89]	0,36 [0,22; 0,56]	0,53 [0,21; 0,84]
	III	0,89 [0,67; 1,15] ²	0,47 [0,32; 0,55] ²	0,53 [0,41; 0,57] ²
Момент силы подошвенного сгибания, Nm/kg / Ankle Plantar Flexor Moment, Nm/kg				
1	I–II	1,04 [0,89; 1,17]	0,88 [0,56; 1,15]	1,20 [0,94; 1,29]
	III	0,84 [0,76; 0,89]	0,83 [0,54; 0,93]	0,79 [0,69; 0,94]
2	I–II	1,0 [0,83; 1,22]	0,84 [0,70; 0,98]	0,98 [0,88; 1,06]
	III	0,89 [0,76; 0,99]	0,63 [0,47; 0,79]	0,85 [0,75; 0,98]
Опорный толчок, W/kg / Ankle Power, W/kg				
1	I–II	2,12 [1,51; 2,98] [*]	1,24 [0,60; 2,03]	2,18 [1,44; 2,64] [*]
	III	1,23 [1,12; 1,47] ¹	1,13 [0,81; 1,51] [*]	1,11 [0,92; 1,25] ¹
2	I–II	1,59 [1,11; 2,19]	1,17 [0,59; 1,72]	1,29 [1,15; 1,63]
	III	1,21 [0,96; 1,51]	0,65 [0,50; 0,78] ^{*2}	1,1 [0,95; 1,28]

Примечание: ^{*} — достоверные ($p < 0,05$) отличия по критерию между группами по идентичному уровню GMFCS на данном сроке сравнения, ¹ — достоверные ($p < 0,05$) отличия внутри данной группы между уровнями GMFCS на данном сроке сравнения, ² — достоверные ($p < 0,05$) различия с предоперационным значением внутри группы по данному уровню GMFCS.

Note: ^{*} — significant ($p < 0.05$) differences in criterion between groups with identical GMFCS levels at this time of comparison, ¹ — significant ($p < 0.05$) differences within this group between GMFCS levels at this comparison period, ² — significant ($p < 0.05$) differences with the preoperative value within the group for this GMFCS level.

групп III GMFCS обозначается тенденция к увеличению мощности мышечных сокращений движений коленных суставов на фоне неизменного роста эффективности данных сокращений на протяжении цикла наблюдения.

Момент сокращений для движений голеностопным суставом имеет существенную разницу в предоперационный период: более высокий уровень присущ I–II GMFCS, представляя статистически значимую разницу для подгрупп первой группы. Тем не менее общая тенденция к изменению данного показателя одинакова для всех подгрупп (рис. 1): существенное снижение первые 1–2 года после операции с последующим ростом.

Статистически значимые отличия между группами I и II выявлены по показателю «опорный толчок» в период 1–2-го года после операции, когда мощность сокращений у ранее не оперированных пациентов была значимо выше. Общая суммарная мощность сокращений и ее эффективность имеют одинаковую тенденцию к снижению в первый послеоперационный период наблюдения и роста к 3–4-му годам после операции, впрочем, без статистически значимых колебаний между группами.

ОБСУЖДЕНИЕ

Крайне важным элементом патогенеза двигательных нарушений и вторичных ортопедических осложнений является прогрессирующее на протяжении взросления организма уменьшение объема пассивных движений [20]. Развитие дефицита длины мышц, первоначально обусловленное спастичностью, эволюционирует в направлении ретракции [21]. При естественном течении заболевания уменьшение пассивной амплитуды движений в крупных суставах нижних конечностей происходит быстрее до 5–8 лет (в зависимости от сустава), сменяясь более медленным, но неизменным сокращением амплитуды движений [20, 21] и морфологическими изменениями [22].

В клинической практике выполнение многоуровневых вмешательств обычно производится в интервале 11–15 лет, что сопровождается стабильностью результата операции без его регрессии, особенно если вмешательство выполнено после пубертатного ускорения роста [7]. Когда оперативное вмешательство выполнено в начале пубертатного ускорения роста или ранее, у пациента остается еще достаточно долгий период спон-

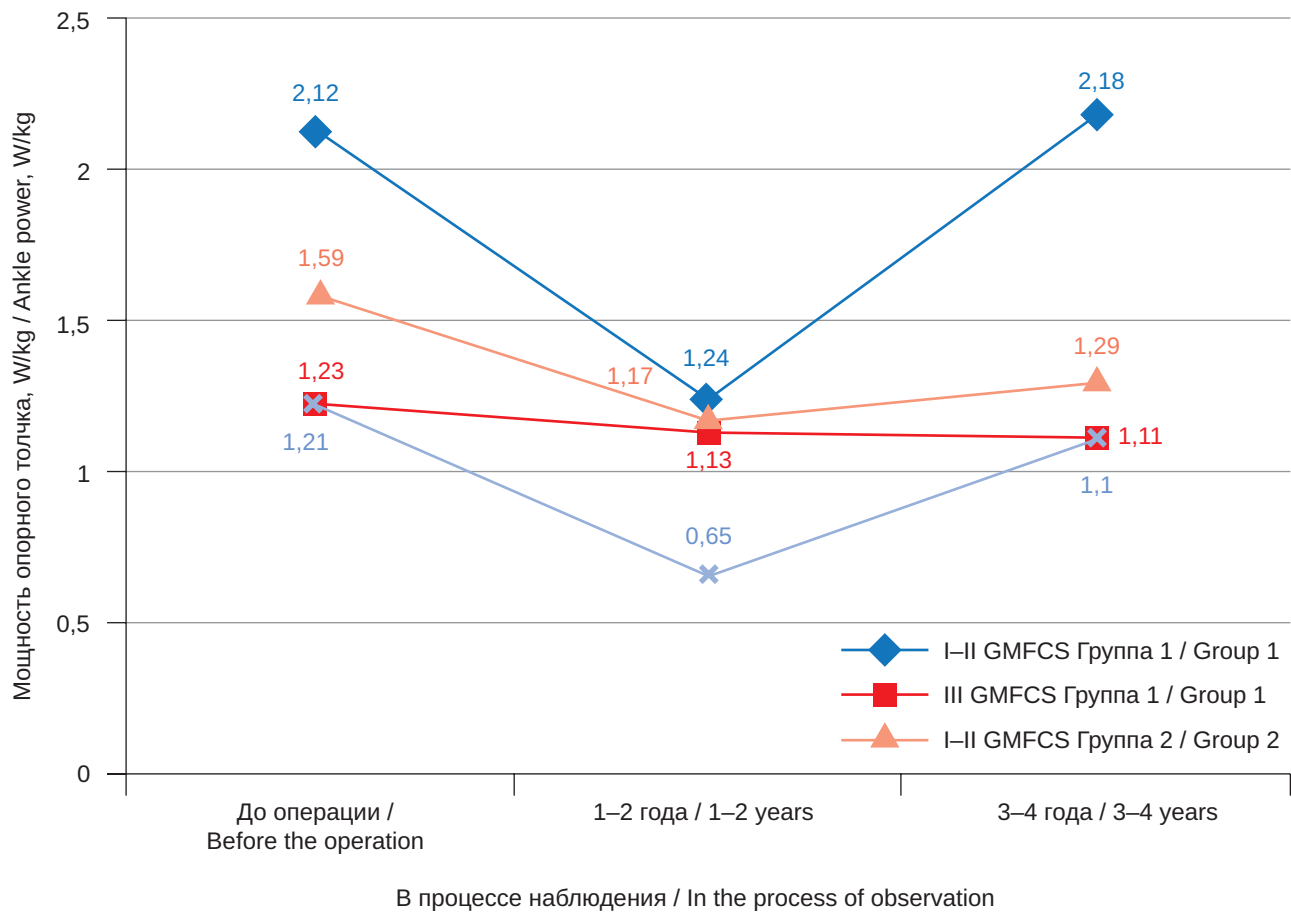


Рис. 1. Средние значения мощности опорного толчка (ось ординат, W/kg) в процессе наблюдения
Fig. 1. Average values of the Ankle Power (ordinate axis, W/kg) during observation

танного роста длинных костей конечностей, что может приводить к рецидивам ортопедических осложнений ДЦП с нарушением моторных функций, походки [23], существует противоречивость рекомендаций относительно возраста выполнения реконструктивных ортопедических вмешательств [3, 11, 24]. В возрасте 4–12 лет выделяют два периода, когда место ортопедической хирургии становится обоснованным: период контрактур и период костных деформаций [5], определяя предельный возраст для ортопедических вмешательств на нижних конечностях не старше 12 лет, когда сохраняется потенциал максимально достижимого восстановления анатомии и функции у детей с ДЦП.

Неблагоприятным фактором, объединяющим возрастные и хирургические аспекты, является выполнение так называемых фибромиотенотомий, фибротомий, а также удлинение ахиллова сухожилия в раннем возрасте, когда еще не развились ретракции мышц. Ортопедическое вмешательство на спастичных мышцах, даже увеличивая пассивную амплитуду движений в суставах, ведет к их чрезмерному ослаблению, что проявляется ранней функциональной декомпенсацией и развитием ятрогенного CG [17, 25, 26].

В нашем исследовании показания к многоуровневым вмешательствам были обусловлены ранним развитием истинных ортопедических осложнений ДЦП, недостаточностью изолированных удлинений ахилловых сухожилий или фибромиотомии, негативный эффект которых объясняется значимым ослаблением силы подошвенных сгибателей стопы при увеличении амплитуды

ды пассивной тыльной флексии [16, 17, 26]. Выполнение операций производилось в конце возрастного периода, признаваемого оптимальным для реконструктивных вмешательств. Эволюция двигательных изменений после операции происходила на фоне пубертатного ускорения роста, наиболее выраженного в этом периоде на нижних конечностях, что может считаться неблагоприятным фактором.

Ключевыми положительными эффектами с точки зрения кинематики являются увеличение длины шага, скорости ходьбы, уменьшение наклона таза в сагитальной плоскости, увеличение разгибания коленного сустава в опорную фазу, улучшение кинематики стопы в каждом моменте цикла шага, уменьшение длительности двуопорного периода цикла шага при увеличении длительности одноопорного периода, уменьшение GPS. В нашем исследовании на протяжении периода наблюдения определяется снижение скоростных характеристик ходьбы при улучшении интегральной качественной оценки походки. Достоверные различия между группами были отмечены лишь в ранний период наблюдения (1–2 года после операции) и только для подгрупп III GMFCS, когда показатели GPS, скорости ходьбы и длительности двойного двуопорного периода цикла шага значительно отличались в лучшую сторону у детей, ранее не оперированных.

Полученные результаты согласуются с данными литературы [27–29]: многоуровневые вмешательства нормализуют моменты силы на уровне вовлеченных суставов и улучшают параметры генерируемой мощно-

сти движений. Учитывая естественную эволюцию двигательных нарушений в направлении паттерна CG [30, 31], при выполнении ортопедических вмешательств и проведении последующего реабилитационного лечения необходимо выбирать методы, препятствующие такому развитию двигательных нарушений.

Наши результаты подтверждают положение о тенденции к улучшению интегрального показателя GPS после многоуровневых вмешательств для всех групп. Тем не менее отмечено уменьшение скорости походки во все периоды наблюдения. Исключением являются лишь пациенты с уровнем поражения I–II GMFCS (без ранних хирургических вмешательств), где скорость ходьбы превысила исходный уровень в отдаленный период наблюдения за счет увеличения длины шага. Характерным для пациентов уровня III GMFCS явилось снижение скорости ходьбы в сочетании с увеличением двуопорного периода в цикле шага, что является негативным аспектом эволюции походки. Однако такие явления сопровождались улучшением кинематики коленного и голеностопного суставов. Эффект от хирургического лечения сохранялся на всем протяжении периода наблюдения в обеих группах. У детей с выполненным в раннем возрасте удлинением трицепса голени развивалась компенсаторная установка в виде избыточного наклона таза кпереди в сагиттальной плоскости и происходило прогрессивное уменьшение максимального разгибания тазобедренного сустава, как механизма смещения вектора реакции опоры кпереди на фоне ослабления подошвенной флексии. Развитие легкой эквинусной установки стопы в момент первичного контакта в группе I через 3–4 года наблюдения при нормальных показателях кинематики в опорную фазу отражает прогрессивное уменьшение амплитуды тыльной флексии в процессе последующего роста с темпом в среднем 4° в год [7].

Общей тенденцией к изменению кинетических параметров после операции является снижение моментов сил на уровне тазобедренных, коленных и голеностопных суставов в сочетании со снижением мощности, что можно было бы считать негативной тенденцией. Однако во всех группах пациентов независимо от хирургического ортопедического анамнеза отмечается тенденция к увеличению эффективности мощности движений

на уровне суставов. Исключением является подгруппа уровней I–II GMFCS без ранних вмешательств, где обнаружено и увеличение момента подошвенной флексии, и увеличение мощности подошвенного толчка в сравнении с исходными данными.

Для получения исчерпывающего заключения об эффекте многоуровневых вмешательств, выполненных непосредственно в начале пубертатного ускорения роста, необходимо и далее проследить динамику кинематических и кинетических данных. В будущих исследованиях требуется сопоставление изменения параметров походки с оценкой двигательной активности по другим шкалам, а также с оценкой качества жизни.

Ограничения исследования

Индивидуальная оценка динамики параметров кинетики возможна только в одинаковых условиях обследования (ходьба самостоятельно или с дополнительными средствами опоры до операции и в процессе реабилитационных мероприятий).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наше исследование показало эффективность многоуровневых вмешательств, выполненных в раннем подростковом возрасте, с точки зрения нормализации амплитуды движений в суставах даже при ослаблении трицепсов голени ранними операциями.

У детей с уровнем нарушений двигательных функций I–II GMFCS и без ранних вмешательств на мышечном аппарате эволюция параметров походки сопровождалась увеличением скорости ходьбы, улучшением кинематических и кинетических параметров.

У детей с уровнем I–II GMFCS и ранее выполненными фибротомией, фибромиотенотомией улучшение кинематических параметров походки не сопровождалось увеличением скорости ходьбы. Снижение силовых характеристик движений компенсировалось повышением их эффективности вследствие улучшения анатомических параметров: дети начинали передвигаться более правильно с точки зрения движений, но медленнее. Изменения кинематики тазобедренного сустава и таза у таких детей отражают развитие механизма, компенсирующего дефицит силы и мощности подошвенного сгибания.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Долганова Тамара Игоревна, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, научная лаборатория клиники нейроортопедии и системных заболеваний, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова Минздрава России.

E-mail: rjik532007@rambler.ru, office@rncvto.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0117-3451>

Гатамов Орхан Ильхам оглы, кандидат медицинских наук, врач — травматолог-ортопед, Медицинский научно-практический центр комплексной реабилитации «Голубое», Федеральный научно-клинический центр медицинской реабилитации и курортологии Федерального медико-биологического агентства.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4244-5774>

Томов Ахмед Даутович, кандидат медицинских наук, заведующий, отделение нейроортопедии, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2981-7722>

Долганов Дмитрий Владимирович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, научная лаборатория клиники нейроортопедии и системных заболеваний, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8708-1303>

Насипжанов Орифжан Фарходжанович, аспирант, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4732-7816>

Попков Дмитрий Арнольдович, доктор медицинских наук, профессор Российской академии наук, член-корреспондент французской Академии медицинских наук, руководитель клиники нейроортопедии, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова Минздрава России. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают свое авторство в соответствии с международными критериями ICMJE (все авторы внесли значительный вклад в концепцию, дизайн исследования и подготовку статьи, прочитали и одобрили окончательный вариант до публикации). Наибольший вклад распределен следующим образом: Долганова Т.И. — методология, проверка и редактирование рукописи; Гатамов О.И. — визуализация, курация данных; Томов А.Д. — научное обоснование, анализ данных; Долганов Д.В. — проведение исследования, верификация данных; Насипжанов О.Ф. — обеспечение материалов для исследования; Попков Д.А. — курирование проекта, руководство проектом, научное обоснование, написание черновика рукописи.

Источники финансирования. Результаты были получены в рамках Государственного задания «Использование

компьютерного анализа движений в обосновании алгоритма ортопедического хирургического лечения пациентов с ДЦП».

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическое утверждение. Авторы заявляют, что все процедуры, использованные в данной статье, соответствуют этическим стандартам учреждений, проводивших исследование, и соответствуют Хельсинкской декларации в редакции 2013 г. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России (Курган, Россия) (Протокол № 2(57) от 17.05.2018).

Информированное согласие. В исследовании не раскрываются сведения, позволяющих идентифицировать личность пациентов. От всех законных представителей пациентов было получено письменное согласие на публикацию всей соответствующей медицинской информации, включенной в рукопись.

Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

ADDITIONAL INFORMATION

Tamara I. Dolganova, D.Sc. (Med.), Leading Researcher, Scientific Laboratory of the Clinic of Neuroorthopaedics and Systemic Diseases, National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics.

E-mail: rjik532007@rambler.ru, office@rncvto.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0117-3451>

Orkhan I. oglu Gatamov, PhD (Med.), Orthopedic Traumatologist, Goluboe Medical Scientific and Practical Center for Integrated Rehabilitation, Federal Scientific and Clinical Center for Medical Rehabilitation and Balneology of the Federal Medical and Biological Agency.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4244-5774>

Akhmed D. Tomov, PhD (Med.), Head of the Department of Neuroorthopaedics, Priorov Central Institute for Trauma and Orthopaedics.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2981-7722>

Dmitry V. Dolganov, PhD (Biol.), Leading Researcher, Scientific Laboratory of the Clinic of Neuroorthopaedics and Systemic Diseases, National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8708-1303>

Orifzhan F. Nasipzhanov, Postgraduate Student, National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4732-7816>

Dmitry A. Popkov, D.Sc. (Med), Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the French Academy of Medical Sciences, Head of the Neuroorthopaedic Clinic, National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>

Author Contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Dolganova T.I. — methodology, writing — review & editing; Gatamov O.I. — visualization, data curation; Tomov A.D. — conceptualization, formal analysis; Dolganov D.V. — investigation, validation; Nasipzhanov O.F. — resources; Popkov D.A. — supervision, project administration, conceptualization, writing — original draft.

Funding Sources. The results were obtained within the framework of the State assignment “The use of computer analysis of movements in substantiating the algorithm of orthopedic surgical treatment of patients with cerebral palsy”.

Disclosure. The author declares no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Ethics Approval. The authors declare that all procedures used in this article are in accordance with the ethical standards of the institutions that conducted the study and are consistent with the 2013 Declaration of Helsinki. The study was approved by the Local Ethics Committee of the National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics (Kurgan, Russia) (Protocol No. 2(57) dated May 17, 2018).

Informed Consent for Publication. The study does not disclose information to identify the patients. Written consent was obtained from all legal representatives of patients for publication of all relevant medical information included in the manuscript.

Data Access Statement. The data that support the findings of this study are available on reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

- Arnaud C., Ehlinger V., Delobel-Ayoub M., et al. Trends in Prevalence and Severity of Pre/Perinatal Cerebral Palsy Among Children Born Preterm From 2004 to 2010: A SCPE Collaboration Study. *FrontNeurol*. 2021; 12: 624884. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.624884>
- Томов А.Д., Бабайцев А.В., Кадырова М.А. и др. Паттерны роста у детей с церебральным параличом и спектр проводимого лечения: кросс-секционное исследование данных пяти реабилитационных центров. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2025; 32(1): 35–43. <https://doi.org/10.17816/vto626900> [Tomov A.D., Babaitsev A.V., Kadyrova M.A., et al. Growth patterns in children with cerebral palsy and the range of treatments provided: a cross-sectional study of data from five rehabilitation centers. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2025; 32(1): 35–43. <https://doi.org/10.17816/vto626900> (In Russ.).]
- Novak I., Morgan C., Fahey M., et al. State of the Evidence Traffic Lights 2019: Systematic Review of Interventions for Preventing and Treating Children with Cerebral Palsy. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2020; 20(2): 3. <https://doi.org/10.1007/s11910-020-1022-z>
- Baird G., Chandler S., Shortland A., et al. Acquisition and loss of best walking skills in children and young people with bilateral cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2022; 64(2): 235–242. <https://doi.org/10.1111/dmcn.15015>
- Graham H.K., Thomason P., Willoughby K., et al. Musculoskeletal Pathology in Cerebral Palsy: A Classification System and Reliability Study. *Children (Basel)*. 2021; 8(3): 252. <https://doi.org/10.3390/children8030252>
- Dreher T., Thomason P., Švehlík M., et al. Long-term development of gait after multilevel surgery in children with cerebral palsy: a multicentre cohort study. *Dev Med Child Neurol*. 2018; 60(1): 88–93. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13618>
- Terjesen T., Lofterød B., Skaaret I. Gait improvement surgery in ambulatory children with diplegic cerebral palsy. *Acta Orthop*. 2015; 86(4): 511–517. <https://doi.org/10.3109/17453674.2015.1011927>
- Kanashvili B., Miller F., Church C., et al. The change in sagittal plane gait patterns from childhood to maturity in bilateral cerebral palsy. *Gait Posture*. 2021; 90: 154–160. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.08.022>
- Попков Д.А., Змановская В.А., Губина Е.Б. Результаты многоуровневых одномоментных ортопедических операций и ранней реабилитации в комплексе с ботулинотерапией у пациентов со спастическими формами церебрального паралича. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2015; 115(4): 41–48. <https://doi.org/10.17116/jnevro20151154141-48> [Popkov D.A., Zmanovskaia V.A., Gubina E.B., et al. The results of single-event multilevel orthopedic surgeries and the early rehabilitation used in complex with botulinum toxin treatment in patients with spastic forms of cerebral palsy. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2015; 115(4): 41–48. <https://doi.org/10.17116/jnevro20151154141-48> (In Russ.).]
- Edwards T.A., Theologis T., Wright J. Predictors affecting outcome after single-event multilevel surgery in children with cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol*. 2018; 60(12): 1201–1208. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13981>
- Rodda J.M., Graham H.K., Nattrass G.R., et al. Correction of severe crouch gait in patients with spastic diplegia with use of multilevel orthopaedic surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2006; 88(12): 2653–2664. <https://doi.org/10.2106/JBJ.S.E.00993>
- Clark R., Locke M., Bialocerkowski A. Paediatric terminology in the Australian health and health-education context: a systematic review. *Dev Med Child Neurol*. 2015; 57(11): 1011–1018. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12803>
- Ваганов П.Д., Яновская Э.Ю., Манджиева Э.Т. Периоды детского возраста. *Российский медицинский журнал*. 2018; 24(4): 185–190. <http://dx.doi.org/10.18821/0869-2106-2018-24-4-185-190> [Vaganov P.D., Yanovskaya E.Yu. Mandzhieva E.T. Periods of childhood. *Rossiiskii meditsinskii zhurnal (Medical Journal of the Russian Federation, Russian journal)*. 2018; 24(4): 185–190. <http://dx.doi.org/10.18821/0869-2106-2018-24-4-185-190> (In Russ.).]
- Balasundaram P., Avulakunta I.D. Human Growth and Development. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2023. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK567767/>
- Klenø A.N., Stisen M.B., Cubel C.H., et al. Prevalence of knee contractures is high in children with cerebral palsy in Denmark. *Physiother Theory Pract*. 2023; 39(1): 200–207. <http://dx.doi.org/10.1080/09593985.2021.2007558>
- Ong C.F., Geijtenbeek T., Hicks J.L., Delp S.L. Predicting gait adaptations due to ankle plantarflexor muscle weakness and contracture using physics-based musculoskeletal simulations. *PLoS Comput Biol*. 2019; 15(10): e1006993. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006993>
- Pilloni G., Pau M., Costici P.F., et al. Use of 3D-gait analysis as predictor of Achilles tendon lengthening surgery outcomes in children with cerebral palsy. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2019; 55(2): 250–257. <http://dx.doi.org/10.23736/S1973-9087.18.05326-1>
- Фатхулисламов Р.Р., Гатамов О.И., Мамедов У.Ф., Попков Д.А. Оценка состояния пациентов со спастическими формами церебрального паралича при переходе во взрослую сеть лечебно-профилактических учреждений: кросс-секционное исследование. *Гений ортопедии*. 2023; 29(4): 376–381. <http://dx.doi.org/10.18019/1028-4427-2023-29-4-376-381> [Fatkhulislamov R.R., Gatamov O.I., Mamedov U.F., Popkov D.A. Assessment of the state of patients with spastic cerebral palsy at transition to adult medical institutions: a cross-sectional study. *Genij Ortopedii*. 2023; 29(4): 376–381. <http://dx.doi.org/10.18019/1028-4427-2023-29-4-376-381> (In Russ.).]
- Долганова Т.И., Попков Д.А., Долганов Д.В., Чибиров Г.М. Показатели кинетики локомоторных стереотипов у здоровых детей в различных скоростных диапазонах передвижения. *Гений ортопедии*. 2022; 28(3): 417–424. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-3-417-424> [Dolganova T.I., Popkov D.A., Dolganov D.V., Chibirov G.M. Indicators of the kinetics of locomotor stereotypes in healthy children in different speed ranges of movement. *Genij Ortopedii*, 2022, 2022; 28(3): 417–424. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-3-417-424> (In Russ.).]
- Nordmark E., Häggglund G., Lauge-Pedersen H., et al. Development of lower limb range of motion from early childhood to adolescence in cerebral palsy: a population-based study. *BMC Med*. 2009; 7: 65. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-7-65>
- Cloodt E., Lindgren A., Rodby-Bousquet E. Knee and ankle range of motion and spasticity from childhood into adulthood: a longitudinal cohort study of 3,223 individuals with cerebral palsy. *Acta Orthop*. 2024; 95: 200–205. <https://doi.org/10.2340/17453674.2024.40606>
- Wohlgemuth R.P., Kulkarni V.A., Villalba M. et al. Collagen architecture and biomechanics of gracilis and adductor longus muscles from children with cerebral palsy. *J Physiol*. 2024; 602(14): 3489–3504. <https://doi.org/10.1113/JP285988>
- Bell K.J., Ounpuu S., DeLuca P.A., Romness M.J. Natural progression of gait in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*. 2002; 22(5): 677–682.
- Thomason P.; Selber P.; Graham H.K. Single Event Multilevel Surgery in children with bilateral spastic cerebral palsy: A 5 year prospective cohort study. *Gait Posture*. 2013; 37: 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.05.022>
- Долганова Т.И., Долганов Д.В., Чибиров Г.М. и др. Количественные параметры кинетики и кинематики ятрогенного crouch паттерна. *Гений ортопедии*. 2022; 28(5): 675–683. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-5-675-683> [Dolganova T.I., Dolganov D.V., Chibirov G.M., et al. Quantitative parameters of the kinetics and kinematics of theiatrogenic crouch gait pattern. *Genij Ortopedii*. 2022; 28(5): 675–683. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-5-675-683> (In Russ.).]
- Ong C.F., Geijtenbeek T., Hicks J.L., Delp S.L. Predicting gait adaptations due to ankle plantarflexor muscle weakness and contracture using physics-based musculoskeletal simulations. *PLoS Comput Biol*. 2019; 15(10): e1006993. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006993>

27. Armand S., Decoulon G., Bonnefoy-Mazure A. Gait analysis in children with cerebral palsy. *EFORT Open Rev.* 2016; 1(12): 448–460. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.1.000052>
28. Hua W., Nasir S., Arnold G., Wang W. Analysis of mechanical energy in thigh, calf and foot during gait in children with cerebral palsy. *Med Eng Phys.* 2022; 105: 103817. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2022.103817>
29. Van Rossom S., Kainz H., Wesseling M., et al. Single-event multilevel surgery, but not botulinum toxin injections normalize joint loading in cerebral palsy patients. *Clin Biomech (Bristol).* 2020; 76: 105025. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2020.105025>
30. Kanashvili B., Miller F., Church C., et al. The change in sagittal plane gait patterns from childhood to maturity in bilateral cerebral palsy. *Gait Posture.* 2021; 90: 154–160. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.08.022>
31. Klenø A.N., Stisen M.B., Cubel C.H., et al. Prevalence of knee contractures is high in children with cerebral palsy in Denmark. *Physiother Theory Pract.* 2023; 39(1): 200–207. <https://doi.org/10.1080/09593985.2021.2007558>

Эффективность респираторной реабилитации в профилактике легочных осложнений у пациентов после геометрической реконструкции левого желудочка: проспективное исследование

 Затенко М.А. *,  Мамалыга М.Л.,  Алшибая М.М.,  Джитава Т.Г.,
 Лобачева Г.В.,  Данилов С.А.

Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева
Минздрава России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Респираторные осложнения являются наиболее частым последствием кардиохирургических операций с применением искусственного кровообращения (ИК). Пациенты после геометрической реконструкции левого желудочка (ГРЛЖ) составляют группу высокого риска из-за продолжительности хирургического вмешательства и респираторных нарушений на фоне хронической сердечной недостаточности.

ЦЕЛЬ. Изучить эффективность тренировок с положительным давлением на выдохе (ПДВ) и стандартной дыхательной гимнастики (ДГ) в профилактике респираторных осложнений у пациентов после операции ГРЛЖ в ранний послеоперационный период.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В проспективное исследование включено 30 пациентов после ГРЛЖ, разделенных на две группы: группа I ($n = 15$) получала курс ПДВ-тренировок, группа II ($n = 15$) — курс стандартной ДГ. Оценка проводилась на основе данных компьютерной томографии, спирометрии и суточной пульсоксиметрии до операции, на 2-е–3-и сутки и при выписке (10–12-е сутки).

РЕЗУЛЬТАТЫ. На 2-е сутки после операции ателектазы выявлены у 100% пациентов обеих групп. К моменту выписки в группе I доля пациентов с ателектазами снизилась до 53,3 %, в группе II — осталась на уровне 93,3 % ($p = 0,035$). Объем ателектазов в нижних долях в группе I сократился на 91,9 % справа и 84,0 % слева, что статистически значимо превышает результаты группы II: 63,4 и 38,6 % соответственно ($p < 0,05$). В группе I также отмечено более выраженное восстановление показателей спирометрии и суточной пульсоксиметрии по сравнению с группой II ($p < 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ. Высокая частота ателектазирования после ГРЛЖ обусловлена сочетанием операционных факторов и предсуществующей сердечной недостаточности. Стандартная ДГ имеет ограниченную эффективность в резорбции сформированных ателектазов. Применение ПДВ-тренировок за счет создания положительного давления в дыхательных путях способствует эффективному рекрутированию альвеол, улучшению бронхиальной проходимости и ускорению темпов функционального восстановления легких.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Применение ПДВ-тренировок является более эффективным методом респираторной реабилитации после ГРЛЖ по сравнению со стандартной ДГ, способствуя более быстрому устранению ателектазов и восстановлению функции легких.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ателектаз, геометрическая реконструкция левого желудочка, респираторная реабилитация, положительное давление на выдохе, кардиохирургия, послеоперационные осложнения

Для цитирования / For citation: Затенко М.А., Мамалыга М.Л., Алшибая М.М., Джитава Т.Г., Лобачева Г.В., Данилов С.А. Эффективность респираторной реабилитации в профилактике легочных осложнений у пациентов после геометрической реконструкции левого желудочка: проспективное исследование. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(2):53–62. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-53-62> [Zatenko M.A., Mamalyga M.L., Alshibaya M.M., Djitava T.G., Lobacheva G.V., Danilov S.A. Effectiveness of Respiratory Rehabilitation in Preventing Pulmonary Complications in Patients after Left Ventricular Geometric Reconstruction: A Prospective Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(2):53–62. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-53-62> (In Russ.)]

* Для корреспонденции: Затенко Марк Александрович, E-mail: mazatenko@bakulev.ru

Статья получена: 27.10.2025
Статья принята к печати: 26.12.2025
Статья опубликована: 23.04.2026

Effectiveness of Respiratory Rehabilitation in Preventing Pulmonary Complications in Patients after Left Ventricular Geometric Reconstruction: A Prospective Study

 Mark A. Zatenko*,  Maxim L. Mamalyga,  Mikhail M. Alshibaya,  Tamara G. Djitava,  Galina V. Lobacheva,  Sergei A. Danilov

A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Respiratory complications are the most common consequence of cardiac surgery involving cardiopulmonary bypass (CPB). Patients undergoing left ventricular geometric reconstruction (LVGR) constitute a high-risk group due to the prolonged duration of the surgical intervention and respiratory impairments associated with chronic heart failure.

AIM. The present study aims to investigate the effectiveness of positive expiratory pressure (PEP) training and standard breathing exercises (BE) in preventing respiratory complications in patients in the early postoperative period following LVGR surgery.

MATERIALS AND METHODS. This prospective study comprised 30 patients after LVGR, who were divided into two groups: Group I ($n = 15$) received a course of PEP-training, while Group II ($n = 15$) underwent a course of standard BE. The assessment was based on computed tomography (CT) scans, spirometry tests and 24-hour pulse oximetry data obtained before surgery, on the 2nd–3rd days after surgery and at discharge (days 10–12).

RESULTS. On the 2nd postoperative day, atelectasis was detected in 100 % of patients in both groups. By the time of discharge, the proportion of patients with atelectasis in Group I decreased to 53.3 %, while in Group II it remained at 93.3 % ($p = 0.035$). The volume of atelectasis in the lower lobes in Group I decreased by 91.9 % on the right and 84.0 % on the left, which is statistically significantly higher than the results of Group II: 63.4 and 38.6 %, respectively ($p < 0.05$). Group I also showed a more pronounced recovery of spirometry and 24-hour pulse oximetry parameters compared to Group II ($p < 0.05$).

DISCUSSION. The high incidence of atelectasis after LVGR is due to a combination of intraoperative factors and pre-existing heart failure. Standard breathing exercises have limited effectiveness in the resolution of formed atelectasis. The use of PEP-training, by creating positive airway pressure, promotes effective alveolar recruitment, improvement of bronchial patency, and acceleration of functional lung recovery.

CONCLUSION. The use of PEP-training is a more effective method of respiratory rehabilitation after LVGR compared to standard BE, promoting a faster resolution of atelectasis and recovery of lung function.

KEYWORDS: atelectasis, left ventricular geometric reconstruction, respiratory rehabilitation, positive expiratory pressure, cardiac surgery, postoperative complications

For citation: Zatenko M.A., Mamalyga M.L., Alshibaya M.M., Djitava T.G., Lobacheva G.V., Danilov S.A. Effectiveness of Respiratory Rehabilitation in Preventing Pulmonary Complications in Patients after Left Ventricular Geometric Reconstruction: A Prospective Study. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2026; 25(2):53–62. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-53-62> (In Russ.).

* **For correspondence:** Mark A. Zatenko, E-mail: mazatenko@bakulev.ru

Received: 27.10.2025

Accepted: 26.12.2025

Published: 23.04.2026

ВВЕДЕНИЕ

Ранние послеоперационные легочные осложнения представляют собой одну из ведущих причин заболеваемости и смертности у пациентов в кардиохирургии [1]. По данным литературы, их частота может достигать 55 % [2]. Ателектаз является наиболее частым и прогностически значимым осложнением. Ателектазирование альвеол выявляется более чем у 80 % пациентов после кардиохирургических операций с применением искусственного кровообращения (ИК) [3] и может служить триггером для развития более тяжелых нарушений, таких как острая дыхательная недостаточность и пневмония [4]. Наличие коморбидной патологии у кардиохирургических пациентов может существенно повышать риски развития легочных осложнений и оказывать влияние на результаты кардиохирургического лечения [5, 6].

Патогенез послеоперационного ателектаза многофакторен и обуславливается применением искусствен-

ной вентиляции легких, ИК, общей анестезии и миорелаксантов во время оперативного вмешательства [7], что приводит к повышению проницаемости легочных капилляров, повреждению альвеол, развитию интерстициального отека и компрессионному коллапсу зависимых отделов легких [8]. Дополнительный вклад вносит послеоперационный болевой синдром, который ограничивает глубину дыхания и эффективность кашлевого рефлекса.

Особую группу риска представляют пациенты с постинфарктной аневризмой левого желудочка, характеризующиеся наличием хронической сердечной недостаточности и исходными нарушениями функции внешнего дыхания (ФВД) [6, 9]. Сложность и высокая продолжительность операции по геометрической реконструкции левого желудочка (ГРЛЖ) с применением ИК [10] усугубляют системный воспалительный ответ и повреждение легких [11].

Стандартные протоколы респираторной реабилитации в ранний послеоперационный период включают упражнения стандартной дыхательной гимнастики (ДГ), направленной на восстановление экскурсии грудной клетки и улучшение дренажной функции бронхов. Однако их эффективность в разрешении сформировавшихся ателектазов может быть недостаточной [12].

Эффективным методом респираторной реабилитации является применение тренировок с умеренным положительным давлением на выдохе (ПДВ) в диапазоне 10–20 см H₂O. Повышение транспульмонального давления во время ПДВ-тренировок позволяет улучшить коллатеральную вентиляцию и рекрутировать коллабированные альвеолы [13]. Несмотря на теоретическую обоснованность ПДВ-тренировок, исследований, посвященных оценке их эффективности в сравнении со стандартной ДГ у пациентов после ГРЛЖ, проведено не было.

ЦЕЛЬ

Изучить эффективность ПДВ-тренировок и стандартной ДГ в профилактике респираторных осложнений у пациентов в ранний послеоперационный период после операции ГРЛЖ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Настоящее проспективное исследование было выполнено на базе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России. Протокол исследования получил одобрение локального этического комитета (№ 5 от 07.10.2023). От всех пациентов было получено письменное информированное согласие.

В исследование было включено 30 пациентов (27 мужчин и 3 женщины; средний возраст составил 61,0 [52,50; 65,75] года), которым была выполнена плановая операция ГРЛЖ.

Критерии включения:

- плановое хирургическое вмешательство — ГРЛЖ;
- отсутствие в анамнезе хронических заболеваний органов дыхания;
- согласие и способность пациента соблюдать протокол исследования.

Критерии исключения:

- развитие острой сердечной и дыхательной недостаточности;
- острый болевой синдром;
- наличие выраженных когнитивных нарушений;
- отказ пациента следовать протоколу исследования.

Пациенты были разделены на две группы в зависимости от применяемого метода послеоперационной респираторной реабилитации.

Основная группа (группа I) проходила курс респираторных ПДВ-тренировок с применением устройства EzPAP (Smiths Medical, Великобритания) с подключенным магистральным кислородом. Процедуры проводили 5 раз в сутки по 5–10 минут в зависимости от состояния пациента и сроков после операции. Пациент находился в положении сидя, тренировка выполнялась за 30 минут до приема пищи или через 1 час после приема пищи. Соотношение вдоха к выдоху поддерживалось

в соотношении 1 : 2. С помощью встроенного манометра осуществлялся контроль давления на выдохе, которое поддерживалось в диапазоне 10–20 см H₂O.

Группа сравнения (группа II) получала курс стандартной ДГ, состоящей из упражнений статического и динамического характера. Занятия проводились сидя с аналогичной кратностью и продолжительностью, как и в группе I.

Клинико-инструментальное обследование проводилось в три этапа:

- I этап: до операции;
- II этап: 2–е–3–и сутки после операции;
- III этап: 10–12-е сутки после операции (выписки).

Методы обследования включали:

- спирометрию (аппарат СМП-21/01-«Р-Д» (Россия));
- эхокардиографию (Philips HD15 (Philips, Нидерланды));
- компьютерную томографию грудной клетки (Philips ingenuity 128 (Philips, США));
- суточную пульсоксиметрию (MD300W (ChoiceMMed, Китай)).

Все хирургические вмешательства выполнялись в условиях общей анестезии, ИК и искусственной вентиляции легких с использованием стандартных протоколов кардиоплегической защиты миокарда.

Обработка данных

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программного обеспечения Stattech (версия 4.8.11) и SPSS (версия 26.0). По данным критерия Шапиро — Уилка, часть данных не соответствовала нормальному распределению, таким образом, для всех количественных переменных применялись методы непараметрической статистики. Данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха (Me [Q1; Q3]). Для сравнения двух независимых групп применялся *U*-критерий Манна — Уитни. Для оценки динамики показателей в трех связанных периодах наблюдения использовался критерий Фридмана с последующим апостериорным анализом для попарных сравнений. Для сравнения бинарных показателей в связанных выборках применялся критерий Мак-Немара. Корреляционный анализ проводили с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Различия считались статистически значимыми при уровне $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Группы исходно не различались по клинико-демографическим характеристикам. Важно отметить высокую распространенность факторов сердечно-сосудистого риска, таких как курение, артериальная гипертензия и сахарный диабет (табл. 1).

Анализ интраоперационных показателей также не выявил статистически значимых различий между группами (табл. 2).

Компьютерная томография грудной клетки

Анализ данных компьютерной томографии органов грудной клетки до операции в группах I и II показал наличие остаточных поствоспалительных изменений (пневмофиброз) у большей части пациентов (80,0 % против 60,0 %; $p = 0,427$).

Таблица 1. Клинико-демографическая характеристика пациентов

Table 1. Clinical and demographic characteristics of patients

Показатель / Parameter	Группа I / Group I (n = 15)	Группа II / Group II (n = 15)	p
Возраст, лет / Age, years	61,00 [53,00; 65,50]	64,00 [58,50; 67,50]	0,252
Пол / Sex	Мужской / Male, n (%)	13 (86,7)	1,000
	Женский / Female, n (%)	2 (13,3)	
Рост, см / Height, cm	172,00 [168,00; 178,00]	174,00 [169,50; 176,00]	0,967
Вес, кг / Weight, kg	80,00 [71,00; 89,50]	85,00 [73,00; 89,50]	0,48
ИМТ, кг/м ² / BMI, kg/m ²	25,90 [24,40; 29,75]	28,10 [26,95; 29,10]	0,575
Курение / Smoking, n (%)	6 (40,0)	9 (60,0)	0,466
COVID-19 в анамнезе / History of COVID-19, n (%)	8 (53,3)	7 (46,7)	1,000
Сахарный диабет / Diabetes mellitus, n (%)	3 (20,0)	3 (20,0)	1,000
ГБ / АН, n (%)	10 (66,7)	10 (66,7)	1,000

Примечание: ГБ — гипертоническая болезнь, ИМТ — индекс массы тела.

Note: АН — arterial hypertension, BMI — body mass index.

Таблица 2. Хирургическая характеристика пациентов

Table 2. Surgical characteristics of patients

Показатель / Parameter	Группа I / Group I (n = 15)	Группа II / Group II (n = 15)	p
Продолжительность операции, ч / Duration of surgery, h	6,00 [5,00; 6,25]	6,00 [5,50; 7,10]	0,356
Продолжительность ИК, мин / CPB duration, min	110,00 [73,00; 141,00]	111,00 [82,50; 161,00]	0,756
Время пережатия аорты, мин / Aortic cross-clamp time, min	64,00 [42,50; 93,00]	68,00 [33,00; 79,00]	0,547

Примечание: ИК — искусственное кровообращение.

Note: CPB — cardiopulmonary bypass.

На вторые сутки после операции выявлено развитие послеоперационных изменений в легочной ткани у пациентов обеих групп. Отмечается рост распространенности пневмофиброза на 25 % и 66,6 % соответственно, а также изменений по типу «матового стекла». Ателектазы диагностированы у 100 % пациентов обеих групп (табл. 3).

Наибольший объем и количество ателектазов определялись в нижних долях правого (НДПЛ) и левого (НДЛЛ) легких (табл. 3). В остальных отделах легких ателектазы носили единичный характер.

Перед выпиской у пациентов обеих групп сохраняются явления застойного и воспалительного характера в легких. Однако в группе I, проходящей курс ПДВ-тренировок, количество пациентов с ателектазами сокращается до 53,3 %, в то время как в группе II положительная динамика отсутствует ($p = 0,035$).

Волюметрический анализ показал более эффективное уменьшение объемов ателектазов в НДПЛ и НДЛЛ в группе I: на 91,9 % ($p = 0,008$) и 84,0 % ($p = 0,006$) соответственно. В то время как в группе II снижение составило 63,4 % ($p < 0,001$) и 38,6 % ($p < 0,001$) соответственно. При этом обнаружены статистически значимые межгрупповые различия (табл. 3).

Для выявления факторов, ассоциированных с объемом послеоперационных ателектазов, был проведен корреляционный анализ в общей выборке пациентов. Наиболее сильная взаимосвязь наблюдалась между объемом ателектазов и продолжительностью ИК, причем корреляция была высокой как для НДПЛ ($r = 0,812$; $p < 0,001$), так и для НДЛЛ ($r = 0,730$; $p < 0,001$) (рис. 1).

Спирометрия

Анализ ФВД на дооперационном этапе не выявил статистически значимых различий между группами по всем изучаемым показателям спирометрии (табл. 4).

В ранний послеоперационный период в обеих группах зафиксировано снижение всех объемных и скоростных показателей ФВД. Например, в группе I ФЖЕЛ снизилась на 31,7 % ($p < 0,001$), ОФВ₁ — на 33,9 % ($p < 0,001$). В группе II наблюдалась аналогичная динамика без статистически значимой разницы между группами ($p > 0,05$).

На 12-е сутки после операции отмечалась положительная динамика показателей ФВД в обеих группах. Однако группа I характеризовалась наиболее выра-

Таблица 3. Динамика данных компьютерной томографии у пациентов I и II группы

Table 3. Dynamics of computed tomography findings in patients of groups I and II

Показатель / Parameter	Группа / Group	II этап / Stage II	III этап / Stage III
Пневмофиброз / Pneumofibrosis, n (%)	I	14 (93,3)	15 (100,0)
	II	15 (100,0)	15 (100,0)
«Матовое стекло» / “Ground-glass” opacity, n (%)	I	7 (46,6)	4 (26,6)
	II	4 (26,7)	4 (26,7)
Ателектазы / Atelectasis, n (%)	I	15 (100,0)	8 (53,3)**,#
	II	15 (100,0)	14 (93,3)
Гидроторакс / Hydrothorax, n (%)	I	13 (86,6)	11 (73,3)
	II	9 (60,0)	7 (46,7)
ПКД / PDD, n (%)	I	5 (33,3)	5 (33,3)
	II	7 (46,7)	7 (46,7)
Объемы ателектазов в НДПЛ, мл / Volume of atelectasis in RLL, ml	I	88,00 [53,25; 120,90]	7,05 [5,83; 15,05]**,#
	II	77,90 [37,80; 107,30]	28,55 [19,40; 44,62]***
Объемы ателектазов в НДЛЛ, мл / Volume of atelectasis in LLL, ml	I	119,80 [72,10; 164,75]	19,15 [6,92; 39,67]**,#
	II	96,60 [61,35; 152,90]	59,35 [26,12; 67,50]***

Примечание: НДЛЛ — нижняя доля левого легкого, НДПЛ — нижняя доля правого легкого, ПКД — парез купола диафрагмы. Внутригрупповые различия: ** — $p < 0,01$, *** — $p < 0,001$. Межгрупповые различия: # — $p < 0,05$.

Note: LLL — left lower lobe, RLL — right lower lobe, PDD — paresis of the diaphragmatic dome. Intra-group differences: ** — $p < 0.01$, *** — $p < 0.001$. Inter-group differences: # — $p < 0.05$.

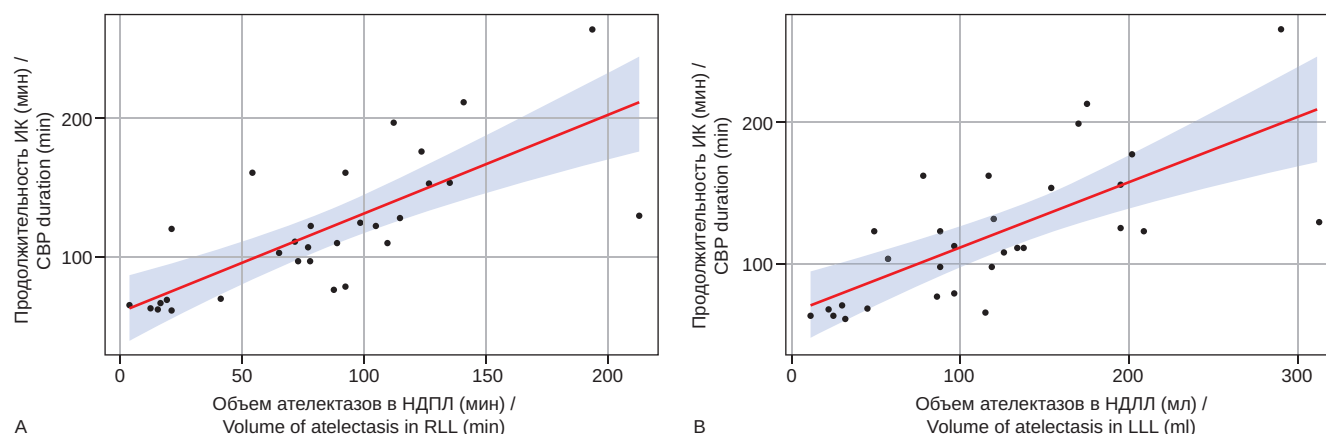


Рис. 1. Взаимосвязь объема ателектазов в нижней доле правого легкого (А), нижней доле левого легкого (В) и продолжительности искусственного кровообращения на II этапе исследования

Fig. 1. Relationship between the volume of atelectasis in the right lower lobe (A), left lower lobe (B) and the duration of cardiopulmonary bypass at stage II of the study

Примечание: ИК — искусственное кровообращение, НДЛЛ — нижняя доля левого легкого, НДПЛ — нижняя доля правого легкого.

Note: CPB — cardiopulmonary bypass, LLL — left lower lobe, RLL — right lower lobe.

женным восстановлением большинства показателей спирометрии. Наилучшие результаты достигнуты в скоростных характеристиках: показатель пиковой объемной скорости выдоха (ПОС) достиг 90,1 % от исходного значения, а максимальной объемной скорости (МОС₅₀) восстановился на 93,3 %. В группе II степень восстановления указанных показателей от исходного составила 76,6 % и 61,5 % соответственно.

Суточная пульсоксиметрия

Исходный анализ суточной пульсоксиметрии не выявил статистически значимых различий между группами по исследуемым показателям. Стоит отметить сниженные показатели минимальной и среднесуточной сатурации, а также повышенные значения индекса десатурации (ИД), что может свидетельствовать о наличии у пациентов обеих групп нарушений дыхания во сне (табл. 5).

Таблица 4. Межэтапная динамика показателей спирометрии в группах I и II

Table 4. Interstage dynamics of spirometry parameters in groups I and II

Показатель / Parameter	Группа / Group	I этап / Stage I	II этап / Stage II	III этап / Stage III
ФЖЕЛ / FVC, %	I	87,00 [81,40; 93,75]	59,40 [51,90; 67,25]***	75,50 [66,80; 82,45]
	II	88,50 [84,75; 93,45]	61,20 [49,85; 65,50]***	70,00 [63,45; 75,75]*
ОФВ ₁ / FEV ₁ , %	I	91,20 [83,80; 94,45]	60,30 [52,90; 71,35]***	70,80 [64,10; 77,60]**#
	II	88,20 [83,75; 97,85]	54,50 [48,30; 67,80]***	58,90 [56,60; 72,90]**
ОФВ ₁ /ФЖЕЛ / FEV ₁ /FVC, %	I	102,40 [99,10; 105,25]	103,60 [100,45; 105,00]	102,50 [101,10; 106,85]
	II	98,90 [97,30; 103,85]	99,70 [85,35; 106,50]	101,40 [88,25; 105,25]
ПОС / PEF, %	I	90,20 [85,20; 98,20]	56,10 [43,15; 57,65]***	81,30 [73,80; 88,50]#
	II	89,20 [74,75; 101,15]	53,00 [40,35; 61,80]***	68,30 [48,40; 80,25]*
МОС ₂₅ / FEF ₂₅ , %	I	87,70 [79,40; 92,10]	57,80 [46,15; 61,70]***	78,50 [63,65; 83,65]*
	II	77,00 [72,25; 100,45]	48,10 [37,25; 61,35]***	66,10 [50,80; 73,65]*
МОС ₅₀ / FEF ₅₀ , %	I	78,00 [70,35; 94,55]	55,80 [48,20; 62,85]**#	72,80 [58,00; 88,15]#
	II	83,40 [79,15; 86,90]	41,70 [36,55; 54,35]***	51,30 [42,95; 70,00]**
МОС ₇₅ / FEF ₇₅ , %	I	83,30 [69,40; 94,90]	56,60 [45,20; 68,15]***	61,80 [54,60; 83,15]**#
	II	74,40 [57,95; 84,65]	47,10 [32,80; 58,60]***	52,50 [38,05; 68,45]*
СОС ₂₅₋₇₅ / FEF ₂₅₋₇₅ , %	I	87,60 [74,55; 96,05]	52,20 [46,25; 63,50]***	68,10 [60,00; 80,65]**#
	II	77,10 [62,05; 90,35]	40,40 [33,30; 65,65]***	51,70 [41,70; 69,65]*
МВЛ / MVV, %	I	88,50 [77,95; 93,40]	55,70 [50,90; 61,15]***	71,20 [57,55; 77,55]**#
	II	83,30 [79,85; 93,50]	47,50 [43,95; 66,25]***	53,80 [50,25; 67,90]**

Примечание: МВЛ — максимальная вентиляция легких, МОС — максимальная объемная скорость, ОФВ₁ — объем форсированного выдоха за первую секунду, ПОС — пиковая объемная скорость выдоха, СОС₂₅₋₇₅ — средняя объемная скорость, ФЖЕЛ — форсированная жизненная емкость легких. Внутригрупповые различия (сравнение со значениями I этапа): * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$, *** — $p < 0,001$. Межгрупповые различия: # — $p < 0,05$.

Note: MVV — maximum voluntary ventilation, FEF — forced expiratory flow, FEV₁ — forced expiratory volume in 1 second, PEF — peak expiratory flow, FEF₂₅₋₇₅ — forced expiratory flow, FVC — forced vital capacity. Intra-group differences (comparison with stage I values): * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$, *** — $p < 0,001$. Inter-group differences: # — $p < 0,05$.

Таблица 5. Показатели суточной пульсоксиметрии групп I и II до операции

Table 5. Preoperative 24-hour pulse oximetry parameters in Groups I and II

Показатель / Parameter	Группа I / Group I (n = 15)	Группа II / Group II (n = 15)	p
SpO _{2мин} / SpO _{2min} , %	87,00 [83,50; 89,50]	86,00 [81,00; 93,00]	0,724
SpO _{2макс} / SpO _{2max} , %	97,70 [96,35; 98,90]	97,00 [95,00; 98,00]	0,117
SpO _{2средн} / SpO _{2mean} , %	92,70 [89,45; 95,25]	94,00 [93,05; 94,55]	0,418
Индекс десатурации / Desaturation index	6,70 [5,85; 7,55]	7,20 [4,35; 9,35]	0,724

На вторые сутки после операции в обеих группах было зафиксировано ухудшение всех показателей суточной пульсоксиметрии. Например, ИД в группе I увеличился в 2,9 раза ($p < 0,001$) до 19,3 [15,30; 23,50], а в группе II — в 2,5 раза ($p < 0,001$) до 18,2 [11,25; 21,75] (рис. 2).

К моменту выписки из стационара анализ данных показал более эффективное восстановление среднесуточной сатурации и ИД в группе I. Так, SpO_{2средн} в группах I и II составило 93,6 % [92,65; 94,00] и 91,8 % [90,95; 92,90] ($p = 0,011$), а значения ИД — 8,1 [7,05; 9,00] против

9,9 [9,35; 11,55] ($p < 0,001$) соответственно. Остальные изучаемые показатели не различались между группами и восстановились к дооперационным значениям.

Эхокардиография

Дооперационная эхокардиография выявила у пациентов обеих групп признаки выраженной систолической дисфункции (фракция выброса: 45,90 [40,50; 48,30] против 43,80 [42,70; 45,60]) и постинфарктного ремоделирования левого желудочка (конечный диастолический объем: 172,70 [147,40; 182,05] против 173,20 [155,35; 190,00]).

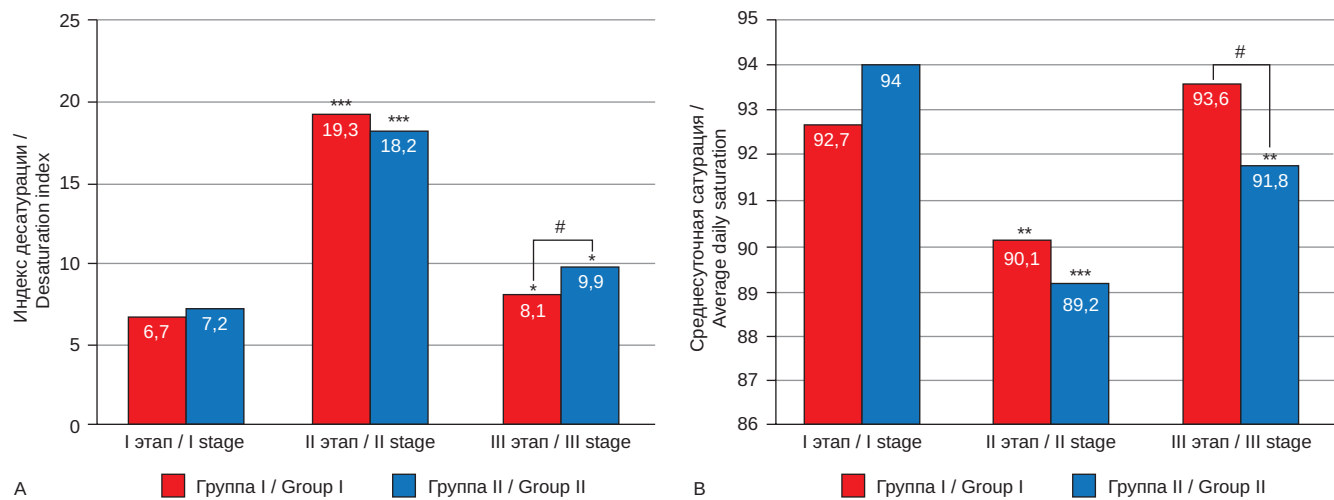


Рис. 2. Межэтапная динамика индекса десатурации (А) и среднесуточной сатурации (В)
Fig. 2. Interstage dynamics of the desaturation index and mean daily saturation

Примечание: Внутригрупповые различия (сравнение со значениями I этапа): * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$, *** — $p < 0,001$. Межгрупповые различия: # — $p < 0,05$.

Note: Intra-group differences (comparison with stage I values): * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.01$, *** — $p < 0.001$. Inter-group differences: # — $p < 0.05$.

На вторые сутки после операции в обеих группах выявлено статистически значимое снижение объемных и линейных показателей левого желудочка. Например, конечный диастолический объем в группах I и II уменьшается на 25,9 % ($p < 0,001$) и 24,2 % ($p < 0,001$) соответственно. При этом положительной динамики по фракции выброса не выявлено (рис. 3).

К моменту выписки из стационара эхокардиографическая картина в обеих группах оставалась стабильной, без статистически значимых различий.

ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ результатов исследования показал, что ПДВ-тренировки превосходят стандартную ДГ в разрешении ателектазов и восстановлении ФВД у пациентов после ГРЛЖ. Согласно данным нашего исследования, на вторые сутки после операции ателектазы были выявлены у 100 % пациентов обеих групп, что согласуется с данными литературы о высокой распространенности ателектазов после кардиохирургических вмешательств [14]. Ключевым фактором, ассоциированным с объемом ателектазирования, оказалась продолжительность ИК. Была установлена прямая корреляция между длительностью ИК и объемом ателектазов как в НДПЛ, так и в НДЛЛ, что подтверждает ведущую роль ИК в повреждении и ателектазировании альвеол [15]. Применение ПДВ-тренировок в группе I позволило не только сократить число пациентов с ателектазами, но и эффективнее уменьшить их объемы по сравнению с показателями группы II, что согласуется с результатами работы Naeffener M.P. et al. [16].

На вторые сутки после операции в обеих группах было зафиксировано снижение объемных и скоростных показателей спирометрии в среднем на 30–40 %, что является следствием стернотомии, болевого синдрома [15], а также развития интерстициального отека [17]. К моменту выписки динамика восстановления ФВД между группами существенно различалась. В группе I выяв-

лено статистически значимо лучшее восстановление как объемных, так и скоростных показателей спирометрии. Это подтверждает эффективность ПДВ-тренировок не только в разрешении ателектазов, но и в лучшем укреплении дыхательной мускулатуры, а также нормализации мукоцилиарного клиренса [18].

Нарушение легочной механики и развитие ателектазов привели к ухудшению газообмена, а также к увеличению числа эпизодов апноэ/гипопноэ. У пациентов с хронической сердечной недостаточностью, исходно предрасположенных к нарушениям дыхания во сне [19], операционные факторы, а также вынужденное положение на спине, усугубляют это состояние [20, 21]. К выписке в группе ПДВ-тренировок показатели среднесуточной сатурации и ИД восстанавливались достоверно лучше, чем в группе II. Эффект ПДВ-тренировок обусловлен улучшением вентиляционно-перфузионных отношений за счет разрешения ателектазов [22], оксигенотерапией, а также стабилизацией дыхательных путей, как при применении постоянного положительного давления в дыхательных путях (CPAP-терапии) [23].

Сопоставимая динамика эхокардиографических показателей левого желудочка в обеих группах свидетельствует о том, что ПДВ-тренировки не оказывают негативного влияния на сердечную функцию и безопасны для пациентов с хронической сердечной недостаточностью.

Ограничения исследования

Полученные результаты представляют собой промежуточную оценку эффективности различных методов респираторной реабилитации у пациентов после операции ГРЛЖ. Также ограничением исследования является относительно небольшая выборка пациентов. Кроме того, в рамках данной работы не проводилось долгосрочное наблюдение, которое могло бы оценить устойчивость выявленных положительных эффектов в отдаленный период.

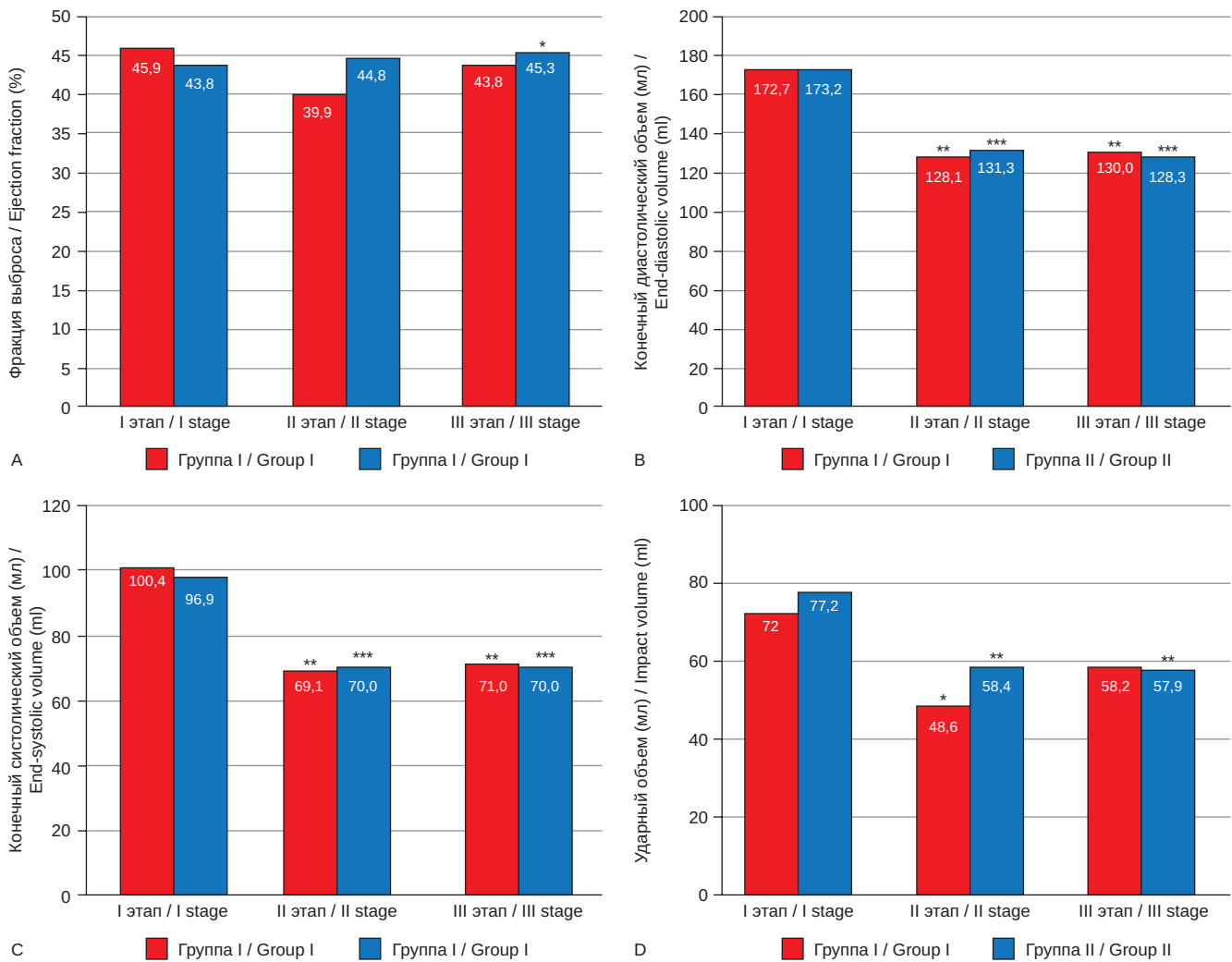


Рис. 3. Межэтапная динамика показателей эхокардиографии
Fig. 3. Interstage dynamics of echocardiography parameters

Примечание: Внутригрупповые различия (сравнение со значениями I этапа): * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$, *** — $p < 0,001$.
 A — фракция выброса, B — конечный диастолический объем, C — конечный систолический объем, D — ударный объем.
Note: Intra-group differences (comparison with stage I values): * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.01$, *** — $p < 0.001$. A — ejection fraction, B — end-diastolic volume, C — end-systolic volume, D — stroke volume.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование демонстрирует, что тренировки с ПДВ являются патогенетически обоснованным и более эффективным методом респираторной реабилитации в профилактике легочных осложнений по сравнению со стандартной ДГ у пациентов после ГРЛЖ.

Применение ПДВ-тренировок способствует более быстрому разрешению ателектазов, восстановлению ФВД и газообмена, что потенциально может сократить длительность госпитализации, снизить риск развития нозокомиальной пневмонии и улучшить общие исходы лечения у данной категории кардиохирургических больных.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Затенко Марк Александрович, инструктор-методист по лечебной физкультуре, отделение медицинской реабилитации взрослых с сердечно-сосудистыми заболеваниями, Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева Минздрава России.

E-mail: mazatenko@bakulev.ru;
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3767-6293>

Мамалыга Максим Леонидович, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, врач-кардиолог, отдел хирургического лечения ишемической болезни сердца, Национальный медицинский исследовательский центр

сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7444-9930>

Алшибая Михаил Михайлович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделом хирургического лечения ишемической болезни сердца, Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8003-5523>

Джитавя Тамара Георгиевна, кандидат медицинских наук, заведующий отделением медицинской реабилитации взрослых с сердечно-сосудистыми заболеваниями, Национальный медицинский исследовательский центр

сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6141-2231>

Лобачева Галина Васильевна, доктор медицинских наук, профессор, руководитель группы анестезиологии и реанимации в кардиохирургии, Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7978-6952>

Данилов Сергей Александрович, инструктор-методист по лечебной физкультуре, отделение ранней медицинской реабилитации, Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0525-2069>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: Затенко М.А. — научное обоснование, проведение исследования, анализ данных, написание черновика рукописи; Мамалыга М.Л. — научное обоснование, руководство проектом, анализ данных, проверка и редактирование рукописи; Алшибая М.М. — концепция и дизайн исследования, курирование проекта,

проверка и редактирование рукописи; Джитава Т.Г. — научное обоснование; Лобачева Г.В. — проверка и редактирование рукописи; Данилов С.А. — проведение исследования.

Источники финансирования. Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическое утверждение. Авторы заявляют, что все процедуры, использованные в данной статье, соответствуют этическим стандартам учреждений, проводивших исследование, и соответствуют Хельсинкской декларации в редакции 2013 г. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России (Москва, Россия) (Протокол № 5 от 07.10.2023).

Информированное согласие. В исследовании не раскрываются сведения, позволяющих идентифицировать личность пациентов. От всех пациентов/законных представителей было получено письменное согласие на публикацию всей соответствующей медицинской информации, включенной в рукопись.

Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

ADDITIONAL INFORMATION

Mark A. Zatenko, Exercise Therapy Instructor, Department of Medical Rehabilitation for Adults with Cardiovascular Diseases, A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery.

E-mail: mazatenko@bakulev.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3767-6293>

Maxim L. Mamalyga, D.Sc. (Med.), Leading Researcher, Cardiologist, Department of Surgical Treatment of Coronary Artery Disease, A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7444-9930>

Mikhail M. Alshibaya, D.Sc. (Med.), Professor, Head of the Department of Surgical Treatment of Coronary Artery Disease, A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8003-5523>

Tamara G. Djitava, PhD (Med.), Head of the Department of Medical Rehabilitation for Adults with Cardiovascular Diseases, A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6141-2231>

Galina V. Lobacheva, D.Sc. (Med.), Professor, Head of the Group of Anesthesiology and Intensive Care in Cardiac Surgery, A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7978-6952>

Sergei A. Danilov, Exercise Therapy Instructor, Department of Early Medical Rehabilitation, A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0525-2069>

Author Contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Zatenko M.A. — conceptualization, investigation, formal analysis, writing — original draft; Mamalyga M.L. — conceptualization, project administration, formal analysis, writing — review & editing; Alshibaya M.M. — conceptualization, supervision, writing — review & editing; Djitava T.G. — conceptualization; Lobacheva G.V. — writing — review & editing; Danilov S.A. — investigation.

Funding. This study was not supported by any external funding sources.

Disclosure. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Ethics Approval. The authors declare that all procedures used in this article are in accordance with the ethical standards of the institutions that conducted the study and are consistent with the 2013 Declaration of Helsinki. The study was approved by the Local Ethics Committee of the A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery (Moscow, Russia) (Protocol No. 5, dated October 7, 2023).

Informed Consent for Publication. The study does not disclose information to identify the patients. Written consent was obtained from all patients/legal representatives for publication of all relevant medical information included in the manuscript.

Data Access Statement. The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Список литературы / References

1. Huffmyer J.L., Groves D.S. Pulmonary complications of cardiopulmonary bypass. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*. 2015; 29(2): 163–175. <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2015.04.002>
2. Fischer M.O., Brotons F., Briant A.R., et al. Postoperative Pulmonary Complications After Cardiac Surgery: The VENICE International Cohort Study. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2022; 36(8): 2344–2351. <https://doi.org/10.1053/jjvca.2021.12.024>
3. Oshvandi K., Bostanbakhsh A., Salavati M., et al. Effect of Respiratory Exercises on the Prevalence of Atelectasis in Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Surgery. *Avicenna Journal of Nursing and Midwifery Care*. 2020; 27(6): 432–440. <https://doi.org/10.30699/ajnm.27.6.432>
4. Никитина Т.Г., Попов Д.А., Хугаева А.А. Нозокомиальная пневмония у пациентов старшей возрастной группы после кардиохирургических операций. *Клиническая физиология кровообращения*. 2019; 16(2): 124–132. <https://doi.org/10.24022/1814-6910-2019-16-2-124-132> [Nikitina T.G., Popov D.A., Khugaeva A.A. Nosocomial pneumonia in elderly patients after cardiac surgery. *Clinical Physiology of Circulation*. 2019; 16(2): 124–132. <https://doi.org/10.24022/1814-6910-2019-16-2-124-132> (In Russ.).]
5. Никитина Т.Г., Пелех Д.М., Филипкина Т.Ю. и др. Влияние коморбидности на непосредственные результаты хирургической коррекции клапанных пороков сердца. *Клиническая физиология кровообращения*. 2022; 19(3): 238–246. <https://doi.org/10.24022/1814-6910-2022-19-3-238-246> [Nikitina T.G., Pelekh D.M., Filipkina T.Yu., et al. Impact of comorbidity on immediate results of surgical correction of valvular heart defects. *Clinical Physiology of Circulation*. 2022; 19(3): 238–246. <https://doi.org/10.24022/1814-6910-2022-19-3-238-246> (In Russ.).]
6. Chang H., Huang W., Yu W., et al. Prognostic Role of Pulmonary Function in Patients With Heart Failure With Reduced Ejection Fraction. *Journal of the American Heart Association*. 2022; 11(7): e023422. <https://doi.org/10.1161/JAHA.121.023422>
7. Lagier D., Zeng C., Fernandez-Bustamante A., et al. Perioperative Pulmonary Atelectasis: Part II. Clinical Implications. *Anesthesiology*. 2022; 136(1): 206–236. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000004009>
8. Zeng C., Lagier D., Lee J.W., et al. Perioperative Pulmonary Atelectasis: Part I. Biology and Mechanisms. *Anesthesiology*. 2022; 136(1): 181–205. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000003943>
9. Голухова Е.З. Отчет о лечебной и научной работе Национального медицинского исследовательского центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева Минздрава России за 2024 год. Перспективы дальнейшего развития. Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. 2025; 26(Спецвыпуск): 5–130. <https://doi.org/10.24022/1810-0694-2025-265> [Golukhova E.Z. Report on the clinical and scientific activity of Bakoulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery for 2024. Development prospects. *The Bulletin of Bakoulev Center. Cardiovascular Diseases*. 2025; 26(Special Issue): 5–130. <https://doi.org/10.24022/1810-0694-2025-265> (In Russ.).]
10. Мерзляков В.Ю., Скопин А.И., Мамедова С.К. и др. Успешная повторная реваскуляризация миокарда с реконструкцией полости левого желудочка, выполненная в условиях параллельной перфузии и нормотермии на сокращающемся сердце. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 2023; 65(3): 335–340. <https://doi.org/10.24022/0236-2791-2023-65-3-335-340> [Merzlyakov V.Y., Skopin A.I., Mamedova S.K., et al. Successful repeated myocardial revascularization with reconstruction of the left ventricular cavity, performed under conditions of parallel perfusion and normothermia on the beating heart. *Russian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2023; 65(3): 335–340. <https://doi.org/10.24022/0236-2791-2023-65-3-335-340> (In Russ.).]
11. Ferreira L.O., Vasconcelos V.W., Lima J.S., et al. Biochemical Changes in Cardiopulmonary Bypass in Cardiac Surgery: New Insights. *Journal of Personalized Medicine*. 2023; 13(10): 1506. <https://doi.org/10.3390/jpm13101506>
12. Moradian S.T., Heydari A.A., Mahmoudi H. What is the Role of Preoperative Breathing Exercises in Reducing Postoperative Atelectasis after CABG? *Reviews on Recent Clinical Trials*. 2019; 14(4): 275–279. <https://doi.org/10.2174/1574887114666190710165951>
13. Jage B., Thakur A. Effectiveness of Acapella along with institutional based chest physiotherapy techniques on pulmonary functions and airway clearance in post-operative CABG patients. *Hong Kong Physiotherapy Journal*. 2022; 42(2): 81–89. <https://doi.org/10.1142/S101370252250007X>
14. Hedenstierna G., Edmark L. Mechanisms of atelectasis in the perioperative period. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*. 2010; 24(2): 157–169. <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2009.12.002>
15. Girgin Z., Ciğerci Y., Yaman F. The Effect of Pulmonary Rehabilitation on Respiratory Functions, and the Quality of Life, following Coronary Artery Bypass Grafting: A Randomised Controlled Study. *BioMed Research International*. 2021; 2021: 6811373. <https://doi.org/10.1155/2021/6811373>
16. Haeffener M.P., Ferreira G.M., Barreto S.S.M., et al. Incentive spirometry with expiratory positive airway pressure reduces pulmonary complications, improves pulmonary function and 6-minute walk distance in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery. *American Heart Journal*. 2008; 156(5): 900.e1–900.e8. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2008.08.006>
17. Şengel A., Akyol F., Orman M., et al. Interstitial Edema After Cardiopulmonary Bypass in Patients Undergone Cardiac Surgery: Evaluation Through Lung Ultrasonography. *Journal of Society of Thoracic Cardio-Vascular Anesthesia and Intensive Care*. 2022; 28(3): 235–241. <https://doi.org/10.5222/GKDAD.2022.95669>
18. Belli S., Prince I., Savio G., et al. Airway Clearance Techniques: The Right Choice for the Right Patient. *Frontiers in Medicine*. 2021; 8: 544826. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.544826>
19. Kishan S., Rao M.S., Ramachandran P., et al. Prevalence and Patterns of Sleep-Disordered Breathing in Indian Heart Failure Population. *Pulmonary Medicine*. 2021; 2021: 9978906. <https://doi.org/10.1155/2021/9978906>
20. Lévy P., Naughton M.T., Tamisier R., et al. Sleep apnoea and heart failure. *European Respiratory Journal*. 2022; 59(5): 2101640. <https://doi.org/10.1183/13993003.01640-2021>
21. Yumino D., Redolfi S., Ruttanaumpawan P., et al. Nocturnal rostral fluid shift: A unifying concept for the pathogenesis of obstructive and central sleep apnea in men with heart failure. *Circulation*. 2010; 121(14): 1598–1605. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.902452>
22. Aboubacar K., Frederick M. The Pores of Kohn, an Overlooked Pulmonary Structure: A Review. *Journal of Pulmonology and Respiratory Research*. 2024; 8(2): 63–68. <https://doi.org/10.29328/journal.jprr.1001063>
23. Saha S.C., Siddiqui M.F., Abdullah A., et al. Airway stability in sleep apnea: Assessing continuous positive airway pressure efficiency. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 2024; 325: 104265. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2024.104265>

Вариабельность сердечного ритма в оценке стресса и автономной регуляции: современное состояние метода, клинические применения и перспективы. Обзор литературы

 Лыков Ю.А.,  Кузюкова А.А.* ,  Марченкова Л.А.,  Королев Ю.Н.,
 Рожкова Е.А.,  Зубарева Н.Н.

Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Вариабельность сердечного ритма (ВСР) является неинвазивным физиологическим показателем, отражающим состояние автономной регуляции и баланс симпатических и парасимпатических влияний со стороны вегетативной нервной системы. В последние годы ВСР активно используется для оценки острого и хронического стресса, а также при диагностике тревожных и депрессивных расстройств, суицидального риска и для некоторых неврологических заболеваний.

ЦЕЛЬ. Провести анализ современных представлений о ВСР как объективном маркере стрессовых состояний и автономной регуляции, оценить ее диагностические возможности при психических и неврологических расстройствах, а также определить методологические ограничения и перспективы клинического применения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Выполнен обзор литературы за 2015–2025 гг. по базам данных PubMed, Medline, Scopus, Web of Science и eLIBRARY.RU с использованием ключевых слов: heart rate variability, HRV, стресс, автономная нервная система, тревога, депрессия, суицидальное поведение, неврологические заболевания, носимые устройства.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА. Обобщены данные о физиологических механизмах формирования ВСР, методах регистрации и анализе временных, частотных и нелинейных показателей. Наиболее воспроизводимым признаком стресс-индуцированной дисрегуляции является снижение параметров, отражающих вагусную модуляцию сердечного ритма. Снижение ВСР выявляется при тревожных и депрессивных расстройствах, суицидальности, эпилепсии, болезни Паркинсона, черепно-мозговой травме и других неврологических состояниях и ассоциируется с неблагоприятным прогнозом. Вместе с тем ВСР не является специфическим маркером симпатической активности или уровня стресса и зависит от условий регистрации, дыхания, возраста, медикаментозной терапии и сопутствующей патологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ВСР представляет собой информативный показатель автономной регуляции и стресс-индуцированных изменений, однако ее клиническая интерпретация требует учета методологических ограничений и использования в составе комплексной, персонализированной оценки функционального состояния.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вариабельность сердечного ритма, стресс, автономная регуляция, автономная дисрегуляция, тревожные расстройства, депрессивные расстройства, суицидальность, неврологические заболевания, носимые устройства

Для цитирования / For citation: Лыков Ю.А., Кузюкова А.А., Марченкова Л.А., Королев Ю.Н., Рожкова Е.А., Зубарева Н.Н. Вариабельность сердечного ритма в оценке стресса и автономной регуляции: современное состояние метода, клинические применения и перспективы. Обзор литературы. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(2):63–76. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-63-76> [Lykov Yu.A., Kuzukova A.A., Marchenkova L.A., Korolev Yu.N., Rozhkova E.A., Zubareva N.N. Heart Rate Variability in Stress Assessment and Autonomic Regulation: Current State of the Art, Clinical Applications and Outlook. A Literature Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(2):63–76. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-63-76> (In Russ.).]

* **Для корреспонденции:** Кузюкова Анна Александровна, E-mail: kuzukovaaa@nmicrk.ru, anna_kuzukova@mail.ru

Статья получена: 24.02.2026
Статья принята к печати: 05.03.2026
Статья опубликована: 23.04.2026

Heart Rate Variability in Stress Assessment and Autonomic Regulation: Current State of the Art, Clinical Applications and Outlook. A Literature Review

 Yuri A. Lykov,  Anna A. Kuzyukova*,  Larisa A. Marchenkova,  Yury N. Korolev,  Elena A. Rozhkova,  Natalia N. Zubareva

National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Heart rate variability (HRV) is a noninvasive physiological marker reflecting autonomic regulation and the balance between sympathetic and parasympathetic influences. HRV is increasingly being used to assess acute and chronic stress, as well as in the diagnosis of anxiety and depressive disorders, suicidal risk and for some neurological diseases.

AIM. To analyze modern ideas about HRV as an objective marker of stressful conditions and autonomous regulation, evaluate its diagnostic capabilities for mental and neurological disorders, as well as identify methodological limitations and prospects for clinical application.

MATERIALS AND METHODS. A literature review was conducted using PubMed, Medline, Scopus, Web of Science and eLIBRARY.RU databases, covering publications from 2015 to 2025. The search terms that were used included heart rate variability, HRV, stress, autonomic nervous system, anxiety, depression, suicidal behavior, neurological diseases, and wearable devices.

MAIN CONTENT OF THE REVIEW. Data on physiological mechanisms of HRV formation, recording techniques, and analysis of time-domain, frequency-domain, and nonlinear parameters were summarized. The most reproducible feature of stress-related dysregulation is reduced indices reflecting vagal modulation of heart rate. Decreased HRV has been observed in individuals with anxiety and depressive disorders, suicidal tendencies, epilepsy, Parkinson's disease, traumatic brain injury and other neurological conditions. It is also associated with an adverse prognosis. However, HRV is not a specific marker of sympathetic activity or stress level and is strongly influenced by recording conditions, respiration, age, medication, and comorbidity.

CONCLUSION. HRV is an informative indicator of autonomic regulation and stress-related alterations; however, its clinical interpretation requires consideration of methodological constraints and integration into comprehensive, personalized assessment models.

KEYWORDS: heart rate variability, stress, autonomic regulation, autonomic dysregulation, anxiety disorders, depressive disorders, suicidality, neurological diseases, wearable devices

For citation: Lykov Yu.A., Kuzyukova A.A., Marchenkova L.A., Korolev Yu.N., Rozhkova E.A., Zubareva N.N. Heart Rate Variability in Stress Assessment and Autonomic Regulation: Current State of the Art, Clinical Applications and Outlook. A Literature Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(2):63–76. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-63-76> (In Russ.).

* **For correspondence:** Anna A. Kuzyukova, E-mail: kuzyukovaaa@nmicrk.ru, anna_kuzyukova@mail.ru

Received: 24.02.2026

Accepted: 05.03.2026

Published: 23.04.2026

ВВЕДЕНИЕ

Стресс представляет собой универсальную биопсихосоциальную реакцию организма на внутренние или внешние воздействия, превышающие адаптационные ресурсы индивида. С клинической точки зрения стресс рассматривается как динамический процесс, включающий когнитивную оценку стрессора, активацию нейроэндокринных и автономных механизмов, а также формирование функциональных и структурных последствий при длительном или повторяющемся воздействии [1, 2]. В норме стрессовая реакция носит адаптивный характер и обеспечивает мобилизацию ресурсов организма. Однако при избыточной интенсивности или нарушении процессов восстановления она может трансформироваться в патогенетический фактор, лежащий в основе широкого спектра соматических и психических расстройств [1].

В структуре стресс-ассоциированной патологии значимое место занимают тревожные и депрессивные расстройства, функциональные соматические синдромы, психосоматические заболевания сердечно-сосудистой и эндокринной систем. Психосоматические механизмы

рассматриваются как один из ключевых путей реализации хронической стрессовой нагрузки, при котором дисрегуляция автономной и нейроэндокринной систем приводит к формированию устойчивых функциональных и органических изменений [3].

В настоящее время отмечается высокая распространенность психосоматических и соматоформных расстройств. По данным эпидемиологических исследований, их частота в общей популяции варьирует от 15 % до 50 %, в амбулаторной практике соматического профиля составляет 21–33 %, а в стационарных отделениях достигает 28–53 % [3]. При этом клиническая манифестация нередко маскируется под органическую патологию. У значительной части пациентов ведущими становятся вегето-соматические проявления, кардиальные, гастроинтестинальные, дыхательные симптомы, болевые синдромы, что затрудняет своевременную верификацию стрессового компонента заболевания [4, 5]. Хронический дистресс при этом может выступать как пусковым, так и поддерживающим фактором патологического процесса, способствуя его хронизации, снижению эффективности терапии и ухудшению прогноза [6].

Высокая распространенность психосоматической патологии, а также значительный вклад хронического дистресса в формирование и поддержание сердечно-сосудистых, метаболических, неврологических и аффективных расстройств определяют клиническую значимость своевременного выявления состояний дистресса. Раннее распознавание нарушений стресс-регуляции имеет важное значение для профилактики хронизации патологических процессов, снижения риска неблагоприятных клинических исходов и оптимизации терапевтических и реабилитационных мероприятий. В последние годы в исследованиях суицидального поведения возрастает интерес к физиологическим маркерам, которые могли бы дополнить клиническую оценку суицидального риска и отразить лежащие в его основе механизмы дисрегуляции.

Современные представления о стресс-индуцированных расстройствах подчеркивают роль дисрегуляции автономной нервной системы (АНС), гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси и симпатико-адреналовых механизмов. Хроническая активация симпатического звена и недостаточность парасимпатических механизмов восстановления ассоциируются с формированием тревожных и депрессивных расстройств, психосоматической патологии, а также сердечно-сосудистых заболеваний [2, 7]. Нарушение баланса между симпатическими и парасимпатическими влияниями вегетативной нервной системы (ВНС) рассматривается как один из центральных механизмов, связывающих хронический стресс с неблагоприятными клиническими исходами. В этом контексте возрастает интерес к объективным физиологическим маркерам, позволяющим количественно оценивать состояние автономной регуляции и уровень стрессовой нагрузки. Одним из наиболее изученных и клинически значимых таких маркеров является вариабельность сердечного ритма (ВСР; heart rate variability — HRV), отражающая сложное взаимодействие симпатических и парасимпатических влияний ВНС на синусовый узел сердца [8]. ВСР рассматривается как интегральный показатель адаптационных возможностей организма и функционального состояния АНС.

Экспериментальные и клинические исследования показывают, что острый и хронический стресс сопровождается характерными изменениями временных и частотных показателей ВСР, отражающими сдвиг в сторону симпатического доминирования и снижение вагусной модуляции сердечного ритма [9].

ВСР можно рассматривать как один из ведущих маркеров, отражающих состояние АНС и симпатической активации, по которому можно судить о наличии дистресса. Показано, что показатели ВСР могут отражать физиологические реакции на психосоциальный стресс и коррелировать с независимыми маркерами стрессовой нагрузки, включая уровни кортизола [10]. В последние годы ВСР активно используется как в лабораторных условиях, так и в клинической практике, а также в системах мониторинга психофизиологического состояния с применением носимых устройств для оценки стрессовой нагрузки, автономной регуляции и динамики функционального состояния в реальных условиях. Однако интерпретация ВСР как прямого индикатора симпатической активности остается предметом дискуссий, что

требует критического анализа методологических ограничений и области применения данного показателя.

Настоящий обзор посвящен анализу диагностических возможностей ВСР в объективизации стрессовых состояний и автономной регуляции. В статье рассматриваются физиологические основы ВСР, методы ее регистрации и анализа, данные о характеристиках ВСР при стрессе, тревожных и депрессивных расстройствах, суицидальном поведении и неврологических заболеваниях, а также ограничения метода и перспективы его дальнейшего применения.

ЦЕЛЬ

Провести анализ современных представлений о ВСР как объективном маркере стрессовых состояний и автономной регуляции, оценить ее диагностические возможности при психических и неврологических расстройствах, а также определить методологические ограничения и перспективы клинического применения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использовались следующие базы данных: PubMed, Medline, Scopus, Web of Science, eLIBRARY.RU. Поиск проводился по ключевым словам: вариабельность сердечного ритма, heart rate variability, HRV, ВСР, стресс, автономная нервная система, автономная регуляция, тревожные расстройства, депрессивные расстройства, суицидальное поведение, неврологические заболевания, носимые устройства. Глубина поиска публикаций — 10 лет (2015–2025 гг.).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА

Физиологические основы вариабельности сердечного ритма

ВСР представляет собой количественную характеристику колебаний интервалов между последовательными сердечными сокращениями и отражает динамическое взаимодействие механизмов автономной регуляции сердечно-сосудистой системы. Сердечный ритм формируется в результате непрерывной интеграции симпатических и парасимпатических влияний ВНС на синусовый узел, которые в свою очередь модулируются центральными нейронными структурами, участвующими в регуляции эмоций, поведения и гомеостаза [11].

Снижение ВСР ассоциируется с ухудшением способности к физиологической адаптации, повышенным риском сердечно-сосудистых событий и неблагоприятным прогнозом при ряде психических и неврологических заболеваний [8, 9, 12].

В состоянии покоя у здоровых взрослых лиц средний интервал между последовательными сердечными сокращениями, как правило, составляет порядка 800–1000 мс, что соответствует частоте сердечных сокращений около 60–75 ударов в минуту. При этом сердечный ритм не является строго регулярным: физиологические колебания длительности интервалов между сокращениями в пределах десятков миллисекунд отражают активность механизмов автономной регуляции и обеспечивают гибкую адаптацию сердечно-сосудистой системы к внутренним и внешним воздействиям.

Парасимпатическая регуляция сердечного ритма реализуется преимущественно через блуждающий

нерв и характеризуется быстрыми фазовыми изменениями частоты сердечных сокращений. Эти изменения лежат в основе дыхательной синусовой аритмии и определяют значительную часть кратковременных колебаний ВСП. Симпатические влияния оказывают более медленное и длительное воздействие на сердечный ритм, опосредованное активацией симпатoadренальной системы, барорефлекторных механизмов и гуморальных факторов [13].

Важно подчеркнуть, что ВСП не может рассматриваться как простой показатель баланса между симпатическим и парасимпатическим отделами АНС. Современные концепции подчеркивают интегративный характер автономной регуляции. Согласно модели нейровисцеральной интеграции, ВСП отражает функциональное состояние распределенной центральной автономной сети, включающей отделы префронтальной коры, поясную извилину, миндалевидное тело, гипоталамус и структуры ствола мозга [11]. Эти структуры обеспечивают координацию когнитивных, эмоциональных и вегетативных процессов, что позволяет рассматривать ВСП как физиологический коррелят способности организма к адаптивному саморегулированию [14].

Высокая ВСП ассоциируется с эффективным центральным контролем автономных функций и высокой регуляторной гибкостью, обеспечивающей адекватную адаптацию к изменяющимся условиям среды. Напротив, снижение ВСП отражает ограничение адаптационных возможностей, преобладание реактивных форм регуляции и повышенную уязвимость к воздействию стрессоров [14]. Клинические и популяционные исследования демонстрируют устойчивую связь между низкими значениями ВСП и неблагоприятными исходами, включая повышенный риск сердечно-сосудистых событий, а также более тяжелое течение психических и неврологических расстройств [8, 9, 12].

Таким образом, ВСП является интегральным физиологическим показателем, отражающим многоуровневую регуляцию сердечно-сосудистой системы с участием периферических и центральных механизмов. Понимание физиологических основ формирования ВСП является необходимым условием для корректной интерпретации ее изменений при стрессе и для обоснованного использования данного показателя в клинических и исследовательских целях.

Методы регистрации variability сердечного ритма

Корректная оценка ВСП напрямую зависит от метода регистрации сердечных сокращений, длительности записи и условий измерения. Несмотря на активное внедрение носимых технологий, электрокардиография остается референтным методом регистрации ВСП, поскольку обеспечивает точное определение интервалов между последовательными зубцами R и позволяет минимизировать влияние артефактов и ошибок детекции [15].

Электрокардиография

Электрокардиографическая регистрация обеспечивает наивысшую точность оценки временной структуры сердечного ритма и традиционно используется

в клинических и исследовательских протоколах анализа ВСП. Стандартом для оценки кратковременной ВСП считается пятиминутная запись в состоянии покоя, что позволяет рассчитывать временные, частотные и нелинейные показатели [15]. Более длительные записи, включая суточный мониторинг, применяются для оценки циркадных колебаний автономной регуляции и прогностических аспектов ВСП.

Электрокардиография обеспечивает точность определения интервалов между зубцами R с погрешностью менее 1–2 мс, что принципиально важно для корректного расчета временных и спектральных показателей ВСП. Даже небольшие систематические ошибки в определении R–R интервалов (5–10 мс) могут приводить к значимым искажениям параметров, отражающих парасимпатическую модуляцию.

Основным дополнительным преимуществом электрокардиографии является возможность визуального контроля качества сигнала, выявления артефактов, экстрасистол и нарушений ритма, что позволяет проводить корректную предварительную очистку данных перед анализом. К ограничениям метода относятся необходимость специализированного оборудования, ограниченная мобильность пациента и меньшая применимость в условиях длительного или повседневного мониторинга, что в последние годы стимулировало развитие альтернативных методов регистрации сердечного ритма.

Фотоплетизмография

Фотоплетизмография представляет собой оптический метод регистрации пульсовых волн, основанный на анализе изменений объема крови в периферических тканях. В последние годы фотоплетизмографические сенсоры получили широкое распространение в носимых устройствах, что сделало возможной оценку ВСП вне лабораторных условий [16]. В этом случае анализируется вариабельность интервалов между пульсовыми волнами, которая рассматривается как прокси-показатель ВСП.

Сравнительные исследования показывают, что при условиях покоя и хорошем качестве сигнала фотоплетизмография может обеспечивать приемлемую точность оценки временных показателей ВСП, в частности, параметров, отражающих парасимпатическую модуляцию [16]. Однако точность фотоплетизмографической регистрации существенно снижается при физической активности, изменениях периферической перфузии, движениях и температурных воздействиях, что ограничивает интерпретацию полученных данных.

Носимые устройства и амбулаторный мониторинг

Развитие носимых технологий привело к активному использованию ВСП в системах мониторинга стресса, психофизиологического состояния и благополучия. Современные носимые устройства позволяют проводить длительные измерения в реальных условиях повседневной жизни, что открывает новые возможности для изучения хронического стресса и процессов восстановления [17].

Однако перенос анализа ВСП в полевые условия сопровождается рядом методологических проблем. К ним относятся высокая чувствительность показате-

лей к артефактам движения, дыханию, позе тела и индивидуальным особенностям, а также использование укороченных интервалов записи. В частности, применение ультракоротких записей продолжительностью менее одной минуты может быть допустимо для оценки отдельных временных параметров, но существенно ограничивает интерпретацию частотных и нелинейных показателей [18].

Кроме того, использование алгоритмов машинного обучения для детекции стресса на основе ВСР хотя и демонстрирует высокие показатели точности в экспериментальных условиях, часто требует персонализации моделей и не всегда обеспечивает воспроизводимость результатов при переносе между различными популяциями [19]. Это подчеркивает необходимость осторожного подхода к интерпретации данных, полученных с помощью носимых устройств, особенно при клиническом применении.

Методологические ограничения регистрации

Независимо от используемого метода регистрации анализ ВСР требует строгого контроля условий измерения и учета факторов, способных исказить результаты. К таким факторам относятся дыхание, физическая активность, психоэмоциональное состояние, медикаментозная терапия, возраст и сопутствующие заболевания [8]. Игнорирование этих переменных может приводить к ошибочным выводам о состоянии автономной регуляции и уровне стрессовой нагрузки. Таким образом, выбор метода регистрации ВСР должен определяться задачами исследования или клинической оценки, а интерпретация полученных данных — основываться на понимании физиологических и технических ограничений каждого подхода.

Подходы к анализу вариабельности сердечного ритма: временные, частотные и нелинейные методы

Анализ ВСР основан на количественной оценке временной структуры последовательности интервалов между сердечными сокращениями и может осуществляться с использованием различных математических подходов. Традиционно выделяют временные, частотные и нелинейные методы анализа, каждый из которых отражает различные аспекты автономной регуляции и обладает собственными возможностями и ограничениями [8].

Временные методы анализа

Временные показатели ВСР рассчитываются непосредственно из последовательности интервалов между нормальными сердечными сокращениями и характеризуют общую величину вариабельности и кратковременные колебания сердечного ритма. К числу наиболее широко используемых параметров относятся стандартное отклонение интервалов между нормальными сокращениями и среднеквадратичное отклонение последовательных разностей.

Стандартное отклонение интервалов отражает суммарную ВСР за период регистрации и формируется под влиянием как симпатических, так и парасимпатических механизмов. Этот показатель широко применяется в клинических исследованиях и обладает доказанной

прогностической значимостью в отношении сердечно-сосудистой смертности [8]. Среднеквадратичное отклонение последовательных разностей отражает преимущественно быстрые, фазовые колебания сердечного ритма, тесно связанные с дыхательной синусовой аритмией, и широко рассматривается как индекс вагусной модуляции. Это делает данный показатель чувствительным к изменениям функционального состояния при стрессе и психоэмоциональных воздействиях при условии учета контекста измерения [13].

Временные методы анализа ВСР отличаются относительной простотой вычисления и при корректной предварительной обработке сигнала обладают устойчивостью к ряду артефактов. Однако такие показатели не позволяют оценить вклад отдельных регуляторных контуров и не отражают спектральную организацию автономных влияний.

Частотные методы анализа

Частотный анализ ВСР основан на разложении временного сигнала на спектральные компоненты и позволяет оценивать распределение мощности колебаний сердечного ритма в различных диапазонах частот. Наиболее часто анализируются высокочастотный и низкочастотный диапазоны спектра, которые ранее традиционно интерпретировались как маркеры парасимпатической и симпатической активности соответственно.

Высокочастотные колебания ВСР связаны преимущественно с дыхательной синусовой аритмией и отражают парасимпатическое влияние на сердечный ритм. Накопленные экспериментальные и клинические данные указывают на более сложную природу низкочастотных колебаний ВСР, формирование которых определяется значительным вкладом барорефлекторных и центральных механизмов регуляции, а также парасимпатических влияний. Это ограничивает использование данного компонента в качестве прямого индикатора активности симпатического отдела АНС [13].

Отношение мощности низкочастотного и высокочастотного диапазонов ранее широко применялось для интерпретации взаимодействия симпатических и парасимпатических влияний. Однако в настоящее время информативность данного показателя в качестве индикатора симпатовагального баланса ставится под сомнение в связи с ограниченной физиологической специфичностью и высокой чувствительностью к условиям регистрации [15].

Частотные методы анализа требуют соблюдения строгих условий стационарности сигнала и достаточной длительности записи, что ограничивает их применение при анализе ультракоротких интервалов и данных, полученных в реальных условиях повседневной активности.

Нелинейные методы анализа

В последние десятилетия все большее внимание уделяется нелинейным методам анализа ВСР, направленным на оценку сложности, самоорганизации и фрактальных свойств сердечного ритма. Эти подходы основаны на представлении сердечно-сосудистой регуляции как нелинейной динамической системы, функционирование которой не может быть полностью описано линейными моделями [20, 21].

К числу наиболее изученных нелинейных показателей относятся энтропийные параметры, отражающие степень нерегулярности и информационного содержания временного ряда, а также фрактальные показатели, характеризующие корреляционную структуру колебаний сердечного ритма на различных временных масштабах. Снижение сложности сердечного ритма рассматривается как признак утраты адаптационного потенциала и дезинтеграции регуляторных механизмов [22].

Свежие данные метаанализа 2023 г. показывают, что нелинейные показатели ВСП могут обладать большей чувствительностью к изменениям функционального состояния при психических расстройствах, в частности при депрессии, по сравнению с традиционными временными и частотными параметрами [23]. Это делает их перспективными инструментами для оценки стресс-индуцированных изменений автономной регуляции, однако сложность интерпретации и отсутствие единых нормативных значений ограничивают их широкое клиническое применение [24].

Методологические аспекты интерпретации показателей variability сердечного ритма

Независимо от выбранного метода анализа интерпретация показателей ВСП требует учета контекста регистрации, длительности записи и индивидуальных особенностей обследуемого. Использование отдельных параметров в отрыве от физиологической и клинической информации может приводить к ошибочным выводам, особенно при попытках прямой оценки симпатической активности [13].

Различные классы показателей ВСП отражают разные уровни и временные масштабы автономной регуляции: временные параметры характеризуют общую и кратковременную ВСП, частотные — распределение колебаний по спектральным диапазонам, а нелинейные — сложность, самоорганизацию и адаптивность регуляторных процессов. Использование только одного класса показателей ограничивает интерпретацию данных и может не отражать многоуровневую природу автономной регуляции. Таким образом, временные, частотные и нелинейные методы анализа ВСП следует рассматривать как взаимодополняющие инструменты, позволяющие получить более полное представление о состоянии автономной регуляции и ее изменениях при стрессе [25].

Изменения показателей variability сердечного ритма при стрессе

Стресс сопровождается комплексной перестройкой автономной регуляции, направленной на мобилизацию энергетических ресурсов и поддержание гомеостаза в условиях повышенных требований. Основным физиологическим механизмом стрессовой реакции является активация симпатического отдела АНС в сочетании с подавлением парасимпатических влияний, что отражается в характерных изменениях ВСП [9].

Острый стресс и variability сердечного ритма

Экспериментальные модели острого стресса, включая социально-оценочные и когнитивные стрессоры, демонстрируют воспроизводимые изменения показате-

лей ВСП. Наиболее устойчиво описывается снижение параметров, отражающих парасимпатическую (вагусную) модуляцию сердечного ритма, а также уменьшение общей variability, что интерпретируется как функциональный сдвиг автономной регуляции в сторону симпатической доминанты [26]. Эти изменения развиваются быстро и, как правило, носят обратимый характер при сохраненной способности к восстановлению.

Одной из наиболее широко используемых лабораторных моделей является социальный стресс-тест Триера (Trier Social Stress Test — TSST), при проведении которого отмечается выраженное снижение временных показателей ВСП параллельно с активацией гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси и повышением уровня кортизола [27]. При этом степень снижения ВСП и скорость ее восстановления после стрессового воздействия демонстрируют значительную межличностную variability, отражающую различия в стрессоустойчивости и эффективности автономной регуляции.

Показано, что реактивность ВСП при остром стрессе может рассматриваться как функциональный маркер адаптационных возможностей организма. Индивиды с более выраженным снижением ВСП и замедленным восстановлением после стрессора характеризуются более высоким уровнем субъективного дистресса и менее благоприятными психофизиологическими профилями [9].

Хронический стресс и автономная дисрегуляция

Согласно данным литературного обзора, опубликованного в 2023 г., в отличие от острого стрессового воздействия, хронический стресс сопровождается более устойчивыми изменениями автономной регуляции, которые могут сохраняться даже в условиях покоя. Обобщение данных экспериментальных и наблюдательных исследований у здоровых взрослых свидетельствует о том, что длительное воздействие психосоциальных стрессоров ассоциируется со снижением общей ВСП и уменьшением показателей, преимущественно отражающих парасимпатическую (вагусную) модуляцию сердечного ритма, в частности, среднеквадратичного отклонения последовательных разностей интервалов между сердечными сокращениями и мощности высокочастотных колебаний сердечного ритма [9].

В исследовании хронического профессионального и психосоциального стресса у лиц с высокой стрессовой нагрузкой показатели, отражающие кратковременную парасимпатическую модуляцию сердечного ритма, в состоянии покоя последовательно оказывались ниже по сравнению с контрольными группами. Аналогично сообщается о снижении мощности высокочастотных колебаний сердечного ритма и показателей общей ВСП, отражающих суммарную автономную регуляцию. Указанные изменения выявлялись при регистрации в состоянии покоя и в ряде исследований сохранялись после учета возраста, пола и уровня физической активности, что указывает на формирование устойчивой автономной дисрегуляции при длительном стрессовом воздействии [9].

При этом выполнявшими обзор исследователями подчеркивается значительная variability количе-

ственных эффектов между исследованиями, обусловленная различиями в типе и длительности стрессового воздействия, характеристиках выборок и протоколах регистрации ВСП, что ограничивает возможность прямого количественного сопоставления результатов, но не ставит под сомнение устойчивость выявляемой ассоциации между хроническим стрессом и снижением вагусной модуляции сердечного ритма [9].

Исследования профессионального и психосоциального стресса показывают, что лица, подвергающиеся длительной стрессовой нагрузке, характеризуются более низкими значениями ВСП и замедленным восстановлением автономной регуляции при длительном наблюдении. В когортном исследовании работающих пациентов после первого эпизода острого коронарного синдрома показано, что высокая рабочая нагрузка, оцененная по модели дисбаланса усилий и вознаграждений, сопровождалась замедленным восстановлением частотных показателей ВСП, включая общую мощность спектра, а также высоко- и низкочастотные компоненты, в течение года наблюдения (во всех случаях $p < 0,001$).

Временной показатель общей ВСП демонстрировал тенденцию к снижению при высоком уровне дисбаланса усилий и вознаграждений ($p \approx 0,07$), тогда как традиционная модель рабочей нагрузки не выявила статистически значимых ассоциаций с изменениями ВСП ($p > 0,10$) и, соответственно, не позволяла прогнозировать устойчивое снижение автономной регуляции. Эти результаты поддерживают представление, что хронический рабочий стресс, особенно отражаемый дисбалансом усилий и вознаграждений, связан с более выраженным снижением ВСП, что может отражать постоянную автономную дисрегуляцию и повышенный риск неблагоприятных исходов [28]. Эти изменения рассматриваются как проявление хронической автономной дисрегуляции и потенциальный механизм, связывающий стресс с повышенным риском сердечно-сосудистых и психических расстройств.

Особый интерес представляет связь между хроническим стрессом и нарушением процессов восстановления автономной регуляции. Снижение ночной ВСП и уменьшение амплитуды суточных колебаний ВСП рассматриваются как признаки истощения регуляторных резервов и недостаточной эффективности парасимпатических механизмов восстановления [9].

Вариабельность сердечного ритма, стресс и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая ось

Связь ВСП с активностью гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси является важным аспектом физиологии стресса. Экспериментальные исследования показывают, что снижение показателей ВСП при стрессовом воздействии сопровождается повышением уровня кортизола, однако характер этой связи не является линейным и зависит от длительности стрессора и индивидуальных особенностей регуляции [26].

Показано, что ВСП в состоянии покоя может предсказывать выраженность кортизолового ответа на стресс: более низкие значения ВСП ассоциируются с более выраженной гормональной реакцией и замедленным восстановлением после стрессового воздействия [10].

Это позволяет рассматривать ВСП как интегральный физиологический маркер, отражающий координацию автономной и эндокринной составляющих стрессовой реакции.

Оценка стресса в реальных условиях повседневной жизни при помощи variability сердечного ритма

С развитием носимых технологий анализ ВСП все чаще используется для оценки стресса в реальных условиях повседневной жизни. Полевые исследования демонстрируют, что изменения ВСП коррелируют с субъективными оценками стрессовой нагрузки, рабочими требованиями и показателями психоэмоционального состояния [29]. Вместе с тем такие данные характеризуются высокой variability и чувствительностью к множеству неконтролируемых факторов, что требует осторожной интерпретации результатов.

Несмотря на эти ограничения, использование ВСП в сочетании с клиническими параметрами и другими физиологическими маркерами рассматривается как перспективное направление для оценки хронического стресса и мониторинга процессов восстановления в реальных условиях [30].

Вариабельность сердечного ритма и тревожные расстройства

Тревожные расстройства характеризуются устойчивой активацией систем, обеспечивающих реагирование на угрозу, и рассматриваются как клинический пример хронической стресс-индуцированной дисрегуляции АНС. С физиологической точки зрения тревога ассоциируется с повышенной симпатической активностью, снижением вагусного контроля и нарушением гибкости автономной регуляции, что находит отражение в изменениях ВСП.

Проведенный в 2024 г. метаанализ демонстрирует, что у пациентов с тревожными расстройствами значения ВСП в состоянии покоя, как правило, ниже по сравнению со здоровыми контрольными группами [31]. Наиболее устойчиво воспроизводимым результатом является снижение временных показателей, отражающих парасимпатическую модуляцию сердечного ритма, что интерпретируется как признак ослабленного вагусного контроля.

Снижение ВСП было описано при различных формах тревожных расстройств, включая генерализованное тревожное расстройство, паническое расстройство и социальную тревогу. При этом выраженность автономных изменений может варьировать в зависимости от клинического подтипа, длительности заболевания и сопутствующих состояний, таких как депрессия и соматические заболевания.

Механизмы связи тревоги и автономной дисрегуляции

С позиций нейровисцеральной интеграции тревожные расстройства сопровождаются нарушением центрального контроля автономных функций, обусловленным дисфункцией префронтально-лимбических взаимодействий.

Ослабление тормозного влияния префронтальной коры на структуры, связанные с генерацией страха и тревоги, приводит к преобладанию реактивных форм регуляции и снижению ВСП [14].

Экспериментальные исследования показывают, что у лиц с повышенным уровнем тревожности наблюдается как снижение ВСП в состоянии покоя, так и измененная реактивность автономной регуляции при воздействии стрессоров. В частности, такие пациенты могут демонстрировать чрезмерное снижение ВСП в ответ на стресс или, напротив, недостаточное восстановление после прекращения стрессового воздействия [31, 32].

Клиническая значимость и дифференциальные аспекты показателей variability сердечного ритма при тревоге

Изменения ВСП при тревожных расстройствах имеют потенциальную клиническую значимость, поскольку низкие значения ВСП ассоциируются с более выраженной симптоматикой, худшим качеством жизни и повышенным риском соматических осложнений. В то же время следует учитывать, что снижение ВСП не является специфическим маркером тревоги и может наблюдаться при других формах психопатологии, включая депрессивные и стресс-индуцированные расстройства [14].

В современных публикациях особое внимание уделяется вопросу дифференциальной диагностики тревоги и депрессии на основе показателей ВСП. Хотя обе группы расстройств характеризуются снижением ВСП, некоторые исследования указывают на различия в паттернах автономной дисрегуляции и в чувствительности отдельных показателей, включая нелинейные параметры. Однако полученные данные остаются неоднородными и требуют дальнейших исследований [33, 34].

Влияние терапевтических вмешательств на показатели variability сердечного ритма при тревожных расстройствах

В ряде исследований показано, что эффективное лечение тревожных расстройств, включая когнитивно-поведенческую терапию и методы, направленные на модуляцию автономной регуляции, может сопровождаться увеличением ВСП. Дыхательные интервенции и методы биологической обратной связи, ориентированные на усиление вагусной активности, ассоциируются с улучшением показателей ВСП и снижением выраженности тревожной симптоматики [35–37].

Вариабельность сердечного ритма при депрессивных расстройствах

Депрессивные расстройства рассматриваются как одно из состояний, наиболее тесно связанных с нарушением автономной регуляции. С точки зрения психофизиологии депрессия характеризуется снижением регуляторной гибкости, преобладанием пассивных и ригидных форм реагирования, а также устойчивыми изменениями взаимодействия между центральными и периферическими механизмами контроля сердечно-сосудистой системы. Эти особенности находят отражение в характерных изменениях ВСП [7].

Метаанализ 43 исследований, охвативший более 2300 пациентов с депрессивными расстройствами и более 3500 здоровых участников, показал устойчивое снижение показателей ВСП в состоянии покоя у пациентов с депрессией по сравнению с контролем. Наиболее выраженные различия выявлены для показателей, отражающих парасимпатическую модуляцию сердечного ритма. В частности, показатели кратковременной ВСП были ниже у пациентов с депрессией в среднем на 10–20 мс, что соответствует снижению приблизительно на 20–30 % по сравнению с контрольными группами. Стандартное отклонение интервалов между нормальными сокращениями, отражающее суммарную ВСП, также было достоверно снижено, с умеренным размером эффекта (стандартизированная разница средних составляла порядка $-0,3...-0,5$). Выраженность снижения ВСП коррелировала с тяжестью депрессивной симптоматики и сохранялась после поправки на возраст, пол и сопутствующую соматическую патологию, что указывает на относительную самостоятельность автономной дисрегуляции как компонента депрессивного расстройства [7].

Снижение ВСП описано как при клинически выраженной депрессии, так и при субклинических депрессивных симптомах. При этом выраженность изменений показателей ВСП различается в зависимости от уровня аффективной симптоматики [38]. Низкие значения ВСП ассоциируются и с текущей симптоматикой, и с неблагоприятным прогнозом, включая повышенный риск сердечно-сосудистых осложнений у пациентов с депрессией [39].

Нелинейные показатели и сложность сердечного ритма

В последние годы особое внимание уделяется анализу нелинейных характеристик ВСП при депрессивных расстройствах. Показано, что депрессия сопровождается снижением сложности и фрактальной организации сердечного ритма, что отражает дезинтеграцию регуляторных контуров и утрату адаптационного потенциала физиологических систем [14].

Обзорные статьи указывают на то, что нелинейные показатели ВСП могут обладать большей чувствительностью к депрессивной симптоматике по сравнению с традиционными временными и частотными параметрами, особенно на ранних этапах заболевания и при субклинических формах депрессии [33, 40]. Это делает их перспективным инструментом для углубленной оценки автономной дисрегуляции, хотя отсутствие унифицированных нормативных значений ограничивает их широкое клиническое применение на данный момент [41].

Прогностические аспекты показателей variability сердечного ритма при депрессии

Нарушения ВСП при депрессии имеют важное прогностическое значение. Низкая ВСП рассматривается как возможный механизм, связывающий депрессию с повышенной сердечно-сосудистой смертностью, что подтверждается данными крупных эпидемиологических исследований [7]. Кроме того, изменения ВСП могут сохраняться даже после клинического улучшения,

что позволяет рассматривать автономную дисрегуляцию как относительно устойчивый физиологический маркер депрессивной уязвимости [42].

Показано, что более низкие значения ВСР ассоциируются с меньшей вероятностью ответа на антидепрессивную терапию и более высоким риском рецидива депрессивных эпизодов. Эти результаты подчеркивают потенциальную ценность ВСР как дополнительного биомаркера при оценке течения и прогноза депрессивных расстройств [43].

Депрессия, стресс и коморбидные состояния

Депрессия часто сочетается с хроническим стрессом, тревожными расстройствами и соматической патологией, каждая из которых может вносить вклад в изменения ВСР. Это усложняет интерпретацию данных и требует осторожного подхода при попытках использовать ВСР как специфический маркер депрессии. Тем не менее совокупность данных свидетельствует о том, что автономная дисрегуляция является важным патофизиологическим компонентом депрессивных расстройств и может рассматриваться как одно из звеньев, связывающих психоэмоциональные нарушения с соматическими последствиями [43].

Вариабельность сердечного ритма и суицидальность

Суицидальное поведение представляет собой один из наиболее тяжелых и клинически значимых исходов психических расстройств и хронического стресса. ВСР рассматривается как потенциальный объективный показатель нарушений автономной регуляции, связанных с суицидальными мыслями и поведением [44].

С позиций психофизиологии суицидальность ассоциируется с выраженной дезинтеграцией регуляторных систем, включая АНС и центральные механизмы контроля эмоций и импульсивности. Низкая ВСР рассматривается как отражение сниженного вагусного контроля, ограниченной регуляторной гибкости и нарушенной способности к адаптивному управлению аффективными состояниями. Концептуально эти изменения хорошо вписываются в модель нейровисцеральной интеграции, согласно которой снижение ВСР отражает ослабление функциональных связей между префронтальными отделами коры и подкорковыми структурами, участвующими в генерации эмоциональных и стрессовых реакций [14]. Нарушение этих связей может способствовать усилению импульсивных и ригидных форм реагирования, что рассматривается как один из факторов суицидального риска [45].

Наблюдательные и клинические исследования показывают, что у лиц с суицидальными мыслями, и особенно у пациентов с историей суицидальных попыток, значения ВСР в состоянии покоя, как правило, ниже по сравнению с пациентами без суицидальности и здоровыми контрольными группами. Эти различия сохраняются даже при учете выраженности депрессивной симптоматики, что указывает на относительную автономность связи между ВСР и суицидальным риском [46].

Особый интерес представляют данные о связи ВСР с когнитивными и аффективными аспектами суицидаль-

ности. Показано, что более низкие показатели ВСР ассоциируются с повышенной выраженностью суицидальных мыслей, сниженной способностью к когнитивному контролю и большей эмоциональной реактивностью. Это позволяет рассматривать ВСР как маркер общего дистресса, а также как показатель нарушений регуляции, потенциально вовлеченных в формирование суицидального поведения.

Суицидальность, депрессия и коморбидность

Следует подчеркнуть, что суицидальность редко встречается изолированно и, как правило, развивается на фоне депрессивных, тревожных или стресс-индуцированных расстройств. Это существенно усложняет интерпретацию изменений ВСР, поскольку каждый из этих факторов способен независимо влиять на показатели автономной регуляции. Тем не менее ряд исследований указывает на то, что снижение ВСР у суицидальных пациентов превышает ожидаемый эффект, связанный только с депрессией, что подчеркивает потенциальную специфичность автономных нарушений при суицидальном риске [46].

Несмотря на обнадеживающие данные, использование ВСР в качестве инструмента оценки суицидального риска остается ограниченным рядом факторов. Большинство исследований имеет поперечный дизайн, включает небольшие выборки и не позволяет однозначно установить причинно-следственные связи. Кроме того, показатели ВСР чувствительны к множеству соматических и поведенческих факторов, что снижает их специфичность при индивидуальной клинической оценке [46]. Вместе с тем ВСР может рассматриваться как дополнительный компонент мультидисциплинарной оценки суицидального риска, особенно в сочетании с клиническими шкалами, психологическими показателями и другими физиологическими маркерами. Такой подход соответствует современным представлениям о необходимости комплексной, многоуровневой оценки суицидальности и может способствовать более раннему выявлению групп повышенного риска [47].

Диагностические возможности показателей variability сердечного ритма при неврологических заболеваниях

Нарушения автономной регуляции являются характерной чертой многих неврологических заболеваний и отражают вовлечение центральных и периферических вегетативных механизмов в патологический процесс. ВСР рассматривается как объективный показатель дисфункции АНС, связанной с поражением структур центральной автономной сети, стволовых образований и кортико-подкорковых связей [48].

Эпилепсия и внезапная неожиданная смерть при эпилепсии

У пациентов с эпилепсией изменения ВСР описаны как в период между приступами, так и в непосредственной связи с эпилептическими приступами. Наблюдается снижение общей ВСР и показателей, отражающих парасимпатическую модуляцию, что интерпретируется как проявление хронической автономной дисфункции, эти

изменения особенно выражены у пациентов с фармако-резистентными формами эпилепсии и височной локализацией эпилептогенного очага [49].

Особое клиническое значение имеет связь автономной дисрегуляции с риском внезапной неожиданной смерти при эпилепсии. Показано, что снижение ВСП и нарушение динамики автономной регуляции ассоциируются с более высоким риском фатальных исходов, что позволяет рассматривать ВСП как один из потенциальных прогностических маркеров. При этом подчеркивается, что изменения ВСП отражают не изолированное кардиальное нарушение, а системную дисфункцию центральных регуляторных механизмов [48].

Болезнь Паркинсона и другие нейродегенеративные заболевания

Болезнь Паркинсона характеризуется выраженным вовлечением АНС, что проявляется широким спектром немоторных симптомов, включая ортостатическую гипотензию, нарушения сердечного ритма и терморегуляции. Исследования демонстрируют значительное снижение ВСП у пациентов с болезнью Паркинсона, которые могут выявляться уже на ранних стадиях заболевания.

Снижение ВСП при болезни Паркинсона ассоциируется с тяжестью немоторных симптомов, когнитивными нарушениями и ухудшением качества жизни. Эти данные поддерживают представление о ВСП как потенциальном биомаркере прогрессирования нейродегенеративного процесса и вовлечения автономных механизмов регуляции. Аналогичные, хотя и менее изученные, изменения описаны и при других нейродегенеративных заболеваниях, что подчеркивает универсальность автономной дисфункции при поражении центральной нервной системы [50].

Черепно-мозговая травма и острые неврологические состояния

После черепно-мозговой травмы ВСП часто снижена, что отражает нарушение центральной регуляции автономных функций вследствие диффузного или очагового повреждения мозга. Показано, что степень снижения ВСП коррелирует с тяжестью травмы и может иметь прогностическое значение в отношении восстановления и функциональных исходов [51].

Изменения ВСП также описаны при острых неврологических состояниях, включая инсульт и субарахноидальное кровоизлияние, где автономная дисрегуляция рассматривается как один из факторов неблагоприятного прогноза. Однако интерпретация ВСП в этих условиях осложняется влиянием медикаментозной терапии, системных осложнений и сопутствующих соматических факторов [52].

Несмотря на убедительные данные о связи ВСП с неврологическими заболеваниями, ее использование в клинической практике остается ограниченным. Основными проблемами являются гетерогенность исследуемых выборок, различия в протоколах регистрации и анализа, а также отсутствие стандартизированных пороговых значений для клинической интерпретации [53]. Тем не менее ВСП представляет собой перспективный дополнительный инструмент для

оценки автономной дисфункции при неврологических заболеваниях, особенно в сочетании с клиническими шкалами, нейровизуализацией и другими физиологическими показателями. Такой интегративный подход может способствовать более глубокому пониманию патофизиологических механизмов и индивидуализации клинической оценки [54].

Ограничения использования variability сердечного ритма как маркера стресса и симпатической активности

Анализ ВСП широко используется в исследованиях стресса и автономной регуляции, однако интерпретация ВСП как прямого и специфического маркера симпатической активности сопряжена с рядом принципиальных ограничений. Эти ограничения касаются как физиологических основ формирования показателей ВСП, так и методологических аспектов их регистрации и анализа [55].

Влияние дыхания и поведенческих факторов

Показатели ВСП в высокой степени чувствительны к дыхательным параметрам, включая частоту и глубину дыхания. Изменения дыхательного паттерна, часто возникающие при стрессе, тревоге или во время экспериментальных протоколов, могут существенно влиять на временные и частотные показатели ВСП независимо от истинных изменений автономной регуляции [13]. Это особенно важно при интерпретации данных, полученных в условиях свободного дыхания и при использовании носимых устройств.

Кроме дыхания, на ВСП оказывают влияние положение тела, уровень физической активности, прием пищи, кофеина и никотина, а также суточные ритмы. Игнорирование этих факторов может существенно снижать воспроизводимость результатов и ограничивать их клиническую интерпретацию [56].

Клиническая интерпретация и индивидуальная variability

Важным ограничением является высокая межличностная variability показателей ВСП. Возраст, пол, уровень физической тренированности, наличие соматических и психических заболеваний, а также медикаментозная терапия могут существенно влиять на значения ВСП и их реактивность на стресс [56]. Это затрудняет использование универсальных пороговых значений и требует индивидуализированного подхода к интерпретации данных. Кроме того, снижение ВСП не обладает достаточной специфичностью в отношении стрессовых состояний и может отражать общие механизмы автономной дисрегуляции, наблюдаемые при широком спектре состояний, включая депрессивные, тревожные и неврологические расстройства, сердечно-сосудистую патологию и воспалительные процессы. ВСП следует рассматривать как один из компонентов комплексной оценки функционального состояния [42].

Концептуальные ограничения

Наконец, следует подчеркнуть, что ВСП отражает интегральный результат взаимодействия множества ре-

гуляторных контуров и не позволяет напрямую судить о причинно-следственных механизмах автономной дисрегуляции. Использование ВСП для оценки стресса и симпатической активности требует четкого понимания того, что именно измеряется, и отказа от чрезмерно упрощенных интерпретаций [55].

Перспективы использования варибельности сердечного ритма в диагностике стресса

Современное развитие психофизиологии и цифровых технологий расширяет возможности применения ВСП далеко за пределы традиционных лабораторных и клинических условий. В последние годы ВСП все чаще рассматривается не как одиночный маркер, а как часть комплексных систем оценки стресса, включающих данные от носимых сенсоров, алгоритмы обработки сигналов и поведенческую/контекстуальную информацию. Носимые устройства позволяют непрерывно регистрировать физиологические сигналы (включая ВСП, частоту сердечного ритма, электродермальную активность и температуру), что делает возможным мониторинг стресс-реакций в реальных повседневных условиях и интеграцию этих данных с поведенческими паттернами и контекстом пользователя для более чувствительной, персонализированной оценки состояния. Такие подходы рассматриваются в систематических обзорах как важное направление мониторинга стресса и психического здоровья с использованием цифровых биомаркеров и алгоритмических моделей [17].

Мультисенсорные и интегративные подходы

Необходимость мультисенсорных и интегративных подходов связана с многоуровневой физиологией стресс-реакции, вследствие чего использование одного физиологического биомаркера, включая ВСП, имеет ограниченную информативность. ВСП отражает аспекты автономной регуляции и баланс симпатических и парасимпатических влияний, тогда как другие физиологические маркеры стресса, включая электродермальную активность, параметры дыхания, двигательную активность и эндокринные показатели, характеризуют дополнительные, частично независимые компоненты стресс-ответа. В частности, электродермальная активность отражает симпатическую реактивность, а гормональные показатели, такие как уровень кортизола, — активацию гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси. Интеграция этих показателей позволяет повысить специфичность и надежность оценки стрессовой нагрузки по сравнению с использованием ВСП в изоляции [17, 57]. В одном из экспериментальных исследований показано, что сочетанный анализ показателей автономной регуляции и активности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси позволяет более точно дифференцировать острые и хронические формы стресса, а также оценивать эффективность процессов восстановления после стрессового воздействия [10].

Развитие носимых технологий создает возможности для длительного мониторинга ВСП и других физиологических параметров в условиях повседневной жизни, что открывает перспективы для изучения хроничес-

кого стресса, суточной динамики автономной регуляции и индивидуальных паттернов реакции на стрессоры [58]. В этом контексте ВСП рассматривается как потенциальный цифровой биомаркер, пригодный для динамического наблюдения и персонализированной оценки риска [58]. Вместе с тем переход от исследовательских протоколов к клиническому применению требует строгой валидации алгоритмов, учета артефактов и стандартизации подходов к интерпретации данных. Без этих условий использование ВСП в цифровых системах мониторинга может приводить к переоценке точности и клинической значимости получаемых результатов [59].

Машинное обучение и персонализация оценки стресса

Использование методов машинного обучения для анализа ВСП и других физиологических сигналов является еще одним активно развивающимся направлением. Показано, что алгоритмы, обученные на индивидуальных данных, могут более точно детектировать стрессовые состояния по сравнению с универсальными моделями [60]. Это подчеркивает важность персонализированного подхода и учета индивидуальной варибельности автономной регуляции.

Однако высокая точность моделей машинного обучения в экспериментальных условиях не всегда сопровождается воспроизводимостью результатов при переносе на другие выборки и реальные клинические сценарии. Это ограничивает их использование в качестве самостоятельных диагностических инструментов и требует интеграции с клинической оценкой и экспертной интерпретацией [61].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ВСП представляет собой информативный и неинвазивный физиологический показатель, отражающий многоуровневую регуляцию сердечно-сосудистой системы и функциональное состояние АНС. Современные данные свидетельствуют о тесной связи изменений ВСП с острым и хроническим стрессом, тревожными и депрессивными расстройствами, суицидальностью и рядом неврологических заболеваний, что подчеркивает ее значимость в контексте психофизиологии и клинической медицины.

В то же время интерпретация ВСП как прямого маркера симпатической активности или уровня стресса ограничена физиологической неспецифичностью отдельных показателей, высокой чувствительностью к контексту регистрации и значительной межличностной варибельностью. Это требует осторожного подхода к использованию ВСП в диагностических целях и отказа от упрощенных интерпретаций.

Перспективы применения ВСП связаны с развитием интегративных и персонализированных подходов, включающих мультисенсорные системы, цифровые биомаркеры и методы машинного обучения. В этом контексте ВСП следует рассматривать не как самостоятельный диагностический инструмент, а как важный компонент комплексной оценки стрессовой нагрузки и автономной регуляции, дополняющий клиническую и психологическую оценку.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лыков Юрий Александрович, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, отдел нейрореабилитации и клинической психологии, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4185-5502>

Кузюкова Анна Александровна, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом нейрореабилитации и клинической психологии, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

E-mail: kuzyukovaaa@nmicrk.ru, anna_kuzyukova@mail.ru;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9275-6491>

Марченкова Лариса Александровна, доктор медицинских наук, доцент, руководитель научно-исследовательского управления, главный научный сотрудник, отдел соматической реабилитации, репродуктивного здоровья и активного долголетия, профессор кафедры восстановительной медицины, физической терапии и медицинской реабилитации, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1886-124X>

Королев Юрий Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник, отдел изучения механизмов действия физических факторов, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5530-1538>

Рожкова Елена Анатольевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, отдел биомедицинских технологий, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2440-9244>

Зубарева Наталия Николаевна, доктор экономических наук, доцент, генеральный директор, Национальный меди-

цинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4872-3377>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: Лыков Ю.А. — обеспечение материалов для исследования, написание черновика рукописи, проверка и редактирование рукописи; Кузюкова А.А. — научное обоснование, методология, написание черновика рукописи, руководство проектом; Марченкова Л.А. — научное обоснование, проверка и редактирование рукописи, курация данных; Королев Ю.Н., Рожкова Е.А. — проверка и редактирование рукописи; Зубарева Н.Н. — научное обоснование, проверка и редактирование рукописи, курация данных.

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания Минздрава России № 124013100903-0 «Разработка программного обеспечения для диагностики стрессовой напряженности как основы для применения персонифицированной медико-психологической реабилитации».

Конфликт интересов. Зубарева Н.Н. — генеральный директор ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России, главный редактор журнала «Вестник восстановительной медицины», Марченкова Л.А. — председатель редакционного совета журнала «Вестник восстановительной медицины». Остальные авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов.

Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по запросу у корреспондирующего автора.

ADDITIONAL INFORMATION

Yuri A. Lykov, PhD (Med.), Senior Researcher, Department of Neurorehabilitation and Clinical Psychology, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4185-5502>

Anna A. Kuzyukova, PhD (Med.), Leading Researcher, Head of the Unit of Neurorehabilitation and Clinical Psychology, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

E-mail: kuzyukovaaa@nmicrk.ru, anna_kuzyukova@mail.ru;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9275-6491>

Larisa A. Marchenkova, D.Sc. (Med.), Associate Professor, Head of the Office of Scientific Research, Chief Researcher, Unit of Somatic Rehabilitation, Reproductive Health and Active Longevity, Professor at the Department of Restorative Medicine, Physical Therapy and Medical Rehabilitation, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1886-124X>

Yury N. Korolev, D.Sc. (Med.), Professor, Chief Researcher, Unit of the Study the Mechanisms of Action of Physical Factors, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5530-1538>

Elena A. Rozhkova, D.Sc. (Biol.), Chief Researcher, Department of Biomedical Technologies, National Medical Research Center of Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2440-9244>

Natalia N. Zubareva, D.Sc. (Econ.), Associate Professor, Director General, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4872-3377>

Author Contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Lykov Yu.A. — resources, writing — original draft, writing — review & editing; Kuzyukova A.A. — conceptualization, methodology, writing — original draft, project administration; Marchenkova L.A. — conceptualization, writing — review & editing, data curation; Korolev Yu.N., Rozhkova E.A. — writing — review & editing; Zubareva N.N. — conceptualization, writing — review & editing, data curation.

Funding. The study was conducted within the framework of the state assignment of the Ministry of Health of the Russian

Federation No. 124013100903-0 “Development of software for the assessment of stress tension as a basis for personalized medical and psychological rehabilitation”.

Disclosure. Zubareva N.N. — Director General of the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Editor-in-Chief of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal,

Marchenkova L.A. — Chair of the Editorial Council of Bulletin of Rehabilitation Medicine Journal. The other authors state that there is no conflict of interest.

Data Access Statement. The data that support the findings of this study are available on reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

1. Эбзеева Е.Ю., Полякова О.А. Стресс и стресс-индуцированные расстройства. Медицинский совет. 2022; 16(2): 127–133. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2022-16-2-127-133> [Ebzeeva E.Y., Polyakova O.A. Stress and stress-induced disorders. Meditsinskiy sovet = Medical Council. 2022; 16(2): 127–133. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2022-16-2-127-133> (In Russ.).]
2. Есин Р.Г., Есин О.Р., Хакимова А.Р. Стресс-индуцированные расстройства. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2020; 120(5): 131–137. <https://doi.org/10.17116/jnevro2020120051131> [Esin R.G., Esin O.R., Khakimova A.R. Stress-induced disorders. S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. 2020; 120(5): 131–137. <https://doi.org/10.17116/jnevro2020120051131> (In Russ.).]
3. Толоконин А.О. Модели патогенеза психосоматических расстройств и концепция психосоматического сценария. Медицинский вестник Юга России. 2023; 14(2): 61–66 [Tolokonin A.O. Models of pathogenesis of psychosomatic disorders and the concept of a psychosomatic scenario. Medicinskiy vestnik Yuga Rossii = Medical Herald of the South of Russia. 2023; 14(2): 61–66 (In Russ.).]
4. Lehmann M., Janis Pohnotsch N., Zimmermann T., et al. Estimated frequency of somatic symptom disorder in general practice: cross-sectional survey with general practitioners. BMC Psychiatry. 2022; 22: 632. <https://doi.org/10.1186/s12888-022-04100-0>
5. Beutel M.E., Wiltink J., Ghaemi Kerahrodi J., et al. Somatic symptom load in men and women from middle to high age in the Gutenberg Health Study association with psychosocial and somatic factors. Sci Rep. 2019; 9: 4610. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40709-0>
6. Вербенко В.А., Двирский А.А., Солдатенко А.А. Психосоматические особенности тревожных и депрессивных расстройств. Врач. 2025; 2: 5–12. <https://doi.org/10.29296/25877305-2025-02-01> [Verbenko V.A., Dvirskiy A.A., Soldatenko A.A. Psychosomatic features of anxiety and depressive disorders. Vrach. 2025; 2: 5–12. <https://doi.org/10.29296/25877305-2025-02-01> (In Russ.).]
7. Wu Q., Miao X., Cao Y., et al. Heart rate variability status at rest in adult depressed patients: a systematic review and meta-analysis. Front Public Health. 2023; 11: 1243213. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1243213>
8. Shaffer F., Ginsberg J.P. An overview of heart rate variability metrics and norms. Front Psychol. 2017; 8: 258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
9. Immanuel S., Teferra M.N., Baumert M., et al. Heart rate variability for evaluating psychological stress changes in healthy adults: a scoping review. Neuropsychobiology. 2023; 82(4): 187–202. <https://doi.org/10.1159/000530376>
10. Pulpulos M.M., Vanderhasselt M.A., De Raedt R. Association between changes in heart rate variability during the anticipation of a stressful situation and the stress-induced cortisol response. Psychoneuroendocrinology. 2018; 94: 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2018.05.004>
11. Liu S., Cui Y., Chen M. Heart rate variability: a multidimensional perspective from physiological marker to brain-heart axis disorders prediction. Front Cardiovasc Med. 2025; 12: 1630668. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2025.1630668>
12. Brinza C., Floria M., Covic A., et al. Measuring heart rate variability in patients admitted with ST-elevation myocardial infarction for the prediction of subsequent cardiovascular events: a systematic review. Medicina (Kaunas). 2021; 57(10): 1021. <https://doi.org/10.3390/medicina57101021>
13. Grossman P. Respiratory sinus arrhythmia (RSA), vagal tone and biobehavioral integration: beyond parasympathetic function. Biol Psychol. 2024; 186: 108739. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2023.108739>
14. Mandarano P., Ossola P., Castiglioni P., et al. Heart rate fractality disruption as a footprint of subthreshold depressive symptoms in a healthy population. Clin Neuropsychiatry. 2022; 19(3): 163–173. <https://doi.org/10.36131/cnfliortiditore20220305>
15. Sammito S., Thielmann B., Klussmann A., et al. Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational health science. J Occup Med Toxicol. 2024; 19: 15. <https://doi.org/10.1186/s12995-024-00414-9>
16. Kim K.B., Baek H.J. Photoplethysmography in wearable devices: a comprehensive review of technological advances, current challenges, and future directions. Electronics (Basel). 2023; 12(13): 2923. <https://doi.org/10.3390/electronics12132923>
17. Pinge A., Gad V., Jaishghani D., et al. Detection and monitoring of stress using wearables: a systematic review. Front Comput Sci. 2024; 6: 1478851. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2024.1478851>
18. Besson C., Baggish A.L., Monteventi P., et al. Assessing the clinical reliability of short-term heart rate variability: insights from controlled dual-environment and dual-position measurements. Sci Rep. 2025; 15: 5611. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89892-3>
19. Vos G., Trinh K., Sarnyai Z., et al. Generalizable machine learning for stress monitoring from wearable devices: a systematic literature review. Int J Med Inform. 2023; 173: 105026. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2023.105026>
20. Gospodinova E., Lebamovski P., Georgieva-Tsaneva G., et al. Evaluation of the methods for nonlinear analysis of heart rate variability. Fractal Fract. 2023; 7(5): 388. <https://doi.org/10.3390/fractalfract7050388>
21. Zamora-Justo J.A., Campos-Aguilar M., Beas-Jara M.d.C., et al. Utility of nonlinear analysis of heart rate variability in early detection of metabolic syndrome. Front Physiol. 2025; 16: 1597314. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1597314>
22. Calderón-Juárez M., González-Gómez G.H., Echeverría J.C., et al. Revisiting nonlinearity of heart rate variability in healthy aging. Sci Rep. 2023; 13: 13185. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40385-1>
23. Čukić M., Savić D., Sidorova J. When heart beats differently in depression: review of nonlinear heart rate variability measures. JMIR Ment Health. 2023; 10: e40342. <https://doi.org/10.2196/40342>
24. Sundas A., Contreras I., Navarro-Otano J., et al. Heart rate variability over the decades: a scoping review. PeerJ. 2025; 13: e19347. <https://doi.org/10.7717/peerj.19347>
25. Zhao Y., Chen P., Zhang Y., et al. Heart rate variability and its modulation by nutrients: a narrative review on implications for cardiovascular aging. Front Neurosci. 2025; 19: 1654796. <https://doi.org/10.3389/fnins.2025.1654796>
26. Seipäjärvi S.M., Tuomola A., Juurakko J., et al. Measuring psychosocial stress with heart rate variability-based methods in different health and age groups. Physiol Meas. 2022; 43(5): 055002. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ac6b7c>
27. Birkett M.A. The Trier Social Stress Test protocol for inducing psychological stress. J Vis Exp. 2011;(56):3238. <https://doi.org/10.3791/3238>
28. Zhao H., Cao X., Jing P., et al. Work stress and changes in heart rate variability among employees after first acute coronary syndrome: a hospital-based longitudinal cohort study. Front Public Health. 2024; 12: 1336065. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1336065>

29. Hannon J., O'Hagan A., Lambe R., et al. Associations between daily heart rate variability and self-reported wellness: a 14-day observational study in healthy adults. *Sensors (Basel)*. 2025; 25(14): 4415. <https://doi.org/10.3390/s25144415>
30. Liang V., Chin G., Keane J., et al. Heart rate variability as a key physiological marker and its incorporation into modern-day technologies: a literature review. *Int J Clin Rep Stud*. 2025; 4(3). <https://doi.org/10.31579/2835-8295/126>
31. Chalmers J.A., Quintana D.S., Abbott M.J., et al. Anxiety disorders are associated with reduced heart rate variability: a meta-analysis. *Front Psychiatry*. 2014; 5: 80. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2014.00080>
32. Thayer J.F., Åhs F., Fredrikson M., et al. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neurosci Biobehav Rev*. 2012; 36(2): 747–756. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>
33. Goffi F., Maggioni E., Bianchi A.M., et al. Is cardiac autonomic control affected in major depressive disorder? A systematic review of heart rate variability studies. *Transl Psychiatry*. 2025; 15: 217. <https://doi.org/10.1038/s41398-025-03430-3>
34. Liu W., Wang S., Gu H., et al. Heart rate variability, a potential assessment tool for identifying anxiety, depression, and sleep disorders in elderly individuals. *Front Psychiatry*. 2025; 16: 1485183. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2025.1485183>
35. Vann-Adibe S., Tsui H.K.H., Zhou H.Q., et al. Efficacy and methodology of remote heart rate variability biofeedback interventions for mental health: a systematic review and meta-analysis. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2025. Published online November 27, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10484-025-09750-w>
36. Goessl V.C., Curtiss J.E., Hofmann S.G. The effect of heart rate variability biofeedback training on stress and anxiety: a meta-analysis. *Psychol Med*. 2017; 47(15): 2578–2586. <https://doi.org/10.1017/S0033291717001003>
37. Костенко Е.В., Котельникова А.В., Погонченкова И.В. и др. Психофизиологические технологии с применением метода биологической обратной связи: аналитический обзор. *Вестник восстановительной медицины*. 2024; 23(3):77-91. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-77-91> [Kostenko E.V., Kotelnikova A.V., Pogonchenkova I.V., et al. Psychophysiological Technologies Using the Biofeedback Method: an Analytical Review. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2024; 23(3):77-91. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-77-91> (In Russ.).]
38. Tan Y., Zhou M., Wang J., et al. Heart rate variability in subthreshold depression and major depressive disorder. *J Affect Disord*. 2025; 373: 306–313. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2025.01.003>
39. Carney R.M., Freedland K.E. Depression and heart rate variability in patients with coronary heart disease. *Cleve Clin J Med*. 2009; 76(Suppl 2): S13–S17. <https://doi.org/10.3949/ccjm.76.s2.03>
40. Kleiger R.E., Stein P.K., Bigger J.T. Jr. Heart rate variability: measurement and clinical utility. *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2005; 10(1): 88–101. <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2005.10101.x>
41. Laborde S., Mosley E., Thayer J.F. Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research: recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Front Psychol*. 2017; 8: 213. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>
42. Wang Z., Zou Y., Liu J., et al. Heart rate variability in mental disorders: an umbrella review of meta-analyses. *Transl Psychiatry*. 2025; 15: 104. <https://doi.org/10.1038/s41398-025-03339-x>
43. Choi K.W., Jeon H.J. Heart rate variability for the prediction of treatment response in major depressive disorder. *Front Psychiatry*. 2020; 11: 607. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00607>
44. Sheridan D.C., Baker R., DeHart R., et al. Heart rate variability and its ability to detect worsening suicidality in adolescents: a pilot trial of wearable technology. *Psychiatry Investig*. 2021; 18(10): 928–935. <https://doi.org/10.30773/pi.2021.0057>
45. van Heeringen K., Mann J.J. The neurobiology of suicide. *Lancet Psychiatry*. 2014; 1(1): 63–72. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(14\)70220-2](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(14)70220-2)
46. Omlor S., Scherbaum N., Höller I., et al. Heart rate variability and suicidal thoughts and behaviour: study protocol for a systematic review. *Syst Rev*. 2025; 15: 193. <https://doi.org/10.1186/s13643-025-02954-5>
47. Lee D., Baek J.H., Cho Y.J., et al. Association of resting heart rate and heart rate variability with proximal suicidal risk in patients with diverse psychiatric diagnoses. *Front Psychiatry*. 2021; 12: 652340. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.652340>
48. Evangelista G., Dono F., Consoli S., et al. Heart rate variability modification as a predictive factor of sudden unexpected death in epilepsy: how far are we? A systematic review and meta-analysis. *Eur J Neurol*. 2023; 30(7): 2122–2131. <https://doi.org/10.1111/ene.15792>
49. Dono F., Evangelista G., Frazzini V., et al. Interictal heart rate variability analysis reveals lateralization of cardiac autonomic control in temporal lobe epilepsy. *Front Neurol*. 2020; 11: 842. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00842>
50. Heimrich K.G., Lehmann T., Schlattmann P., et al. Heart rate variability analyses in Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Brain Sci*. 2021; 11(8): 959. <https://doi.org/10.3390/brainsci11080959>
51. Pinto S.M., Wright B., Annaswamy S., et al. Heart rate variability (HRV) after traumatic brain injury (TBI): a scoping review. *Brain Inj*. 2024. <https://doi.org/10.1080/02699052.2024.2328310>
52. Aftyka J., Staszewski J., Dębiec A., et al. Heart rate variability as a predictor of stroke course, functional outcome, and medical complications: a systematic review. *Front Physiol*. 2023; 14: 1115164. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1115164>
53. Brozat M., Böckelmann I., Sammito S. Systematic review on heart rate variability reference values. *J Cardiovasc Dev Dis*. 2025; 12(6): 214. <https://doi.org/10.3390/jcdd12060214>
54. Shaffer F., Meehan Z.M., Zerr C.L. A critical review of ultra-short-term heart rate variability norms research. *Front Neurosci*. 2020; 14: 594880. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.594880>
55. Sammito S., Thielmann B., Böckelmann I. Update: factors influencing heart rate variability a narrative review. *Front Physiol*. 2024; 15: 1430458. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1430458>
56. Damoun N., Amekran Y., Taiek N., et al. Heart rate variability measurement and influencing factors: towards the standardization of methodology. *Glob Cardiol Sci Pract*. 2024; 2024(4): e202435. <https://doi.org/10.21542/gcsp.2024.35>
57. Abd-Alrazaq A., AlSaad R., Shuweihdi F., et al. Systematic review and meta-analysis of performance of wearable artificial intelligence in detecting and predicting depression. *npj Digit Med*. 2023; 6: 84. <https://doi.org/10.1038/s41746-023-00828-5>
58. Baigutanova A., Park S., Constantinides M., et al. A continuous real-world dataset comprising wearable-based heart rate variability alongside sleep diaries. *Sci Data*. 2025; 12: 1474. <https://doi.org/10.1038/s41597-025-05801-3>
59. Li K., Cardoso C., Moctezuma-Ramirez A., et al. Heart rate variability measurement through a smart wearable device: another breakthrough for personal health monitoring? *Int J Environ Res Public Health*. 2023; 20(24): 7146. <https://doi.org/10.3390/ijerph20247146>
60. Bahameish M., Stockman T., Requena Carrión J. Strategies for reliable stress recognition: a machine learning approach using heart rate variability features. *Sensors (Basel)*. 2024; 24(10): 3210. <https://doi.org/10.3390/s24103210>
61. Hicks J.L., Althoff T., Sosic R., et al. Best practices for analyzing large-scale health data from wearables and smartphone apps. *npj Digit Med*. 2019; 2: 45. <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0121-1>

Возможности персонализации физической реабилитации по результатам кардиореспираторного нагрузочного тестирования для гериатрических пациентов: обзор

 Арефьева М.С.* ,  Колесникова Е.А.,  Рунихина Н.К.,  Ерусланова К.А.,
 Ткачева О.Н.

Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет), Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Увеличение доли лиц пожилого и старческого возраста актуализирует парадигму здорового старения, ключевым условием которого является сохранение функциональной способности путем проведения многокомпонентных физических тренировок. Однако гетерогенность гериатрического контингента, полиморбидный фон, полипрагмазия и наличие гериатрических синдромов препятствуют выработке унифицированного подхода к персонализации интенсивности аэробных нагрузок.

ЦЕЛЬ. Систематизировать существующие и потенциальные подходы к персонализации программ физической реабилитации для пациентов гериатрического профиля для формирования практико-ориентированных принципов определения индивидуальной интенсивности аэробных тренировок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА. Поиск литературы проводился в базах PubMed, Web of Science и Cochrane Library. Отбирались метаанализы, систематические обзоры и оригинальные статьи, посвященные персонализации физической реабилитации гериатрических пациентов на основе данных кардиореспираторного нагрузочного тестирования (КРНТ). Глубина поиска — 2015–2025 гг. Рассмотрены различные методы персонализации физических нагрузок. Комплексная гериатрическая оценка, оставаясь фундаментом стратификации гериатрических пациентов, не позволяет получить объективные физиологические параметры. Традиционные методы (расчетные формулы, 6-минутный тест ходьбы (6МТХ), шкала Борга) характеризуются высокой субъективностью, вариабельностью и не учитывают индивидуальные метаболические паттерны пациента. В качестве эталонного инструмента персонализации нагрузок рассматривается КРНТ. Проанализированы ограничения, присущие современным подходам из кардиореабилитации и спортивной медицины в применении к пациентам пожилого возраста, обусловленные сниженным функциональным резервом, полиморбидностью и особенностями гериатрического статуса. Отдельно обсуждаются ограничения подходов, основанных на применении процентных соотношений от достигнутой максимальной частоты сердечных сокращений и пикового поглощения кислорода у пожилых. На их клиническую применимость оказывают влияние полипрагмазия, невозможность достижения истинного физиологического максимума и другие факторы. В качестве физиологически обоснованной альтернативы предложено использование вентиляторных порогов (ВП). Данный подход позиционируется как физиологически обоснованный инструмент для определения персональных и клинически безопасных режимов физической активности. Сформулированы перспективные направления для дальнейших исследований, направленных на разработку программ физической реабилитации для пациентов гериатрического профиля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Персонализация аэробных тренировок у гериатрических пациентов должна реализовываться как процесс, включающий клинико-гериатрический этап стратификации пациентов с последующей физиологической калибровкой интенсивности по результатам КРНТ. Использование ВП является наиболее точным и безопасным методом определения индивидуальных тренировочных зон в гериатрической популяции, позволяющим минимизировать риски и повысить эффективность реабилитации. Отсутствие специализированных исследований в популяции пациентов со старческой астенией (СА) определяет необходимость дальнейших исследований, направленных на разработку программ физической реабилитации для пациентов гериатрического профиля.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: физическая активность, кардиореспираторная выносливость, тест шестиминутной ходьбы, переносимость/толерантность к физической нагрузке, старческая астения, комплексная гериатрическая оценка, гериатрическая реабилитация, кардиореспираторное нагрузочное тестирование, вентиляторный порог, аэробные тренировки

Для цитирования / For citation: Арефьева М.С., Колесникова Е.А., Рунихина Н.К., Ерусланова К.А., Ткачева О.Н. Возможности персонализации физической реабилитации по результатам кардиореспираторного нагрузочного тестирования для гериатрических пациентов: обзор. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(2):77–90. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-77-90> [Arefeva M.S., Kolesnikova E.A., Runikhina N.K., Eruslanova K.A., Tkacheva O.N. Personalizing Physical Rehabilitation for Geriatric Patients Using Cardiorespiratory Exercise Testing: A Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(2):77–90. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-77-90> (In Russ.).]

* Для корреспонденции: Арефьева Мария Сергеевна, E-mail: arefeva_ms@rgnkc.ru

Статья получена: 16.02.2026
Статья принята к печати: 05.03.2026
Статья опубликована: 23.04.2026

Personalizing Physical Rehabilitation for Geriatric Patients Using Cardiorespiratory Exercise Testing: A Review

 Mariia S. Arefeva*,  Elena A. Kolesnikova,  Nadezda K. Runikhina,  Ksenia A. Eruslanova,  Olga N. Tkacheva

Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Increasing proportion of elderly individuals foregrounds the healthy aging paradigm, a key condition of which is requiring functional capacity preservation via multicomponent physical training. Heterogeneity, multimorbidity, polypragmasy, geriatric syndromes hinder a unified approach for personalizing aerobic exercise intensity.

AIM. To systematize existing and potential approaches to personalizing physical rehabilitation programs for geriatric patients in order to formulate practice-oriented principles for determining individual aerobic training intensity.

MAIN CONTENT OF THE REVIEW. A literature search was conducted in the PubMed, Web of Science, and Cochrane Library databases. Meta-analyses, systematic reviews, and original articles focusing on the personalization of physical rehabilitation for geriatric patients based on cardiopulmonary exercise testing data were selected. The search covered the period from 2015 to 2025. Various personalization methods were reviewed. Comprehensive Geriatric Assessment, while the foundation for stratifying geriatric patients, provides no objective physiological parameters. Traditional methods (calculation formulas, 6-minute walk test, Borg scale) show high subjectivity, variability, overlooking metabolic patterns. Cardiopulmonary Exercise Testing (CPET) the reference for exercise personalization. This review identifies key limitations of applying cardiac rehabilitation and sports medicine methods to geriatric patients, stemming from reduced functional reserve, multimorbidity, and geriatric-specific conditions. Methods using percentages of maximal heart rate and peak oxygen uptake are constrained by polypragmasy, inability to reach a true physiological maximum during testing in the geriatric population and other factors. As a physiologically sound alternative, the use of ventilatory thresholds (VT) is proposed. This approach is positioned as a physiologically grounded tool for determining personalized and clinically safe physical activity regimens.

CONCLUSION. Personalization of aerobic training in geriatrics population should be implemented as a process encompassing a clinical-geriatric stratification stage followed by physiological calibration of intensity based on CPET results. The use of VT represents the most accurate and safe method to set individual training zones in geriatrics, enabling risk minimization while enhancing rehabilitation efficacy. The lack of specialized studies in the population of patients with frailty syndrome underscores the necessity for further research focused on developing physical rehabilitation programs for geriatric patients.

KEYWORDS: physical activity, cardiorespiratory endurance, 6-minute walk test, exercise tolerance/intolerance, frailty, comprehensive geriatric assessment, geriatric rehabilitation, cardiopulmonary exercise testing, ventilatory threshold, aerobic training

For citation: Arefeva M.S., Kolesnikova E.A., Runikhina N.K., Eruslanova K.A., Tkacheva O.N. Personalizing Physical Rehabilitation for Geriatric Patients Using Cardiorespiratory Exercise Testing: A Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(2):77–90. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-77-90> (In Russ.).

* **For correspondence:** Mariia S. Arefeva, E-mail: arefieva_ms@rgnkc.ru

Received: 16.02.2026

Accepted: 05.03.2026

Published: 23.04.2026

ВВЕДЕНИЕ

Рост доли лиц пожилого и старческого возраста выдвигает на первый план парадигму здорового старения [1]. В этом контексте фундаментальное значение приобретает концепция Всемирной организации здравоохранения, в рамках которой здоровое старение трактуется как процесс развития и поддержания функциональной возможности, обеспечивающей благополучие в пожилом возрасте [2]. Согласно этой парадигме, сохранение функциональной способности позволяет отнести пациентов с полиморбидностью к категории «здоровое старение» при условии сохранения функциональной способности, несмотря на наличие множественных хронических заболеваний [3].

Функциональная способность определяется внутренними резервами организма (intrinsic capacity), формируемыми под влиянием генетического фона, хронических заболеваний, образа жизни, возрастных изменений и гериатрических синдромов, окружающей

среды. Снижение внутренних резервов закономерно приводит к снижению функционального резерва, риск развития ограничений жизнедеятельности становится крайне высоким, а потенциал восстановления низким. В этом континууме выделяется клиническое состояние, характеризующееся повышенной уязвимостью к действию незначительных стрессоров и высоким риском неблагоприятных исходов при сохранении потенциала для восстановления, — старческая астения (СА).

С практической точки зрения СА следует рассматривать как мультисистемный синдром, при котором дозирование физической нагрузки требует учета не только кардиореспираторных ограничений, но и множества сопутствующих факторов, включающих когнитивные нарушения, сенсорные дефициты, полипрагмазию, нутритивный статус и ортопедические ограничения [4]. Не менее важной характеристикой данной популяции является полиморбидность, обуславливающая гетерогенность клинических проявлений и не-

обходимость персонализированного подхода к ведению пациентов.

В последние десятилетия СА привлекает повышенное внимание как потенциальное «окно возможностей» для предотвращения или отсрочки наступления ограничений самостоятельного функционирования. Профилактика и отсрочка снижения функционального статуса и перехода к зависимости от посторонней помощи — главные задачи гериатрической реабилитации [5].

Многочисленные исследования подтвердили, что краеугольным камнем в управлении СА являются физические тренировки. Для пациентов с СА, требующих комплексных адаптаций, в качестве наиболее эффективной стратегии были предложены многокомпонентные программы упражнений [6], включающие аэробные и анаэробные нагрузки, упражнения на баланс. Данный подход находит отражение и в российских клинических рекомендациях, предписывающих назначение комплексов лечебной физкультуры с учетом индивидуальных функциональных возможностей с целью улучшения или поддержания физического, функционального и когнитивного статусов [7].

Несмотря на консенсус относительно пользы физической активности и существование различных подходов к дозированию физической активности в зависимости от функционального статуса пациента [8], ввиду высокой гетерогенности популяции пожилых людей отсутствует единый стандарт персонализации нагрузок. Рекомендации Всемирной организации здравоохранения определяют объем аэробной активности (150–300 минут в неделю умеренной или 75–150 минут высокой интенсивности) [9]. Однако вопрос персонализации индивидуальных зон интенсивности аэробных нагрузок для ослабленных пациентов с СА остается открытым.

ЦЕЛЬ

Систематизировать существующие и потенциальные подходы к персонализации программ физической реабилитации для пациентов гериатрического профиля для формирования практико-ориентированных принципов определения индивидуальной интенсивности аэробных тренировок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА

Для отбора публикаций были изучены базы данных PubMed, Web of Science (Web of Science Core Collection и Medline), Cochrane Library. Включались данные мета-анализов, систематических обзоров и полнотекстовых оригинальных статей, посвященных персонализации физической реабилитации гериатрических пациентов на основе результатов кардиореспираторного нагрузочного тестирования (КРНТ). Поиск проводился по комбинации терминов, которые включали физическую реабилитацию, гериатрию, КРНТ, пиковое потребление кислорода, вентиляторный порог (ВП), эффективность реабилитации, пожилой возраст, старение, функциональный резерв. Глубина поиска публикаций составила 10 лет, с 2015 по 2025 г., также в обзор был включен ряд более ранних основополагающих работ по методологии КРНТ.

Рассмотрены различные методы персонализации физических нагрузок. Комплексная гериатрическая

оценка, оставаясь фундаментом стратификации гериатрических пациентов, не позволяет получить объективные физиологические параметры. Традиционные методы (расчетные формулы, 6МТХ, шкала Борга) характеризуются высокой субъективностью, вариабельностью и не учитывают индивидуальные метаболические паттерны пациента. В качестве эталонного инструмента персонализации нагрузок рассматривается КРНТ. Проанализированы ограничения, присущие современным подходам из кардиореабилитации и спортивной медицины в применении к пациентам пожилого возраста, обусловленные сниженным функциональным резервом, полиморбидностью и особенностями гериатрического статуса. Отдельно обсуждаются ограничения подходов, основанных на применении процентных соотношений от достигнутой максимальной частоты сердечных сокращений и пикового поглощения кислорода у пожилых. На их клиническую применимость оказывают влияние полипрагмазия, невозможность достижения истинного физиологического максимума и другие факторы. В качестве физиологически обоснованной альтернативы предложено использование ВП. Данный подход позиционируется как физиологически обоснованный инструмент для определения персональных и клинически безопасных режимов физической активности. Сформулированы перспективные направления для дальнейших исследований, направленных на разработку программ физической реабилитации для пациентов гериатрического профиля.

Персонализация программ физической реабилитации у пациентов гериатрического профиля

Персонализация программ физической реабилитации для пациентов гериатрического профиля предполагает стратификацию риска и возможностей пациента по результатам клинической и комплексной гериатрической оценки (КГО) с последующим подбором персонализированной мощности и длительности физических нагрузок с учетом оценки аэробной способности пациента (способности кардиореспираторной системы доставлять кислород к работающим мышцам, тесно ассоциированной с показателями смертности, риском сердечно-сосудистых заболеваний, ограничениями мобильности и инвалидизацией) [6].

В клинической практике для оценки физического функционирования применяются различные методики: функциональные шкалы и тесты (скорость ходьбы, краткая батарея тестов физического функционирования (КБТФФ), тест «Встань и иди», 6МТХ, расчетные параметры (прогнозируемые максимальная частота сердечных сокращений (ЧССмакс) и пиковое потребление кислорода (VO_2 peak), а также инструментальные методы, позволяющие объективизировать кардиореспираторный ответ на нагрузку, такие как электрокардиографические (ЭКГ) нагрузочные пробы и КРНТ.

Каждый из этих методов предназначен для решения конкретных диагностических задач и обладает присущими ему ограничениями, что требует особого внимания при обследовании пациентов с полиморбидностью и синдромом СА (табл. 1).

Таблица 1. Краткое резюме особенностей основных методов персонализации программ физической реабилитации у пациентов герiatricкого профиля
Table 1. Summary of key features of the main methods for personalizing physical rehabilitation programs in geriatric patients

Метод / Method	Ключевые преимущества / Key advantages	Основные ограничения / Key limitations	Роль в персонализации реабилитации / Role in personalizing rehabilitation
Комплексная герiatricкая оценка / Comprehensive Geriatric Assessment	<p>Мультидоменная оценка (физический, когнитивный, психоэмоциональный, функциональный и социальный статусы) / Multidomain assessment (physical, cognitive, psycho-emotional, functional and social status).</p> <p>Низкая технологическая и инструментальная стоимость (не требует сложного оборудования) / Low technological and tool cost (does not require complex equipment).</p> <p>Использование стандартизированных шкал с высокой чувствительностью к динамике и воспроизводимостью результатов / Use of standardized scales with high sensitivity to dynamics and reproducibility of results</p>	<p>Трудоёмкость и длительность (проводится в течение 60–90 минут, требует специально обученного персонала: врач-герiatric и медицинская сестра) / Labor intensity and duration (carried out for 60–90 minutes, requires specially trained personnel a geriatrician and a nurse).</p> <p>Элементы субъективности (зависимость от самоотчета пациента и оценки врача) / Elements of subjectivity (dependence on the patient's self-report and the doctor's assessment).</p> <p>Не предоставляет объективного физиологического критерия для точного дозирования интенсивности аэробных нагрузок / Does not provide an objective physiological criterion for accurate dosing of aerobic exercise intensity</p>	<p>Базовый уровень: стратификация пациентов, определение целей программы реабилитации и условий безопасности, создание клинического контекста для определения дальнейших методов тестирования / Baseline: stratification of patients, definition of rehabilitation program goals and safety conditions, creation of a clinical context to determine further testing methods</p>
6-минутный тест ходьбы / 6-Minute Walk Test	<p>Простота выполнения и низкая ресурсоёмкость (не требует сложного оборудования и больших временных затрат) / Ease of execution and low resource intensity (does not require complex equipment and large time costs).</p> <p>Отражает переносимость повседневных нагрузок / Reflects the tolerance of everyday loads</p>	<p>Субъективность (влияние эффекта обучения и мотивации пациента) / Subjectivity (the influence of the "learning effect" and the patient's motivation).</p> <p>Недостижение истинного пика функциональных возможностей (чаще отражает субмаксимальную, а не пиковую работоспособность) / Failure to reach the true peak of functional capabilities (more often reflects submaximal, rather than peak performance).</p> <p>Косвенный метод оценки аэробной способности / Indirect method for assessing aerobic capacity</p>	<p>Скрининг и мониторинг: начальная оценка толерантности к физической активности и отслеживание динамики функционального статуса / Screening and monitoring: initial assessment of physical activity tolerance and tracking of functional status dynamics</p>

Метод / Method	Ключевые преимущества / Key advantages	Основные ограничения / Key limitations	Роль в персонализации реабилитации / Role in personalizing rehabilitation
Инкрементальный шаттл-тест / Incremental Shuttle Walk Test	Простота выполнения и низкая ресурсоемкость / Easy to perform and low resource consumption. Более воспроизводимая дозировка нагрузки по сравнению с 6-минутным тестом ходьбы / More reproducible dosage compared to a 6-minute walk test	Ограниченная применимость у герiatricческих пациентов (требует сохранного слуха и баланса, быстрой реакции) / Limited applicability in geriatric patients (requires intact hearing and balance, quick response). Недостижение истинного пика функциональных возможностей / Failure to reach true peak functionality. Косвенный метод оценки аэробной способности / Indirect method for assessing aerobic capacity	Скрининг и мониторинг: ограниченно применим в герiatricческой популяции для оценки переносимости субмаксимальной нагрузки и отслеживания динамики / Screening and monitoring: of limited use in the geriatric population to assess submaximal load tolerance and track dynamics
Тест подъема по лестнице/степ-тест / Stair Climbing Test/Step Test	Простота выполнения и низкая ресурсоемкость / Easy to perform and low resource consumption. Отражает переносимость повседневных нагрузок / Reflects the tolerance of everyday loads	Ограниченная применимость у герiatricческих пациентов (ортопедическая патология, болевой синдром, риск падений) / Limited applicability in geriatric patients (orthopedic pathology, pain syndrome, risk of falls). Низкая сопоставимость результатов в динамике из-за различий в технике выполнения / Low comparability of results in dynamics due to differences in execution techniques. Недостижение истинного пика функциональных возможностей / Failure to reach true peak functionality. Косвенный метод оценки аэробной способности (не выявляет лимитирующий фактор и не дает точного критерия для дозирования нагрузки) / Indirect method for assessing aerobic capacity (does not identify a limiting factor and does not provide an accurate criterion for dosing load)	Скрининг и мониторинг: ограниченно применим в герiatricческой популяции для оценки переносимости субмаксимальной нагрузки и отслеживания динамики / Screening and monitoring: of limited use in the geriatric population to assess submaximal load tolerance and track dynamics

Метод / Method	Ключевые преимущества / Key advantages	Основные ограничения / Key limitations	Роль в персонализации реабилитации / Role in personalizing rehabilitation
<p>Стандартная электрокардиография с физической нагрузкой (тредмил, велоэргометрия) / Standard Electrocardiography Exercise Testing (Treadmill, Cycle Ergometer)</p>	<p>Доступность и широкое распространение / Availability and wide distribution. Оценка кардиальных рисков (ишемия, аритмия), симптом-лимитирующих факторов и гемодинамического ответа / Assessment of cardiac risks (ischemia, arrhythmia), symptom-limiting factors and hemodynamic response</p>	<p>Косвенный метод оценки аэробной способности (не оценивают параметры газообмена и вентиляционные пороги) / Indirect method for assessing aerobic capacity (gas exchange parameters and ventilation thresholds are not assessed). Из-за низких функциональных резервов у ослабленных пациентов тест часто прекращается досрочно, до достижения диагностически значимой интенсивности / Due to low functional reserves in debilitated patients, the test is often stopped prematurely, before reaching a diagnostically significant intensity</p>	<p>Оценка безопасности: ключевой метод для исключения кардиальных противопоказаний к физической реабилитации / Safety Assessment: a key method for excluding cardiac contraindications to physical rehabilitation</p>
<p>Кардиореспираторное нагрузочное тестирование / Cardiopulmonary Exercise Testing</p>	<p>Объективная количественная оценка толерантности к нагрузке с прямым измерением потребления кислорода и определением вентиляционных порогов / Objective quantification of load tolerance with direct measurement of oxygen consumption and determination of ventilation thresholds. Выявление ведущего фенотипа ограничения нагрузки (кардиальный, респираторный, мышечный) / Identification of the leading phenotype of load limitation (cardiac, respiratory, muscular)</p>	<p>Высокая ресурсоемкость (требует специального оборудования, времени и квалифицированного персонала) / High resource intensity (requires special equipment, time and qualified personnel). Пациенты гериатрического профиля редко достигают критериев истинного максимального потребления кислорода (VO₂max, плато) / Geriatric patients rarely meet the criteria for true maximum oxygen consumption (VO₂max, plateau)</p>	<p>Уровень точной физиологической калибровки: оценка толерантности и персонализация нагрузок с учетом индивидуальной физиологии пациента и объективных параметров аэробной способности / Level of Accurate Physiological Calibration: Assessment of tolerance and personalization of loads, taking into account the individual physiology of the patient and objective parameters of aerobic capacity</p>

Комплексная гериатрическая оценка

«Золотым стандартом» оценки пациентов гериатрического профиля является КГО [10]. При разработке программ физической реабилитации особую релеванность приобретает оценка функционального домена, а также когнитивного и психоэмоционального статусов, оказывающих опосредованное влияние на эффективность и приверженность рекомендациям по физической активности.

Для стратификации пациентов и назначения адекватного уровня нагрузки наряду с объективными функциональными показателями рекомендуется учитывать параметры, отражающие исходный уровень физической активности (ее кратность и продолжительность).

Среди инструментов оценки предпочтение отдается стандартизированным шкалам, характеризующимся высокой чувствительностью к динамике и воспроизводимостью результатов. Так, показатель скорости ходьбы, являясь интегральным маркером физической независимости, широко применяется в клинической практике. Еще одним валидированным инструментом для оценки функционального статуса у лиц пожилого возраста служит КБТФФ, результаты которой коррелируют с риском утраты способности к самообслуживанию (по шкале Бартел) [11]. Это позволяет рассматривать данную методику как эффективный инструмент стратификации пациентов для включения в программы физической реабилитации [12].

Результат по КБТФФ в совокупности с антропометрическими данными (рост, вес, индекс массы тела) и ключевыми параметрами КГО (шкала Бартел, время выполнения тестов «Встань и иди» и ходьбы на 4 метра, результат по опроснику «Возраст не помеха») формирует многомерный профиль пациента, являющийся основой для безопасного и персонализированного планирования реабилитационных вмешательств. В исследовании LIFE также было показано, что назначение физических упражнений на основе результатов КБТФФ способствовало снижению риска неблагоприятных событий [13].

Однако, несмотря на ключевую роль КГО в стратификации рисков и определении целей реабилитации, данный подход не предоставляет объективного физиологического критерия для точного дозирования интенсивности аэробных нагрузок. Это формирует потребность в методе, позволяющем:

- выявить ведущий лимитирующий фактор переносимости нагрузок (кардиальный, вентиляционный, периферический/мышечный или смешанный);
- определить индивидуальные безопасные уровни интенсивности нагрузок;
- объективно мониторировать динамику тренированности в процессе реабилитации.

Шестиминутный тест ходьбы

Косвенным методом оценки аэробной способности может служить тест 6МТХ [14]. Благодаря простоте исполнения и низкой ресурсоемкости (финансовой и временной) тест получил широкое распространение для оценки физического статуса, прогнозирования рисков, а также для разработки и последующей оценки эффективности рекомендаций по физической активности.

Несмотря на кажущуюся объективность, метод имеет существенные ограничения. Ключевым из них является влияние на результат субъективного восприятия нагрузки пациентом, что может препятствовать достижению истинно максимального уровня переносимой физической нагрузки. С указанным феноменом, вероятно, связана и значительная вариабельность получаемых результатов в динамике, так называемый эффект обучения, проявляющийся в увеличении преодолеваемой дистанции при повторных тестированиях вследствие первоначальной недооценки функциональных возможностей [15].

Таким образом, 6МТХ чаще отражает субмаксимальную, а не пиковую работоспособность и не предназначен для выявления конкретных нозологических причин, ограничивающих переносимость нагрузки, что подтверждает его статус косвенного метода оценки аэробной способности. В клинической практике применение 6МТХ целесообразно для скрининга и мониторинга функционального статуса в динамике, но его возможностей недостаточно для точной физиологической «калибровки» интенсивности тренировок у пациентов с СА.

Инкрементальный шаттл-тест

Инкрементальный шаттл-тест представляет собой тест, в ходе которого пациент выполняет ходьбу «челноком» между двумя маркерами, синхронизируя шаги со звуковыми сигналами, темп которых ступенчато возрастает до момента прекращения нагрузки из-за предельного утомления или одышки [16]. Ключевое отличие данного теста от 6МТХ заключается в более воспроизводимой дозированной нагрузке. Однако применение инкрементального шаттл-теста в гериатрической практике может быть сопряжено со значительными ограничениями, поскольку его корректное выполнение требует от пациента хорошего слухового восприятия аудиосигналов, а также с наличием сохранного баланса и способности к быстрым разворотам.

Тест подъема по лестнице/стен-тест

Несмотря на то что степ-тесты могут служить индикатором переносимости повседневных нагрузок, их использование в гериатрической практике часто сопряжено с ограничениями из-за высокой распространенности ортопедической патологии, хронического болевого синдрома и высокого риска падений [17]. Кроме того, выраженные различия в технике выполнения значимо снижают сопоставимость результатов динамического тестирования.

Инструментальные тесты оценки толерантности к физической нагрузке (велоэргометр, тредмил-тест)

Стандартные нагрузочные пробы с ЭКГ-мониторингом (тредмил, велоэргометрия) позволяют оценить кардиальные риски (ишемические изменения, аритмии, симптом-лимитирующие факторы и гемодинамический ответ).

Преимуществом данных тестов является их доступность, недостатком — отсутствие возможности прямой оценки показателей кислородного транспорта и ВП, что

существенно ограничивает точность персонализации аэробных нагрузок [18]. Кроме того, у пациентов с синдромом СА часто не удается достичь диагностически значимого уровня нагрузки из-за быстрого наступления лимитирующих симптомов.

Кардиореспираторное нагрузочное тестирование

Кардиореспираторное нагрузочное тестирование обеспечивает наиболее точную количественную оценку толерантности к нагрузке и ее механизмов за счет одно-временного анализа газообмена (потребления кислорода VO_2 , продукции углекислого газа VCO_2), вентиляции, ЭКГ и показателей гемодинамики. КРНТ считается «золотым стандартом» объективной оценки функциональных резервов, используемым и в спорте высших достижений, и при оценке рисков и прогноза у пациентов с патологией различных систем (кардиоваскулярной, респираторной и т. д.) [19].

Дополнительно КРНТ позволяет выявлять фенотип ограничения нагрузки (например, вентиляционное ограничение, сердечно-сосудистые нарушения, мышечная патология или психогенные расстройства), что помогает выбрать приоритеты реабилитации (аэробная выносливость, силовой компонент, дыхательные тренировки, коррекция анемии/нутритивного дефицита и др.), обладает значительным диагностическим потенциалом у пожилых пациентов со сниженной толерантностью к физическим нагрузкам [20].

Методология оценки выносливости и дозирования нагрузок

Параметры и методы расчетов, используемые для оценки физической выносливости и персонализации нагрузки по результатам 6-минутного теста ходьбы, велоэргометрии/тредмил-теста

Для объективизации уровня физической выносливости и последующего дозирования нагрузок применяется комплекс клинико-функциональных параметров.

По результатам вышеуказанных тестов оцениваются [21]:

- общая пройденная дистанция 6МТХ (метры);
- кардиореспираторный ответ: динамика ЧСС и артериального давления, а также уровень сатурации кислорода (SpO_2) при наличии пульсоксиметра;
- субъективное восприятие нагрузки: интенсивность одышки и усталости по стандартизированной шкале (шкала Борга).

На основании полученной дистанции 6МТХ по формуле дистанция 6МТХ (м) / 360 (с) рассчитывается ключевой функциональный параметр «средняя скорость ходьбы» (м/с), являющийся одним из маркеров для формулировки конкретных рекомендаций по интенсивности и объему аэробных тренировок. В клинической практике, как правило, применяется умеренный диапазон интенсивности, конкретные значения которого варьируют в зависимости от задач и текущего состояния пациента. Важным лимитирующим фактором является саморегулируемый характер скорости

во время теста, на которую влияют уровень мотивации, страх падений, болевой синдром и поведенческая склонность к избыточной осторожности. Вследствие этого данный параметр не может рассматриваться как стабильный физиологический якорь для точного дозирования нагрузок.

Альтернативным методом является дозирование физических нагрузок по шкале субъективного восприятия нагрузки (шкала Борга) при отсутствии клинически значимой десатурации или негативной динамики витальных показателей (артериальное давление, ЧСС, характер и частота дыхания) [22]. Главное преимущество данной клинико-симптоматической стратегии — применимость у пациентов с нарушениями ритма или на фоне терапии, влияющей на хронотропную функцию (например, β -адреноблокаторами). Ключевой недостаток — высокая субъективность и, как следствие, низкая точность персонализации физической нагрузки.

Еще одним часто используемым методом является подбор интенсивности нагрузок на основании полученной в ходе теста ЧСС; тренировочная зона устанавливается в процентном отношении либо от достигнутой максимальной ЧСС (ЧСС_{макс}), либо от сердечного резерва (резерв ЧСС). На практике значение ЧСС_{макс} часто не измеряется напрямую, а оценивается с помощью стандартных регрессионных уравнений, учитывающих пол, возраст и антропометрические данные. Существенным ограничением данного подхода является значительная вариабельность прогнозных формул, а также их принципиальная неспособность учитывать индивидуальные метаболические реакции и специфические функциональные ограничения конкретного пациента, что в совокупности снижает точность и персонализированность рекомендаций [23].

Таким образом, каждый из подходов к определению интенсивности аэробной нагрузки имеет как области целесообразного применения, так и существенные методологические ограничения, требующие учета при работе с гериатрической популяцией.

Параметры и методы расчетов, используемые для оценки физической выносливости и персонализации нагрузки по результатам кардиореспираторного нагрузочного тестирования

Существенным достоинством КРНТ является возможность перехода от назначения нагрузок в виде «процентов от условного максимума» на пороговую физиологию (точное определение индивидуальных пороговых зон анаэробного порога, точки респираторной компенсации).

Длительное время рекомендации по интенсивности физических нагрузок по результатам КРНТ формировались через расчет диапазонов в процентах от показателей максимального усилия [24]. К числу таких показателей относятся:

- метаболический эквивалент (MET) — единица, количественно отражающая энергетическую стоимость нагрузки (за 1 MET принимается уровень метаболизма в состоянии покоя, соответствующий потреблению $\sim 3,5$ мл O_2 /кг/мин);

- процент от максимального/пикового потребления кислорода (% $VO_{2max/peak}$) — ключевой показатель аэробной мощности (главное методологическое отличие VO_{2max} от VO_{2peak} заключается в характере реакции организма на прогрессирующую нагрузку: критерием VO_{2max} считается достижение плато, дальнейшее увеличение мощности работы не приводит к приросту потребления кислорода за счет исчерпания аэробных резервов, критерий VO_{2peak} — абсолютное максимальное значение потребления O_2 , достигнутое в момент прекращения теста по причине субъективного утомления или объективных критериев независимо от наличия или отсутствия плато) (рис. 1);
- процент от максимальной ЧСС (% ЧССмакс) — в данном подходе используется величина ЧССмакс, непосредственно измеренная на пике нагрузки в ходе КРНТ, что отражает реальный, а не расчетный максимум пациента;
- процент от резерва ЧСС (% резерва ЧСС) — доля от индивидуального сердечно-сосудистого резерва (разницы между ЧССмакс, достигнутой в тесте, и ЧСС в состоянии покоя).

Однако, несмотря на широкую распространенность этих методов в кардиореабилитации и спортивной медицине, их прямое применение в гериатрической практике сталкивается с серьезными методологическими сложностями. При этом в гериатрической практике отсутствуют единые, научно обоснованные протоколы персонализации интенсивности физических нагрузок на основе результатов КРНТ. Существующие подходы, заимствованные из других медицинских областей, демонстрируют ограниченную применимость в гериатрической популяции. В частности, методики, разработанные для пациентов с конкретной патологией (например, хронической сердечной недостаточностью или хронической обструктивной болезнью легких), не учитывают комплексного влияния полиморбидности и гериатрических синдромов, что существенно ограничивает возможность их экстраполяции на гериатрических пациентов.

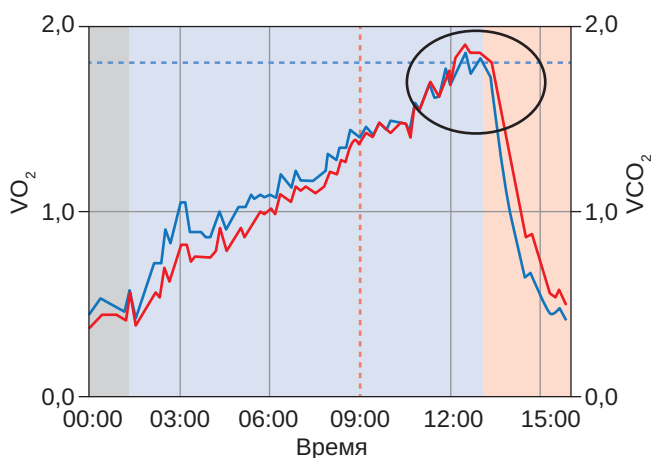


Рис. 1. График зависимости потребления кислорода (VO_2) и выделения углекислого газа (VCO_2)
Fig. 1. Graph of the relationship between oxygen consumption (VO_2) and carbon dioxide production (VCO_2)

Именно поэтому в современной физической реабилитации пациентов гериатрического профиля на первый план выходит не просто использование зон, а их физиологически обоснованное определение по данным КРНТ, основанное на прямом выявлении индивидуальных порогов, а не на расчетных процентах от максимума.

Современные тенденции персональных рекомендаций по интенсивности физических нагрузок

Пульсовые зоны интенсивности по результатам кардиореспираторного нагрузочного тестирования: пятизонная модель

Наиболее широкое распространение получила 5-зонная модель пульсовых зон, где каждая зона определяется специфическим физиологическим ответом и соответствует определенному процентному диапазону от установленного максимума (рис. 2) [25].

Однако данные подходы, исходно валидизированные в контексте спортивной медицины, демонстрируют ограниченную применимость в гериатрической популяции. Основное методологическое ограничение заключается в том, что пациенты пожилого и старческого возраста в силу полиморбидности, особенностей психоэмоционального статуса и сниженной толерантности к физической нагрузке редко достигают объективных критериев истинного плато потребления кислорода при проведении КРНТ.

Верхняя			E
ЧСС (уд/мин)	>	119	
v (км/ч)	>	3,1	
РЭ (ккал/ч)	>	360	i
Производительность			D
ЧСС (уд/мин)	113	–	119
v (км/ч)	3,0	–	3,1
РЭ (ккал/ч)	358	–	360
Интенсивная выносливость			C
ЧСС (уд/мин)	108	–	113
v (км/ч)	3,0	–	3,0
РЭ (ккал/ч)	292	–	358
Экстенсивная выносливость			B
ЧСС (уд/мин)	93	–	108
v (км/ч)	2,6	–	3,0
РЭ (ккал/ч)	250	–	292
Компенсация			A
ЧСС (уд/мин)	<	93	
v (км/ч)	<	2,6	
РЭ (ккал/ч)	<	250	i

Рис. 2. Пример рекомендаций по 5-зонной модели определения интенсивности упражнений

Fig. 2. Example of recommendations based on the 5-zone model for determining exercise intensity

Примечание: РЭ — расход энергии, ЧСС — частота сердечных сокращений, v — velocity (скорость), А — зона компенсации, В — зона экстенсивной выносливости, С — зона интенсивной выносливости, D — зона производительности, E — верхняя зона.

Note: EE — energy expenditure, HR — heart rate, v — velocity, A — compensation zone, B — extensive endurance zone, C — intensive endurance zone, D — performance zone, E — supreme zone.

В этих условиях расчет целевых зон интенсивности от условного максимума сопровождается значительной межиндивидуальной вариабельностью острых физиологических реакций, что снижает точность и безопасность назначений. Кроме того, принципиальным ограничением является низкая клиническая релевантность данного подхода. Интенсивность нагрузки, определенная исключительно на основе процентных соотношений от расчетного пика, в большинстве случаев не имеет прямой корреляции с функциональными возможностями пациента в повседневной жизни, что существенно ограничивает практическую ценность метода при планировании реабилитационных мероприятий [26].

Пульсовые зоны интенсивности по результатам кардиореспираторного нагрузочного тестирования: трехзонная модель

Существует также трехфазная модель для определения интенсивности упражнений, основанная на физиологических фазах метаболизма лактата при росте нагрузки (рис. 3) [27]. Фазы и пороги в данном случае могут оцениваться путем определения вентиляторных или лактатных порогов.

Методология, основанная на лактатных порогах, сопряжена с рядом ограничений, главным из которых является инвазивность процедуры, требующей капиллярной пункции для забора крови, что создает риски инфицирования и геморрагических осложнений у пациентов, получающих антикоагулянтную терапию [28]. Оценка ВП неинвазивна.

Первый вентиляторный порог (ВП1) переход от низкой (фаза I) к умеренной (фаза II) интенсивности упражнений, что соответствует переходу от преимущественно аэробного метаболизма к точке, когда уровень лактата в крови начинает повышаться, активируя метаболическую буферную систему, которая стимулирует венти-

ляцию вследствие лактат-зависимой продукции CO₂. С точки зрения физиологии во время фазы I наблюдается линейное увеличение потребления кислорода, выработки углекислого газа и минутной вентиляции, производство энергии почти исключительно аэробное, с эффективной вентиляцией и высокой экстракцией кислорода тканями, что приводит к низкому кислородному эквиваленту (EqO₂) и конечному парциальному давлению кислорода (PetO₂), без значительного увеличения лактата в крови.

При увеличении интенсивности нагрузок выше ВП1 аэробное производство энергии дополняется анаэробным (фаза II). Это приводит к накоплению лактата и ионов водорода (H⁺), которые буферизуются бикарбонатом (HCO₃⁻) с повышенной продукцией CO₂, стимулирующей центральные и периферические хеморецепторы. С целью адекватной элиминации избыточного CO₂ возникает быстрый рост минутной вентиляции, что приводит к снижению углекислотного эквивалента (EqCO₂) и непрерывному росту или плато парциального давления углекислого газа в конце выдоха (PetCO₂) [29].

Переход от умеренной к высокой интенсивности (фаза III) — это второй вентиляторный порог (ВП2), также называемый точкой респираторной компенсации. При достижении ВП2 скорость накопления лактата в крови превышает скорость его метаболизма, что приводит к ацидозу и несбалансированному увеличению вентиляции относительно элиминации CO₂ из-за сопутствующего увеличения H⁺ [30, 31].

Подбор интенсивности физических нагрузок на основании ВП имеет значительную межиндивидуальную вариабельность физиологических реакций у пациентов с низкой толерантностью к физическим нагрузкам [32–34].

По результатам исследования пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями ЧСС в точках ВП1 и ВП2 у данной популяции характеризуется широким размахом диапазона ЧСС (87–105 уд/мин и 107–141 уд/мин соответственно) [35, 36]. В данном случае подбор интенсивности нагрузок на основе процентных диапазонов от максимальных усилий продемонстрирует принципиальную несовместимость: нагрузка, соответствующая ВП1, может интерпретироваться в диапазоне от «низкой» до «очень тяжелой» интенсивности (согласно рекомендациям Европейского общества кардиологов) [37].

В другом исследовании было обнаружено, что у физически более подготовленных пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями (VO_{2peak} > 15 мл/кг/мин) наблюдалась большая согласованность зон интенсивности упражнений в рамках рекомендаций при ВП2 по сравнению с менее физически подготовленными пациентами (VO_{2peak} < 15 мл/кг/мин) [38]. Существенный разброс значений свидетельствует о высокой вероятности несоответствия интенсивности тренировок, основанной на максимальном усилии, индивидуальному метаболическому профилю полиморбидного ослабленного пациента, что ставит под сомнение эффективность и безопасность универсального нормативного подхода в клинической практике.

Согласно имеющимся данным, назначение физических тренировок на основе ВП является не только более

Высокая интенсивность			C
ЧСС (уд/мин)	>	81	
v (км/ч)	>	1,4	i
РЭ (ккал/ч)	>	244	
Средняя интенсивность			B
ЧСС (уд/мин)	73 –	81	
v (км/ч)	1,0 –	1,4	i
РЭ (ккал/ч)	189 –	244	
Низкая интенсивность			A
ЧСС (уд/мин)	<	73	
v (км/ч)	<	1,0	
РЭ (ккал/ч)	<	189	i

Рис. 3. Пример рекомендаций по 3-зонной модели определения интенсивности упражнений

Fig. 3. Example of recommendations based on the 3-zone model for determining exercise intensity

Примечание: РЭ — расход энергии, ЧСС — частота сердечных сокращений, v — velocity (скорость), А — зона низкой интенсивности, В — зона средней интенсивности, С — зона высокой интенсивности.

Note: EE — energy expenditure, HR — heart rate, v — velocity, A — low-intensity zone, B — moderate-intensity zone, C — high-intensity zone.

физиологичной и безопасной, но и более эффективной стратегией по сравнению с подходом, использующим долю пикового усилия (процент ЧСС пикового, процент резерва ЧСС, процент VO_2 peak). Метаанализ 42 рандомизированных исследований ($n = 1544$) продемонстрировал достоверно большее улучшение VO_2 peak при пороговом подходе: $+4,1$ мл/кг/мин (95% доверительный интервал (ДИ) 3,1–5,0) против $+1,8$ мл/кг/мин (95% ДИ 0,9–2,8) [39]. Это подтверждается данными отдельных рандомизированных клинических исследований, где после 12-недельных тренировок, интенсивность которых была основана на ВП, наблюдался больший прирост VO_2 peak по сравнению с тренировками на основе процента резерва ЧСС [40–43].

По данным о ВП также может оцениваться эффективность проводимой физической реабилитации. Например, хорошо известно, что ВП могут смещаться вправо (относительно ЧСС или VO_2) по мере улучшения толерантности к нагрузке и/или эффективности упражнений в результате тренировок. Следовательно, необходим регулярный пересмотр эффективности. Однако стоит учитывать, что большинство исследований о пороговых уровнях интенсивности относительно недавние (первая публикация датируется 2015 г.) и, возможно, еще не получили широкого распространения в научном или клиническом сообществе. В настоящее время независимо от того, какой метод превосходит, в целом «пороговый» подход предлагает несравненное преимущество контроля метаболического стимула с гораздо более высокой степенью точности, но ввиду отсутствия регламентированных алгоритмов выбор предпочтительного метода остается на усмотрение врача [44, 45].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ литературы позволяет сформулировать ряд ключевых выводов. Показано, что стратегия назначения аэробных тренировок на основе ВП обладает неоспоримыми преимуществами перед традиционным подходом, использующим процентные доли от пиковых показателей (процент ЧСС пикового, процент VO_2 peak). Пороговый метод не только обеспечивает более предсказуемые и физиологически однородные реакции организма во время нагрузки, но и приводит к статистически значимо более выраженному улучшению кардиореспираторной выносливости (VO_2 peak) и метаболических параметров. Важнейшим клиническим аспектом также является значительное сокращение доли пациентов, не отвечающих на физическую реабилитацию, при использовании пороговой модели, что повышает общую эффективность реабилитационных программ.

Особую актуальность пороговый подход приобретает в гериатрической практике. Для данной категории лиц персонализация физических нагрузок, основанная на объективных данных КРНТ с приоритетом определения ВП1 и ВП2, позволяет более точно дозировать интенсивность с учетом ограниченных функциональных резервов и комплексного характера патологий, минимизируя риски и повышая потенциальную пользу вмешательства, что в конечном счете

направлено на улучшение функционального статуса и качества жизни.

Ключевые положения, имеющие принципиальное значение для разработки персонализированных программ физической реабилитации пациентов гериатрического профиля с СА:

1. Назначение нагрузок должно осуществляться последовательно путем реализации алгоритма, включающего клинико-гериатрический этап (проведение КГО со всесторонней оценкой индивидуальных рисков, функциональных и психоэмоциональных барьеров, обеспечением условий безопасности и определением четких целей реабилитации) с последующей физиологической калибровкой аэробной интенсивности нагрузок (для максимальной точности с использованием результатов КРНТ).

2. При назначении программ реабилитации необходимо учитывать ограниченность традиционных методов на основе пиковых показателей (процент ЧСС пикового, процент резерва ЧСС и процент VO_2 peak). Пиковые показатели нередко лимитируются не истинным кардиореспираторным потенциалом, а влиянием симптомов сопутствующих заболеваний и лекарственной терапии, страхом и низкой мотивацией, что может привести к неточному и потенциально небезопасному подбору интенсивности нагрузок.

3. Приоритетным методом подбора интенсивности физической реабилитации является КРНТ с использованием пороговой методологии (определение ВП1 и ВП2 — наиболее физиологически обоснованный ориентир для дозирования аэробного компонента у ослабленных и полиморбидных пациентов, так как опирается на индивидуальные метаболические переходы и снижает зависимость назначения от «условного максимума»).

4. Клинически применимый алгоритм персонализации физических нагрузок на основе ВП: ниже ВП1 — зона для начала реабилитации и при низком функциональном резерве (приоритет — безопасность, переносимость и регулярность), между ВП1 и ВП2 — оптимальный диапазон для развития аэробной выносливости (конкретная точка выбирается индивидуально по целям и симптоматике), выше ВП2 — зона высокой интенсивности, применимая только при наличии показаний, достаточной переносимости и возможности мониторинга нагрузок.

Вместе с тем настоящий обзор выявил существенный пробел в современных научных знаниях. На текущий момент практически отсутствуют исследования, целенаправленно изучающие применение дозирования нагрузок на основе КРНТ у полиморбидных гериатрических пациентов с синдромом СА, что требует проведения дальнейших исследований, оценки эффективности и безопасности таких программ, а также разработки и валидации клинических алгоритмов для подбора интенсивности физических нагрузок в данной популяции.

Таким образом, в настоящее время окончательный выбор стратегии физической реабилитации в клинической практике остается за врачом и должен базироваться на индивидуальной оценке пациента, ресурсах учреждения и клинической целесообразности.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Арефьева Мария Сергеевна, гериатр, врач функциональной диагностики, младший научный сотрудник, лаборатория общей гериатрии, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).
E-mail: arefieva_ms@rgnkc.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5869-0233>

Колесникова Елена Александровна, кандидат медицинских наук, научный сотрудник, лаборатория сердечно-сосудистого старения, врач функциональной диагностики, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней № 1, Институт клинической медицины, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8675-7167>

Рунихина Надежда Константиновна, доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по гериатрической работе, Российский геронтологический научно-клинический центр, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5272-0454>

Ерусланова Ксения Алексеевна, кандидат медицинских наук, кардиолог, заведующий лабораторией сердечно-сосудистого старения, Российский геронтологический научно-клинический центр, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0048-268X>

Ткачева Ольга Николаевна, доктор медицинских наук, профессор, директор, Российский геронтологический научно-клинический центр, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет).
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4193-688X>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующими образом: Арефьева М.С. — обеспечение материалов для исследования, анализ данных, написание черновика рукописи; Колесникова Е.А. — курирование проекта, проверка и редактирование рукописи; Рунихина Н.К. — научное обоснование, методология, проверка и редактирование рукописи; Ерусланова К.А. — курирование проекта, проверка и редактирование рукописи, Ткачева О.Н. — научное обоснование, методология, проверка и редактирование рукописи.

Источники финансирования. Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

ADDITIONAL INFORMATION

Mariia S. Arefeva, Geriatrician, Functional Diagnostics Doctor, Junior Research Assistant, Geriatrics Laboratory, Pirogov Russian National Research Medical University.
E-mail: arefieva_ms@rgnkc.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5869-0233>

Elena A. Kolesnikova, PhD (Med.), Researcher, Laboratory of Cardiovascular Aging, Functional Diagnostics Doctor, Associate Professor at the Department of Propaedeutics of Internal Diseases No. 1, Institute of Clinical Medicine, Pirogov Russian National Research Medical University.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8675-7167>

Nadezda K. Runikhina, D.Sc. (Med.), Professor, Deputy Director of Geriatric Work, Russian Clinical and Research Center of Gerontology, Pirogov Russian National Research Medical University.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5272-0454>

Ksenia A. Eruslanova, PhD (Med.), Cardiologist, Head of Laboratory of Cardiovascular Aging, Russian Gerontological Scientific and Clinical Center, Pirogov Russian National Research Medical University.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0048-268X>

Olga N. Tkacheva, D.Sc. (Med.), Professor, Russian Clinical and Research Center of Gerontology, Pirogov Russian National Research Medical University.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4193-688X>

Author Contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Arefeva M.S. — resources, formal analysis, writing — original draft, Kolesnikova E.A. — supervision, writing — review & editing, Runikhina N.K. — conceptualization, methodology, project administration, writing — review & editing; Eruslanova K.A. — supervision, writing — review & editing; Tkacheva O.N. — conceptualization, methodology, project administration.

Funding. This study was not supported by any external funding sources.

Disclosure. The author declares no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Data Access Statement. The data that support the findings of this study are available on reasonable request from the corresponding author.



Список литературы / References

1. Dzau V.J., Inouye S.K., Rowe J.W., et al. Enabling healthful aging for all The National Academy of Medicine Grand Challenge in Healthy Longevity. *N Engl J Med.* 2019; 381(18): 1699–1701. <https://doi.org/10.1056/NEJMp1912298>
2. Beard J.R., Officer A.M., Cassels A.K. The World Report on Ageing and Health. *Gerontologist.* 2016; 56(suppl_2): S163–S166. <https://doi.org/10.1093/geront/gnw037>

3. Beard J.R., Officer A., de Carvalho I.A., et al. The World report on ageing and health: a policy framework for healthy ageing. *Lancet*. 2016; 387(10033): 2145–2154. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)00516-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00516-4)
4. Prorok J.C., Williamson P.R., Shea B., et al. An international Delphi consensus process to determine a common data element and core outcome set for frailty: FOCUS (The Frailty Outcomes Consensus Project). *BMC Geriatr*. 2022; 22(1): 284. <https://doi.org/10.1186/s12877-022-02993-w>
5. Hoogendijk E.O., Aflalo J., Ensrud K.E., et al. Frailty: implications for clinical practice and public health. *Lancet*. 2019; 394(10206): 1365–1375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)31786-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)31786-6)
6. Angulo J., El Assar M., Álvarez-Bustos A., Rodríguez-Mañás L. Physical activity and exercise: Strategies to manage frailty. *Redox Biol*. 2020; 35: 101513.
7. Ткачева О.Н., Котовская Ю.В., Рунихина Н.К. и др. Клинические рекомендации «Старческая астения». Российский журнал гериатрической медицины. 2025; 1(21): 6–48. <https://doi.org/10.37586/2686-8636-1-2025-6-48> [Tkacheva O.N., Kotovskaya Yu.V., Runikhina N.K., et al. Clinical guidelines “Frailty”. *Russian Journal of Geriatric Medicine*. 2025; 1(21): 6–48. <https://doi.org/10.37586/2686-8636-1-2025-6-48> (In Russ.).]
8. Marzetti E., Calvani R., Tosato M., et al. Physical activity and exercise as countermeasures to physical frailty and sarcopenia. *Aging Clin Exp Res*. 2017; 29(1): 35–42. <https://doi.org/10.1007/s40520-016-0705-4>
9. Bull F.C., Al-Ansari S.S., Biddle S., et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med*. 2020; 54(24): 1451–1462. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102955>
10. Шарашкина Н.В., Ткачева О.Н., Рунихина Н.К. и др. Комплексная гериатрическая оценка основной инструмент работы врача-гериатра. Российский журнал гериатрической медицины. 2022; 4: 210–227. <https://doi.org/10.37586/2686-8636-4-2022-210-227> [Sharashkina N.V., Tkacheva O.N., Runikhina N.K., et al. Comprehensive geriatric assessment is the main tool of a geriatrician. *Russian Journal of Geriatric Medicine*. 2022; 4: 210–227. <https://doi.org/10.37586/2686-8636-4-2022-210-227> (In Russ.).]
11. Western M.J., Malkowski O.S. Associations of the Short Physical Performance Battery (SPPB) with adverse health outcomes in older adults: a 14-year follow-up from the English Longitudinal Study of Ageing (ELSA). *Int J Environ Res Public Health*. 2022; 19(23):16319. <https://doi.org/10.3390/ijerph192316319>
12. Vasunilashorn S., Coppin A.K., Patel K.V., et al. Use of the Short Physical Performance Battery Score to predict loss of ability to walk 400 meters: analysis from the InCHIANTI study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2009; 64(2): 223–229. <https://doi.org/10.1093/gerona/gln022>
13. Rejeski W.J., Marsh A.P., Chmelo E., et al. The Lifestyle Interventions and Independence for Elders Pilot (LIFE-P): 2-year follow-up. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2009; 64(4): 462–467. <https://doi.org/10.1093/gerona/gln041>
14. Agarwala P., Salzman S.H. Six-minute walk test: clinical role, technique, coding, and reimbursement. *Chest*. 2020; 157(3): 603–611. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2019.10.014>
15. Wu G., Sanderson B., Bittner V. The 6-minute walk test: how important is the learning effect? *Am Heart J*. 2003; 146(1): 129–133. [https://doi.org/10.1016/S0002-8703\(03\)00119-4](https://doi.org/10.1016/S0002-8703(03)00119-4)
16. Parreira V.F., Janaudis-Ferreira T., Evans R.A., et al. Measurement properties of the incremental shuttle walk test: a systematic review. *Chest*. 2014; 145(6): 1357–1369. <https://doi.org/10.1378/chest.13-2071>
17. Alkan B., Ozalevli S. Stair-climbing test as a physical performance tool in chronic heart failure: Association with left ventricular ejection fraction and pulmonary functions. *North Clin Istanb*. 2025; 12(2): 196–203. <https://doi.org/10.14744/nci.2023.66743>
18. Ducharme J.B., Gibson A.L. Efficacy of estimating VO₂max with the Heart Rate Ratio Method in middle-aged and older adults. *Eur J Appl Physiol*. 2021; 121(12): 3431–3436. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04808-z>
19. Wolf C., Blackwell T.L., Johnson E., et al. Cardiopulmonary exercise testing in a prospective multicenter cohort of older adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2024; 56(9): 1574–1584. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003444>
20. Ткачева О.Н., Котовская Ю.В., Рунихина Н.К. и др. Актуальность использования кардиопульмонального нагрузочного тестирования у пациентов пожилого и старческого возраста. Российский журнал гериатрической медицины. 2023; 1: 44–53. <https://doi.org/10.37586/2686-8636-1-2023-44-53> [Tkacheva O.N., Kotovskaya Yu.V., Runikhina N.K., et al. Relevance of cardiopulmonary exercise testing in elderly and senile patients. *Russian Journal of Geriatric Medicine*. 2023; 1: 44–53. <https://doi.org/10.37586/2686-8636-1-2023-44-53> (In Russ.).]
21. Porcari J.P., Foster C., Cress M.L., et al. Prediction of exercise capacity and training prescription from the 6-minute walk test and rating of perceived exertion. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2021; 6(2): 52. <https://doi.org/10.3390/jfkm6020052>
22. Scherr J., Wolfarth B., Christle J.W., et al. Associations between Borg’s rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *Eur J Appl Physiol*. 2013; 113(1): 147–155. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2421-x>
23. Mann T., Lamberts R.P., Lambert M.I. Methods of prescribing relative exercise intensity: physiological and practical considerations. *Sports Med*. 2013; 43(7): 613–625. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0045-x>
24. Faggian S., Centanini A., Quinto G., et al. The many faces of exercise intensity: a call to agree on definitions and provide standardized prescriptions. *Eur J Prev Cardiol*. 2024; 31(12): e89–e91. <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwae034>
25. Hansen D., Junior G.C., Milani J.G.P.O., et al. Advancing aerobic exercise training intensity prescription in health and disease beyond standard recommendations: a call to action. *Sports Med*. 2025; 55(9): 2111–2135. <https://doi.org/10.1007/s40279-025-02272-9>
26. Hansen D., Bonnér K., Alders T., et al. Exercise training intensity determination in cardiovascular rehabilitation: Should the guidelines be reconsidered? *Eur J Prev Cardiol*. 2019; 26(18): 1921–1928. <https://doi.org/10.1177/2047487319859450>
27. Scharhag-Rosenberger F., Meyer T., Gässler N., et al. Exercise at given percentages of VO₂max: heterogeneous metabolic responses between individuals. *J Sci Med Sport*. 2010; 13(1): 74–79. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.12.626>
28. Poole D.C., Rossiter H.B., Brooks G.A., Gladden L.B. The anaerobic threshold: 50 + years of controversy. *J Physiol*. 2021; 599(3): 737–767. <https://doi.org/10.1113/JP279963>
29. Jamnick N.A., Pettitt R.W., Granata C., et al. An examination and critique of current methods to determine exercise intensity. *Sports Med*. 2020; 50(10): 1729–1756.
30. Binder R.K., Wonisch M., Corra U., et al. Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2008; 15(6): 726–734. <https://doi.org/10.1097/HJR.0b013e328304fed4>
31. Keir D.A., Iannetta D., Mattioni Maturana F., et al. Identification of non-invasive exercise thresholds: methods, strategies, and an online app. *Sports Med*. 2022; 52(2): 237–255. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01581-z>
32. Milani J.G.P.O., Milani M., Cipriano G.F.B., et al. Exercise intensity domains determined by heart rate at the ventilatory thresholds in patients with cardiovascular disease: new insights and comparisons to cardiovascular rehabilitation prescription recommendations. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2023; 9(3): e001601. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2023-001601>
33. Wang L.Y.T., Lim W.S., Tan R.S., et al. Frequency, intensity and duration of physical activity is associated with frailty in older adults with cardiac aging. *Sci Rep*. 2025; 15(1): 15679. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00657-4>

34. Inglis E.C., Iannetta D., Rasica L., et al. Heavy-, severe-, and extreme-, but not moderate-intensity exercise increase Vo₂max and thresholds after 6 wk of training. *Med Sci Sports Exerc.* 2024; 56(7): 1307–1316.
35. Kaufmann S., Gronwald T., Herold F., Hoos O. Heart Rate Variability-Derived Thresholds for Exercise Intensity Prescription in Endurance Sports: A Systematic Review of Interrelations and Agreement with Different Ventilatory and Blood Lactate Thresholds. *Sports Med Open.* 2023; 9(1): 59. <https://doi.org/10.1186/s40798-023-00607-2>
36. Iannetta D., Inglis E.C., Pogliaghi S., et al. A “step-ramp-step” protocol to identify the maximal metabolic steady state. *Med Sci Sports Exerc.* 2020; 52(9): 2011–2019.
37. Pelliccia A., Sharma S., Gati S., et al. 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. *Eur Heart J.* 2021; 42(1): 17–96. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa605>
38. Wolpern A.E., Burgos D.J., Janot J.M., Dalleck L.C. Is a threshold-based model a superior method to the relative percent concept for establishing individual exercise intensity? a randomized controlled trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2015; 7: 16. <https://doi.org/10.1186/s13102-015-0011-z>
39. Meyler S.J.R., Swinton P.A., Bottoms L., et al. Changes in cardiorespiratory fitness following exercise training prescribed relative to traditional intensity anchors and physiological thresholds: a systematic review with meta-analysis of individual participant data. *Sports Med.* 2025; 55(2): 301–323. <https://doi.org/10.1007/s40279-024-02125-x>
40. Weatherwax R., Harris N., Kilding A.E., Dalleck L. Time course changes in confirmed ‘true’ VO₂max after individualized and standardized training. *Sports Med Int Open.* 2019; 3(2): E32–E39. <https://doi.org/10.1055/a-0867-9415>
41. Faricier R., Keltz R.R., Hartley T., et al. A protocol to establish exercise intensity domains for aerobic exercise training in coronary artery disease. *Med Sci Sports Exerc.* 2025. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003684>
42. Faricier R., Keltz R.R., Hartley T., et al. Quantifying improvement in VO₂peak and exercise thresholds in cardiovascular disease using reliable change indices. *J Cardiopulm Rehabil Prev.* 2024; 44(2): 121–130.
43. Hanssen H., Boardman H., Deiseroth A., et al. Personalized exercise prescription in the prevention and treatment of arterial hypertension: a Consensus Document from the European Association of Preventive Cardiology (EAPC) and the ESC Council on Hypertension. *Eur J Prev Cardiol.* 2022; 29(1): 205–215. <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwaa141>
44. Chavez-Guevara I.A., Helge J.W., Amaro-Gahete F.J. Stop the madness! An urgent call to standardize the assessment of exercise physiology thresholds. *J Physiol.* 2024; 602(17): 4089–4092. <https://doi.org/10.1113/JP287084>
45. Hansen D., Beckers P., Neunhäuserer D., et al. Standardised exercise prescription for patients with chronic coronary syndrome and/or heart failure: a consensus statement from the EXPERT Working Group. *Sports Med.* 2023; 53(11): 2013–2037.

Локальная криотерапия после эндопротезирования коленного сустава. Какой способ выбрать? Обзор литературы

 Казанцев Д.И.^{1,*},  Очкуренко А.А.²,  Пелеганчук В.А.¹,  Батрак Ю.М.¹

¹ Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования Минздрава России, Барнаул, Россия

² Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова Минздрава России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. После тотального эндопротезирования коленного сустава применяются различные методики локальной криотерапии от традиционного использования пакетов со льдом до применения специализированных устройств с контролируемым температурным режимом. Несмотря на широкий спектр существующих способов холодового воздействия, эффективность локальной криотерапии остается противоречивой в связи с гетерогенностью протоколов локальной терапии.

ЦЕЛЬ. Поиск научных доказательств локальной криотерапии, их обобщение и определение оптимальных параметров локальной криотерапии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Поиск литературы проводился 01.02.2024 в базах данных Киберленинка, eLibrary.RU, PubMed, Cochrane. Согласно стратегии поиска, найдено 664 работы, включено в обзор 18. Период проведения исследования — февраль – июнь 2024 г.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА. Научно обоснованная локальная криотерапия коленного сустава после эндопротезирования требует поддержания температуры кожных покровов в диапазоне 10–15 °С в течение 30 минут, при этом внутрисуставная температура должна быть < 30 °С. Ключевыми условиями успеха являются раннее начало локальной криотерапии после оперативного вмешательства и индивидуализация протокола на основе термодинамических характеристик выбранного хладагента. Локальная криотерапия с помощью сложных технических устройств выглядит перспективным способом охлаждения, однако нет убедительных данных за преимущество перед традиционной криотерапией пакетом со льдом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Не существует единого протокола локальной криотерапии коленного сустава после эндопротезирования. Для обеспечения безопасности и получения максимального клинического эффекта необходимо осуществлять подбор продолжительности и частоты охлаждения для каждого способа локальной криотерапии. Внедрение стандартизированных протоколов на основе температуроконтролируемого охлаждения мягких тканей позволит снизить гетерогенность методов и повысить воспроизводимость клинических эффектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: локальная криотерапия, эндопротезирование коленного сустава, параметры криотерапии, контроль температуры

Для цитирования / For citation: Казанцев Д.И., Очкуренко А.А., Пелеганчук В.А., Батрак Ю.М. Локальная криотерапия после эндопротезирования коленного сустава. Какой способ выбрать? Обзор литературы. Вестник восстановительной медицины. 2026; 25(2):91–98. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-91-98> [Kazantsev D.I., Ochurenko A.A., Peleganchuk V.A., Batrak Yu.M. Local Cryotherapy after Total Knee Arthroplasty: Which Method to Choose? A Literature Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(2):91–98. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-91-98> (In Russ.)]

* **Для корреспонденции:** Казанцев Дмитрий Игоревич, E-mail: dmitry.kazantsev@inbox.ru, 297501@mail.ru

Статья получена: 12.09.2025
Статья принята к печати: 05.03.2026
Статья опубликована: 23.04.2026

Local Cryotherapy after Total Knee Arthroplasty: Which Method to Choose? A Literature Review

 Dmitry I. Kazantsev^{1,*},  Alexander A. Ochkurenko²,  Vladimir A. Peleganchuk¹,
 Yuri M. Batrak¹

¹ Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthetics, Barnaul, Russia

² Priorov Central Institute for Trauma and Orthopaedics, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Following total knee arthroplasty, various methods of local cryotherapy are employed ranging from traditional ice packs to specialized temperature-controlled devices. However, despite the wide array of existing cold therapy modalities, the efficacy of local cryotherapy remains controversial due to the heterogeneity of local therapy protocols.

AIM. To identify scientific evidence on local cryotherapy, synthesize findings, and define optimal cryotherapy parameters.

MATERIALS AND METHODS. Literature searches were performed on February 1, 2024 in CyberLeninka, eLibrary.RU, PubMed, and Cochrane databases. Of 664 studies identified, 18 met inclusion criteria. The study period is February – June 2024.

MAIN CONTENT OF THE REVIEW. Evidence-based local cryotherapy after knee arthroplasty requires maintaining skin temperature at 10–15 °C for ≥ 30 minutes, with intra-articular temperature < 30 °C. Early initiation post-surgery and protocol individualization based on cryogen thermophysical properties are critical for efficacy. While advanced cryodevices show promise, current data reveal no conclusive superiority over traditional ice-pack therapy.

CONCLUSION. Standardized cryotherapy protocols remain to be established. Optimizing safety and clinical outcomes necessitates cryogen-specific adjustments of exposure duration/frequency. Implementing temperature-controlled protocols may reduce methodological heterogeneity and improve reproducibility.

KEYWORDS: local cryotherapy, total knee arthroplasty, cryotherapy parameters, temperature control

For citation: Kazantsev D.I., Ochkurenko A.A., Peleganchuk V.A., Batrak Yu.M. Local Cryotherapy after Total Knee Arthroplasty: Which Method to Choose? A Literature Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(2):91–98. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-91-98> (In Russ.).

* **For correspondence:** Dmitry I. Kazantsev, E-mail: dmitry.kazantsev@inbox.ru, 297501@mail.ru

Received: 12.09.2025

Accepted: 05.03.2026

Published: 23.04.2026

ВВЕДЕНИЕ

После эндопротезирования коленного сустава применяются различные способы локальной криотерапии: от традиционного охлаждения пакетом со льдом до охлаждения с помощью сложных технических устройств с контролем температуры. В качестве охлаждающего агента используют охлажденный газ, охлажденные жидкости, гель, лед. Несмотря на большое разнообразие способов локальной криотерапии, эффективность после эндопротезирования коленного сустава изучена недостаточно. Гетерогенность холодового воздействия является основной причиной противоречивости данных систематических обзоров по оценке эффективности локальной криотерапии коленного сустава после эндопротезирования [1–6]. Данный обзор литературы направлен на поиск научных доказательств локальной криотерапии, их обобщение и определение оптимальных параметров локальной криотерапии.

ЦЕЛЬ

Поиск научных доказательств локальной криотерапии, их обобщение и определение оптимальных параметров локальной криотерапии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск литературы проводился по ключевым словам «криотерапия», «эндопротезирование коленного су-

става» для базы данных Киберленинка, eLibrary.RU. Для базы данных PubMed и Cochrane ключевыми словами были cryotherapy, knee arthroplasty. Дата проведения поиска — 01.02.2024. Ограничений поиска по языку и времени публикации не было, фильтр не применялся. Период проведения исследования — с февраля по июнь 2024 г.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА

В обзор включали исследования, в которых проводилась оценка эффективности применения локальной криотерапии коленного сустава после эндопротезирования в ранний послеоперационный период. Не включали в обзор исследования, в которых применялась криотерапия в комбинированном лечении с другими методами лечения, а также неполнотекстовые статьи.

Из включенных в исследование статей извлекалась общая информация, методика применения криотерапии и оценка эффективности. Общая информация включала в себя дизайн исследования, авторов, количество участников исследования. Методика применения включала способ криотерапевтического воздействия (применение пакета со льдом, гелем или с помощью устройств), время старта криотерапии (непосредственно после операции или отсроченно), а также продолжительность воздействия, частота применения и длительность курса терапии.

Оценивали эффективность локальной криотерапии коленного сустава в зависимости от параметров:

- температуры кожных покровов и внутри сустава во время локальной криотерапии;
- продолжительности охлаждающего действия;
- частоты холодового воздействия;
- начала курса локальной криотерапии и его продолжительности.

Согласно стратегии электронного поиска, найдено 664 реферата в следующих базах: Киберленинка — 52 исследования, eLibrary.RU — 468 исследований, PubMed — 65 исследований, Cochrane Database — 79 исследований. Исключено 18 дублирующихся записей. После скрининга 646 рефератов исключено 553 по нерелевантности на основе заголовка и аннотации. Оставшиеся 93 статьи оценены на соответствие критериям: исключено — 75 (из них 21 — обзоры, 18 — оценка эффективности локальной криотерапии другими методами, 36 — криотерапия выполнена позднее 48 часов после операции). Включено в обзор 18 полнотекстовых статей (рис. 1).

Температура кожных покровов и внутри сустава во время локальной криотерапии

Важным аспектом нашего исследования являлся анализ корреляции между температурой тканей колен-

ного сустава во время локального охлаждающего воздействия и клинической эффективностью локальной криотерапии. Согласно данным литературы, достижение определенных температурных порогов на разных уровнях тканей коленного сустава является критически значимым для реализации клинических эффектов локальной криотерапии и минимизации рисков. Исследования демонстрируют, что снижение температуры кожных покровов до 13,6 °C приводит к местной анестезии [7], а дальнейшее охлаждение до 12,5 °C приводит к снижению скорости нервной проводимости приблизительно на 10 % [8]. Достижение температуры кожи в диапазоне 10–11 °C сопровождается снижением клеточного метаболизма на 50 % [8]. Примечательно, что гипометаболический эффект, способствующий снижению риска вторичного гипоксического повреждения мягких тканей, инициируется уже при температуре кожи 15 °C [9]. При этом охлаждение ниже 10 °C сопряжено с увеличением риска термического повреждения тканей [10]. Однако ключевым параметром эффективности локальной криотерапии является изменение внутрисуставной температуры. Снижение внутрисуставной температуры ниже 30 °C приводит к подавлению активности деструктивных ферментов, что ограничивает воспалительные процессы [11, 12].

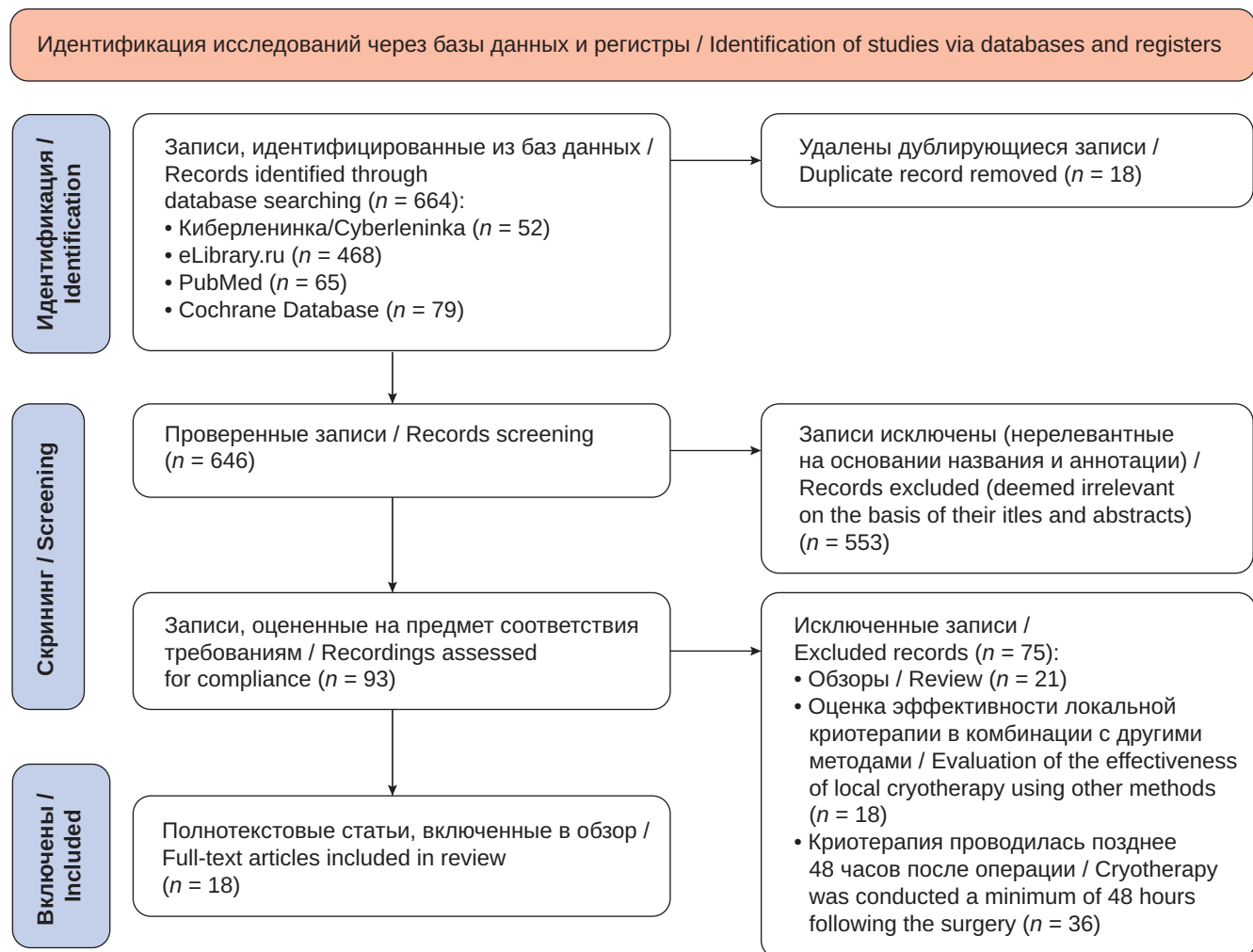


Рис. 1. Схема отбора источников литературы по локальной криотерапии после эндопротезирования коленного сустава

Fig. 1. Flow diagram of the literature selection process for local cryotherapy following total knee arthroplasty

Совокупность этих данных позволяет определить целевые температурные диапазоны для эффективной и безопасной локальной криотерапии коленного сустава: 10–15 °С — для кожных покровов и не более 30 °С — внутри коленного сустава [13–15].

Продолжительность охлаждающего действия во время локальной криотерапии коленного сустава

Исходная температура хладагента напрямую влияет на кинетику охлаждения: агенты с более низкой начальной температурой обеспечивают более быстрое снижение температуры тканей. В настоящее время в клинической практике применяются различные хладагенты. Kennet J. сравнил четыре хладагента для локальной криотерапии: лед, охлажденная вода, пакеты с гелем и замороженные шарики с гелем [14]. Колотый лед показал наибольшую эффективность в охлаждении мягких тканей, так как температура кожных покровов оставалась дольше в терапевтически значимом диапазоне 10–15 °С. В этом же исследовании автор измерял температуру хладагентов перед применением. Температура пакетов с гелем и замороженных шариков была минус 10–12 °С, в то время как колотого льда — около 0 °С. Он пришел к выводу, что воздействие охлаждающим агентом с исходной отрицательной температурой вызывает значительный дискомфорт в сравнении со льдом или охлажденной водой, где исходная температура составила 0–10 °С [14]. Результаты исследования Selfe J. демонстрируют высокий риск термических повреждений мягких тканей во время проведения локальной криотерапии пакетом с замороженным гелем в связи с высоким градиентом температуры кожных покровов и охлаждающего агента [16]. Guillot X. проводил локальную криотерапию коленного сустава, оценивая эффективность охлаждения с помощью льда в сравнении с газовой криотерапией. Он обнаружил, что локальная криотерапия льдом приводит к более мягкому снижению температуры мягких тканей и более эффективно снижает уровень провоспалительных цитокинов синовиальной жидкости в сравнении с газовой криотерапией [17].

Продолжительность экспозиции холодого воздействия на коленный сустав является важным параметром в достижении терапевтически значимого диапазона температуры кожных покровов (10–15 °С) и внутри сустава (< 30 °С). Если контроль температуры кожных покровов не представляет сложности, то контроль внутрисуставной температуры является инвазивной процедурой и сопровождается дополнительными рисками для пациента. Это ограничение, вероятно, обуславливает дефицит качественных исследований, объективно оценивающих эффективность различных методов локальной криотерапии коленного сустава по внутрисуставному температурному критерию. Анализ доступных исследований с прямым внутрисуставным мониторингом выявил следующие закономерности.

Газовая криотерапия характеризуется экстремально низкими температурами хладагента (–80 °С, –160 °С) и быстрым достижением целевых температур кожных покровов в течение 5–6,5 минут [18–20]. Однако многочисленные исследования с прямым внутрисустав-

ным мониторингом температуры демонстрируют ее ограниченную способность к глубокому охлаждению: в большинстве случаев 5–6,5-минутная экспозиция не обеспечивает снижения внутрисуставной температуры ниже 30 °С [18, 19]. Лишь в одном исследовании 6,5-минутная экспозиция обеспечила снижение до 28,8 °С с сохранением эффекта до 120 минут [20]. Таким образом, кратковременное газовое охлаждение, несмотря на экстремально низкие температуры хладагента, часто не обеспечивает достаточного снижения внутрисуставной температуры, а увеличение длительности процедуры повышает риск термического повреждения поверхностных тканей [18–20].

Напротив, криотерапия пакетом со льдом требует значительно более длительной экспозиции для достижения целевых показателей температуры кожных покровов и внутри сустава. Минимально эффективная продолжительность локальной криотерапии с помощью льда составляет не менее 20 минут, тогда как оптимальная продолжительность локальной криотерапии для достижения устойчивого клинического эффекта должна быть 30 минут [21–24]. Физиологическое обоснование указанных временных параметров подтверждается результатами исследования Ho S.S.W. et al. [25], в котором проведена комплексная оценка влияния локальной криотерапии льдом на костный метаболизм и тканевый кровоток в структурах коленного сустава в зависимости от длительности холодовой экспозиции. Методология исследования включала стандартное трехфазное сканирование костей с применением технеция-99м. Полученные данные демонстрируют, что снижение тканевого кровотока на 11,1 % и уменьшение костного метаболизма на 5,1 % регистрировались уже через 5 минут после начала охлаждения. Максимальная эффективность воздействия наблюдалась при 25-минутной экспозиции, обеспечивая снижение тканевого кровотока на 29,5 % и костного метаболизма на 20,9 %. Данный физиологический эффект коррелировал со снижением температуры кожных покровов до 13 °С.

Клинические исследования локальной криотерапии коленного сустава после эндопротезирования демонстрируют более выраженное влияние охлаждения пакетом со льдом на внутрисуставную температуру. При 30-минутном применении льда температура кожных покровов достигала 10–16 °С, а внутрисуставная температура составляла 26–30 °С, оставаясь ниже 30 °С на протяжении 120–180 минут [18, 20]. В другом исследовании 60-минутное охлаждение льдом привело к снижению температуры кожных покровов до 3,2 °С и внутрисуставной температуры до 18,5 °С [26]. Осложнений локальной криотерапии в данном исследовании не описывалось, однако есть основание считать охлаждение льдом в течение 60 минут избыточным, так как был значительно превышен минимальный порог охлаждения мягких тканей (10 °С) [10].

В сложных устройствах для локальной криотерапии в качестве хладагента используется вода. Охлаждение коленного сустава осуществляется за счет циркуляции воды между емкостью со льдом и криоманжетой, размещенной на суставе. Dahlstedt L. в своем исследовании проводил непрерывное охлаждение

коленного сустава с помощью криотерапевтического устройства и определил, что снижение внутрисуставной температуры наступает при температуре кожных покровов 20 °C и менее. Однако целевые показатели температуры кожных покровов и внутри сустава не были достигнуты [27]. Warren T.A. охлаждал коленный сустав тем же устройством в течение 1 часа и получил снижение температуры кожных покровов и внутрисуставной температуры до целевых показателей. К тому же внутрисуставная температура сохранялась ниже 30 °C более 120 минут [26]. Вероятно, полученные результаты обусловлены различиями в протоколах локальной криотерапии, такими как частота замены льда в системе охлаждения или начальная температура воды [26, 27].

Локальная криотерапия пакетом со льдом и с помощью водоциркуляторных систем обладает ключевыми преимуществами: отсутствие экстремальных температурных градиентов на поверхности кожи минимизирует риск локальных повреждений [10], а сходство температурных профилей на коже и внутри сустава обеспечивает предсказуемость и сопоставимость клинического эффекта [18, 20]. Высокая эффективность при адекватной экспозиции, оптимальный профиль безопасности, хорошая переносимость и доступность обуславливают сохраняющееся доминирование локальной криотерапии с помощью льда в клинической практике. Несмотря на технологическое развитие водоциркуляторных систем и аппаратной газовой криотерапии, многочисленные сравнительные исследования и систематические обзоры не выявляют их статистически значимого клинического превосходства над традиционными методами при лечении патологии коленного сустава [28–34], что поддерживает актуальность дискуссии об их рентабельности и целесообразности широкого внедрения.

Частота холодового воздействия во время локальной криотерапии коленного сустава

Большинство клинических исследований по оценке эффективности локальной криотерапии коленного сустава после эндопротезирования сообщили о положительном клиническом результате [35–40]. Вероятно, это связано с достижением терапевтически значимого температурного диапазона кожных покровов и внутри сустава в вышеперечисленных исследованиях вне зависимости от способа локальной криотерапии. Однако частота охлаждающих процедур была разной, что приводило к различной экспозиции температуры кожных покровов и внутри сустава. Возможно, это и явилось причиной различного клинического эффекта локальной криотерапии и противоречивых результатов систематических обзоров литературы [1–6].

Данные клинических исследований локальной криотерапии коленного сустава однозначно указывают на превосходство режимов многократного охлаждения перед их однократным применением в отношении снижения послеоперационной боли, отека и кровопотери после эндопротезирования. Wittig-Wells D. в своей работе охлаждал коленный сустав однократно после эндопротезирования и не обнаружил преимуществ применения локальной криотерапии [41]. Другие исследо-

ватели охлаждали сустав несколько раз в день, получив достоверное снижение болевого синдрома и объема кровопотери в группе с криотерапией [35–38]. Однако избыточное охлаждение мягких тканей может приводить к термическим поражениям. Dundon J.M. описал два клинических случая некроза мягких тканей области наколенника после эндопротезирования коленного сустава. В обоих случаях пациентам проводилась локальная криотерапия с помощью криотерапевтического устройства [42]. Авторы пришли к выводу, что непрерывная криотерапия несет в себе высокий риск осложнений, связанных с длительно сохраняющейся низкой перфузией мягких тканей.

При выборе частоты холодового воздействия на сустав важно соблюдать баланс между эффективностью и безопасностью локальной криотерапии [43]. Пассивное согревание мягких тканей занимает различное время в зависимости от способа локальной криотерапии [14, 18–20]. К тому же восстановление локального кровотока происходит значительно дольше восстановления температуры мягких тканей после локальной криотерапии. Khoshnevis S. et al. изучили влияние локального охлаждения кожных покровов на перфузию мягких тканей [44]. В исследовании мягкие ткани охлаждали до 15 °C с помощью устройства для локальной криотерапии в течение 60 минут, затем переходили к пассивному согреванию в течение 120 минут. Во время охлаждения и согревания оценивали перфузию мягких тканей с помощью нескольких датчиков доплеровской флоуметрии. Данные показали значительное снижение перфузии во время охлаждения, которое сохранялось весь период согревания. Кроме того, наблюдался эффект гистерезиса между перфузией мягких тканей и температурой кожи во время цикла охлаждения и согревания кожи, то есть восстановление перфузии мягких тканей проходило значительно медленнее восстановления температуры кожных покровов. Следовательно, физиологическим лимитирующим фактором для частоты холодового воздействия является не только период восстановления температуры мягких тканей после локальной криотерапии, но и полное восстановление локального кровотока. На основании анализа времени восстановления перфузии предложены безопасные соотношения «охлаждение/отдых»: минимально допустимое — 1 : 2 (например, 20 минут охлаждения и 40 минут отдыха), однако для минимизации риска термического повреждения и обеспечения полного восстановления гемодинамики предпочтительным считается соотношение 1 : 6 [45].

Таким образом, разработка протокола локальной криотерапии должна основываться на подборе продолжительности и частоты воздействия для конкретного типа хладагента. Такой подход направлен на обеспечение безопасности и достижение максимального клинического эффекта локальной криотерапии.

Начало и длительность курса локальной криотерапии

Согласно результатам исследования Speck M. et al. [46], максимальный объем послеоперационной кровопотери по дренажам после тотального эндопротезирования коленного сустава регистрируется в те-

чение первых 6 послеоперационных часов. Данный факт определяет важность локальной криотерапии именно в этот временной интервал. Принципиальное значение имеют выводы Ho S.S.W. et al. [25], продемонстрировавших, что старт локальной криотерапии коленного сустава в первые два часа после эндопротезирования обеспечивает статистически более выраженный клинический эффект. Патофизиологическое обоснование данного подхода заключается в том, что гипотермическое воздействие на периартикулярные ткани непосредственно индуцирует вазоконстрикцию и снижает клеточный метаболизм. Это приводит к значимому уменьшению объема кровопотери и ограничивает зону вторичного гипоксического повреждения тканей в условиях острой хирургической травмы [9, 25]. Выводы об эффективности локальной криотерапии в снижении объема кровопотери находят убедительное подтверждение в ряде независимых клинических исследований [35, 36, 38], в которых было зафиксировано статистически достоверное снижение объема кровопотери в группе пациентов, получавших локальную криотерапию по сравнению с контрольной группой.

Динамика болевого синдрома после тотального эндопротезирования коленного сустава характеризуется достижением пиковой интенсивности в течение первых 48 часов с последующим постепенным регрессом на протяжении двух недель. Применение локальной криотерапии в данный период патогенетически обосновано ее способностью замедлять нервную проводимость, что клинически проявляется значимым уменьшением интенсивности болевого синдрома и снижением потребности в опиоидных анальгетиках [35–37]. Данный анальгетический эффект локальной криотерапии, согласно метаанализу Liu Yu. et al. [47], является статистически значимым и сохраняет свою клиническую релевантность на протяжении всего

двухнедельного периода максимальной болевой симптоматики.

Оценка воспалительного ответа после тотального эндопротезирования коленного сустава указывает на пиковый уровень сывороточного С-реактивного белка в интервале 1–3 суток после операции с возвращением к исходным значениям в течение 14 дней [48]. Противовоспалительное действие локальной криотерапии подтверждается экспериментальными данными Guillot X. et al. [17], выявившими достоверное снижение концентраций провоспалительных цитокинов (IL-6, IL-1 β) в синовиальной жидкости коленного сустава на фоне локальной криотерапии.

Своевременное начало (0–2 часа) и адекватная длительность (до 14 суток) курса локальной криотерапии после тотального эндопротезирования коленного сустава представляют собой патогенетически и клинически обоснованный подход, направленный на минимизацию послеоперационной кровопотери, эффективное купирование болевого синдрома, снижение потребности в опиоидах и уменьшение воспалительной реакции, что в совокупности облегчает течение раннего послеоперационного периода и способствует улучшению функциональных исходов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Не существует единого протокола локальной криотерапии коленного сустава после эндопротезирования. Для обеспечения безопасности и получения максимального клинического эффекта необходимо осуществлять подбор продолжительности и частоты охлаждения для каждого способа локальной криотерапии. Внедрение стандартизированных протоколов на основе температуроконтролируемого охлаждения мягких тканей позволит снизить гетерогенность методов и повысить воспроизводимость клинических эффектов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Казанцев Дмитрий Игоревич, врач — травматолог-ортопед, Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования Минздрава России.

E-mail: dmitry.kazantsev@inbox.ru, 297501@mail.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5498-3861>

Очкуренко Александр Алексеевич, доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии-ортопедии, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1078-9725>

Пелеганчук Владимир Алексеевич, доктор медицинских наук, главный врач, Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2386-4421>

Батрак Юрий Михайлович, кандидат медицинских наук, заместитель главного врача по медицинской части, Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0489-1480>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующими образом: Казанцев Д.И. — анализ данных, проведение исследования, написание черновика рукописи, визуализация; Очкуренко А.А. — научное обоснование, методология, проверка и редактирование рукописи; Пелеганчук В.А. — обеспечение материалов для исследования, курация данных, руководство проектом; Батрак Ю.М. — верификация данных, курирование проекта.

Источники финансирования. Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

ADDITIONAL INFORMATION

Dmitry I. Kazantsev, Orthopedic Surgeon, Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthetics.

E-mail: dmitry.kazantsev@inbox.ru, 297501@mail.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5498-3861>

Alexander A. Ochkurenko, D.Sc. (Med.), Professor at the Department of Traumatology and Orthopedics, Priorov Central Institute for Trauma and Orthopaedics.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1078-9725>

Vladimir A. Peleganchuk, D.Sc. (Med.), Chief Physician, Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthetics.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2386-4421>

Yuri M. Batrak, PhD (Med.), Deputy Chief Medical Officer Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthetics.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0489-1480>

Author Contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Kazantsev D.I. — formal analysis, investigation, writing — original draft, visualization; Ochkurenko A.A. — conceptualization, methodology, writing — review & editing; Peleganchuk V.A. — resources, data curation, project administration; Batrak Yu.M. — validation, supervision. **Funding.** This study was not supported by any external funding sources.

Disclosure. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Data Access Statement. The data that support the findings of this study are available on reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

1. Adie S., Kwan A., Naylor J.M., et al. Cryotherapy following total knee replacement. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012; 9: CD007911. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007911.pub2>
2. Thacoor A., Sandiford N.A. Cryotherapy following total knee arthroplasty: What is the evidence? *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2019; 27(1): 2309499019832752. <https://doi.org/10.1177/2309499019832752>
3. Krampe P.T., Bendo A.J.P., Barros M.I.G., et al. Cryotherapy in Knee Arthroplasty: Systematic Review and Meta-Analysis. *Ther Hypothermia Temp Manag.* 2023; 13(2): 45–54. <https://doi.org/10.1089/ther.2022.0043>
4. Liu M.M., Tian M., Luo C., et al. Continuous cryotherapy vs. traditional cryotherapy after total knee arthroplasty: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Surg.* 2023; 9: 1073288. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.1073288>
5. Wyatt P.B., Nelson C.T., Cyrus J.W., et al. The Role of Cryotherapy After Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review. *J Arthroplasty.* 2023; 38(5): 950–956. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2022.12.004>
6. Niu R.H., Hou X.F., Chang F., et al. A reassessment of existing systematic reviews evaluating the effectiveness of cryotherapy in patients following total knee arthroplasty. *Ann Med.* 2025; 57(1): 2512432. <https://doi.org/10.1080/07853890.2025.2512432>
7. Jutte L.S., Merrick M.A., Ingersoll C.D., et al. The relationship between intramuscular temperature, skin temperature, and adipose thickness during cryotherapy and rewarming. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001; 82(6): 845–850. <https://doi.org/10.1053/apmr.2001.23195>
8. Bugaj R. The cooling, analgesic, and rewarming effects of ice massage on localized skin. *Phys Ther.* 1975; 55(1): 11–19. <https://doi.org/10.1093/ptj/55.1.11>
9. Bleakley C., McDonough S., MacAuley D. The use of ice in the treatment of acute soft-tissue injury: a systematic review of randomized controlled trials. *Am J Sports Med.* 2004; 32(1): 251–261. <https://doi.org/10.1177/0363546503260757>
10. Ibrahim T., Ong S.M., Saint Clair Taylor G.J. The effects of different dressings on the skin temperature of the knee during cryotherapy. *Knee.* 2005; 12(1): 21–23. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2004.02.006>
11. Harris E.D. Jr., McCroskey P.A. The influence of temperature and fibril stability on degradation of cartilage collagen by rheumatoid synovial collagenase. *N Engl J Med.* 1974; 290(1): 1–6. <https://doi.org/10.1056/NEJM197401032900101>
12. Woolley D.E., Evanson J.M. Collagenase and its natural inhibitors in relation to the rheumatoid joint. *Connect Tissue Res.* 1977; 5(1): 31–35. <https://doi.org/10.3109/03008207709152607>
13. MacAuley D. Ice therapy: How good is the evidence? *Int J Sports Med.* 2001; 22(5): 379–384. <https://doi.org/10.1055/s-2001-15656>
14. Kennet J., Hardaker N., Hobbs S., et al. Cooling efficiency of 4 common cryotherapeutic agents. *J Athl Train.* 2007; 42(3): 343–348.
15. Belsey J., Gregory R., Paine E., Faulkner J. Skin temperature of the knee was effectively reduced when using a new continuous cold-flow cryocompression device: a randomised controlled crossover trial. *Physiotherapy.* 2024; 123: 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2023.12.001>
16. Selfe J., Hardaker N., Whitaker J., et al. Thermal imaging of an ice burn over the patella following clinically relevant cryotherapy application during a clinical research study. *Phys Ther Sport.* 2007; 8: 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2007.04.001>
17. Guillot X., Tordi N., Laheurte C., et al. Local ice cryotherapy decreases synovial interleukin 6, interleukin 1 β , vascular endothelial growth factor, prostaglandin-E2, and nuclear factor kappa B p65 in human knee arthritis: a controlled study. *Arthritis Res Ther.* 2019; 21(1): 180. <https://doi.org/10.1186/s13075-019-1965-0>
18. Oosterveld F.G., Rasker J.J. Effects of local heat and cold treatment on surface and articular temperature of arthritic knees. *Arthritis Rheum.* 1994; 37(11): 1578–1582. <https://doi.org/10.1002/art.1780371104>
19. Kim Y.H., Baek S.S., Choi K.S., et al. The effect of cold air application on intra-articular and skin temperatures in the knee. *Yonsei Med J.* 2002; 43(5): 621–626. <https://doi.org/10.3349/ymj.2002.43.5.621>
20. Oosterveld F.G., Rasker J.J., Jacobs J.W., et al. The effect of local heat and cold therapy on the intraarticular and skin surface temperature of the knee. *Arthritis Rheum.* 1992; 35(2): 146–151. <https://doi.org/10.1002/art.1780350204>
21. McMaster W.C. Cryotherapy. *Phys Sportsmed.* 1982; 10(11): 112–119. <https://doi.org/10.1080/00913847.1982.11947373>
22. McMaster W.C. A literary review on ice therapy in injuries. *Am J Sports Med.* 1977; 5(3): 124–126. <https://doi.org/10.1177/036354657700500305>
23. Graham C.A., Stevenson J. Frozen chips: an unusual cause of severe frostbite injury. *Br J Sports Med.* 2000; 34(5): 382–383. <https://doi.org/10.1136/bjism.34.5.382>
24. Karunakara R.G., Lephart S.M., Pincivero D.M. Changes in forearm blood flow during single and intermittent cold application. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1999; 29(3): 177–180. <https://doi.org/10.2519/jospt.1999.29.3.177>
25. Ho S.S.W., Coel M.N., Kagawa R., et al. The effects of ice on blood flow and bone metabolism in knees. *Am J Sports Med.* 1994; 22: 537–540.

26. Warren T.A., McCarty E.C., Richardson A.L., et al. Intra-articular knee temperature changes: ice versus cryotherapy device. *Am J Sports Med.* 2004; 32(2): 441–445. <https://doi.org/10.1177/0363546503258864>
27. Dahlstedt L., Samuelson P., Dalén N. Cryotherapy after cruciate knee surgery. Skin, subcutaneous and articular temperatures in 8 patients. *Acta Orthop Scand.* 1996; 67(3): 255–257. <https://doi.org/10.3109/17453679608994683>
28. Healy W.L., Seidman J., Pfeifer B.A., et al. Cold compressive dressing after total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1994; 299: 143–146.
29. Ivey M., Johnston R.V., Uchida T. Cryotherapy for postoperative pain relief following knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 1994; 9(3): 285–290. [https://doi.org/10.1016/0883-5403\(94\)90083-3](https://doi.org/10.1016/0883-5403(94)90083-3)
30. Demoulin C., Brouwers M., Darot S., et al. Comparison of gaseous cryotherapy with more traditional forms of cryotherapy following total knee arthroplasty. *Ann Phys Rehabil Med.* 2012; 55(4): 229–240. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2012.03.004>
31. Su E.P., Perna M., Boettner F., et al. A prospective, multi-center, randomised trial to evaluate the efficacy of a cryopneumatic device on total knee arthroplasty recovery. *J Bone Joint Surg Br.* 2012; 94(11 Suppl A): 153–156. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.94B11.30832>
32. Bech M., Moorhen J., Cho M., et al. Device or ice: the effect of consistent cooling using a device compared with intermittent cooling using an ice bag after total knee arthroplasty. *Physiother Can.* 2015; 67(1): 48–55. <https://doi.org/10.3138/ptc.2013-78>
33. Schinsky M.F., McCune C., Bonomi J. Multifaceted Comparison of Two Cryotherapy Devices Used After Total Knee Arthroplasty: Cryotherapy Device Comparison. *Orthop Nurs.* 2016; 35(5): 309–316. <https://doi.org/10.1097/NOR.0000000000000276>
34. Ruffilli A., Castagnini F., Traina F., et al. Temperature-Controlled Continuous Cold Flow Device after Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial Study. *J Knee Surg.* 2017; 30(7): 675–681. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1593874>
35. Levy A.S., Marmar E. The role of cold compression dressings in the postoperative treatment of total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1993; 297: 174–178.
36. Morsi E. Continuous-flow cold therapy after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2002; 17(6): 718–722. <https://doi.org/10.1054/arth.2002.33562>
37. Kuyucu E., Bülbül M., Kara A., et al. Is cold therapy really efficient after knee arthroplasty? *Ann Med Surg (Lond).* 2015; 4(4): 475–478. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2015.10.019>
38. Gibbons C.E., Solan M.C., Ricketts D.M., et al. Cryotherapy compared with Robert Jones bandage after total knee replacement: a prospective randomized trial. *Int Orthop.* 2001; 25(4): 250–252. <https://doi.org/10.1007/s002640100227>
39. Tauseef A., Mannan M., Shrivastava N., et al. A Prospective Comparative Study of Postoperative Pain and Functional Outcomes With and Without Cryotherapy Following Total Knee Arthroplasty. *Cureus.* 2025; 17(6): e85227. <https://doi.org/10.7759/cureus.85227>
40. Lee B., Yoon D., Yim J. Effects of an Early Exercise Program with Cryotherapy on Range of Motion, Pain, Swelling, and Gait in Patients with Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial. *J Clin Med.* 2024; 13(5): 1420. <https://doi.org/10.3390/jcm13051420>
41. Wittig-Wells D., Johnson I., Samms-McPherson J., et al. Does the use of a brief cryotherapy intervention with analgesic administration improve pain management after total knee arthroplasty? *Orthop Nurs.* 2015; 34(3): 148–153. <https://doi.org/10.1097/NOR.0000000000000143>
42. Dundon J.M., Rymer M.C., Johnson R.M. Total patellar skin loss from cryotherapy after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2013; 28(2): 376.e5–376.e7. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2012.05.024>
43. Yang L., Zhan Y.F., Zhai Z.J., et al. Mechanisms and parameters of cryotherapy intervention for early postoperative swelling following total knee arthroplasty: A scoping review. *J Exp Orthop.* 2025; 12(1): e70197. <https://doi.org/10.1002/jeo2.70197>
44. Khoshnevis S., Craik N.K., Diller K.R. Cold-induced vasoconstriction may persist long after cooling ends: an evaluation of multiple cryotherapy units. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015; 23(9): 2475–2483. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-2911-y>
45. Electrophysical agents contraindications and precautions: an evidence-based approach to clinical decision making in physical therapy. *Physiother Can.* 2010; 62(5): 1–80. <https://doi.org/10.3138/ptc.62.5>
46. Speck M., Jakob R., Brinkmann K.E. Blood loss after total knee arthroplasty in relation to positioning: 70j flexion v extension [Abstract]. *J Bone Joint Surg Br.* 1999; 81(Suppl 1): 245.
47. Liu Yu., Zhang Nanxin, Dai Liqun, et al. Meta-analysis of the effectiveness of cold therapy after total knee arthroplasty [J]. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*, 2020, 24(9): 1443–1448.
48. Mackie M., Barton K.I., Sokol-Randell D., et al. The use of biomarkers to quantify clinical response to total knee arthroplasty interventions: a systematic review. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev.* 2024; 8(3): e2300202. <https://doi.org/10.5435/JAAOSGlobal-D-23-00202>

Fartlek Training as a Dynamic Approach to Improving Skill-Related Fitness in Athletes: A Review

Nidhi Kotadiya,  Sarfraznawaz F. Shah*

Sumandeep Vidyapeeth deemed to be University, Vadodara, India

ABSTRACT

INTRODUCTION. Sports involve organized, competitive physical activities, with results reliant on athletes' abilities. Intense, consistent training is vital for fitness and performance improvement. Training is structured to enhance athletes' skills and fitness through systematic exercises. Fartlek training, also called "speed play", integrates varied intervals to boost muscular force, aerobic capacity, and pacing skills, aiding athletes in adjusting to different intensity levels and improving performance through personalized, disciplined training.

AIM. The effectiveness of fartlek training for endurance is well studied, but its effect on skill development remains unclear. This review evaluated existing evidence and identified future directions to establish its efficacy in skill development.

MATERIALS AND METHODS. The searching had been limited to human studies only. Search engines used for this review are Google scholar, PubMed, SCOPUS, PEDro, MEDLINE, Research gate, etc. Thorough research was performed to gather relevant articles from January 2014 to December 2024. The review included randomized controlled trials (RCTs) and quasi-experimental studies that involved athletes undergoing Fartlek training.

RESULTS. Total 145 articles were received through multiple databases from which 23 studies were selected after removing duplication and as per inclusion criteria. The studies varied in design (mostly RCTs) and included athlete populations from sports like soccer, hockey, and badminton, with intervention periods ranging from 4 to 12 weeks. This review shows effectiveness of fartlek training in enhancing a broad spectrum of physical and physiological attributes crucial for athletic process.

DISCUSSION. Fartlek training shows consistent benefits for speed, agility, endurance, and coordination across varied athletic groups. Despite these positive effects, differences in study designs and protocols limit direct comparison of findings. Evidence suggests that longer durations and higher-intensity intervals yield greater improvements, supporting the need for individualized training plans. Overall, fartlek training is effective, but more standardized and long-term research is required to strengthen its applicability.

CONCLUSION. Review is showing positive impact of fartlek training on skill related physical fitness among athletes. Fartlek training is a valuable and comprehensive tool for enhancing athletic performance by improving cardiovascular endurance, speed, agility, and coordination.

REGISTRATION: Clinical Trial Registry India No. CTRI/2023/12/060531, registered December 19, 2023.

KEYWORDS: Fartlek training, agility, speed, endurance, physical fitness, athletes

For citation: Kotadiya N., Shah S.F. Fartlek Training as a Dynamic Approach to Improving Skill-Related Fitness in Athletes: A Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(2):99–108. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-99-108>

* **For correspondence:** Sarfraznawaz F. Shah, E-mail: drsarfraznawaz.cop@sumandeepvidyapeethdu.edu.in

Received: 22.05.2025

Accepted: 08.10.2025

Published: 23.04.2026

Тренировка по методу Фартлек как динамичный подход к улучшению физической формы спортсменов, связанной с навыками: обзор

Котадия Н.,  Шах С.Ф.*

Университет Сумандипа Видьяпитха, Вадодара, Индия

КОТАДИЯ Н. И ДР. | ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Спорт предполагает организованные соревновательные физические нагрузки, результаты которых зависят от способностей спортсменов. Интенсивные последовательные тренировки жизненно важны для улучшения физической формы и результатов. Тренировки структурированы таким образом, чтобы улучшить навыки и физическую форму спортсменов с помощью систематических упражнений. Тренировка по методу Фартлек, также называемая игрой на скорость, включает различные интервалы для повышения мышечной силы, аэробных возможностей и навыков ритмики, помогая спортсменам адаптироваться к различным уровням интенсивности и улучшать результаты благодаря индивидуальным дисциплинированным тренировкам.

ЦЕЛЬ. Эффективность тренировки Фартлек на выносливость хорошо изучена, но ее влияние на развитие навыков остается неясным. В этом обзоре были оценены существующие фактические данные и определены будущие направления для установления их эффективности в развитии навыков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Поиск ограничивался только исследованиями с участием людей. Для этого обзора использовались поисковые системы Google Scholar, PubMed, SCOPUS, PEDro, MEDLINE, Research Gate и др. Было проведено тщательное исследование для сбора релевантных статей с января 2014 г. по декабрь 2024 г. В обзор были включены рандомизированные контролируемые исследования и квазиэкспериментальные исследования, в которых спортсмены проходили тренировки по методу Фартлек в течение как минимум 3 недель.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Всего было получено 145 статей из различных баз данных, из которых после удаления дубликатов и в соответствии с критериями включения было отобрано 23 исследования. Исследования различались по дизайну (в основном рандомизированные контролируемые исследования) и включали популяции спортсменов из таких видов спорта, как футбол, хоккей и бадминтон, с периодами вмешательства от 4 до 12 недель. Данный обзор демонстрирует эффективность тренировок по методу Фартлек в улучшении широкого спектра физических и физиологических качеств, имеющих решающее значение для спортивного процесса.

ОБСУЖДЕНИЕ. Тренировки по методу Фартлек показывают устойчивые преимущества для скорости, ловкости, выносливости и координации в различных группах спортсменов. Несмотря на эти положительные эффекты, различия в дизайне и протоколах исследований ограничивают прямое сравнение результатов. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что более длительные интервалы и более высокая интенсивность приводят к большему улучшению, что подтверждает необходимость индивидуальных тренировочных планов. В целом тренировки по методу Фартлек эффективны, но для повышения их применимости необходимы более стандартизированные и долгосрочные исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Обзор показывает положительное влияние тренировок по методу Фартлек на физическую подготовку спортсменов, связанную с навыками. Фартлек-тренировки — ценный и комплексный инструмент для повышения спортивных результатов за счет улучшения сердечно-сосудистой выносливости, скорости, ловкости и координации.

РЕГИСТРАЦИЯ: Реестр клинических испытаний Индии № CTRI/2023/12/060531. Зарегистрировано 19.12.2023.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тренировка по методу Фартлек, ловкость, скорость, выносливость, физическая подготовка, спортсмены

For citation: Kotadiya N., Shah S.F. Fartlek Training as a Dynamic Approach to Improving Skill-Related Fitness in Athletes: A Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026; 25(2):99–108. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2026-25-2-99-108>

* Для корреспонденции: Sarfraznawaz F. Shah, E-mail: drsarfraznawaz.cop@sumandeepvidyapeethdu.edu.in

Статья получена: 22.05.2025
Статья принята к печати: 08.10.2025
Статья опубликована: 23.04.2026

INTRODUCTION

Sports represent structured, competitive, enjoyable, and skilled physical activities that emphasize commitment, strategy, and fair play, with outcomes determined by the physical abilities and skills of competitors [1]. Sporting performance involves collective effort aimed at success during athletic tasks [2]. Physical activity is vital for maintaining health, including balanced weight, strong bones, muscles, joints, overall physiological health, and a robust immune system. Consistent application of appropriate training intensity is essential for achieving

and sustaining desired fitness levels [3]. Physical training positively impacts athletic performance [4], and physical fitness involves efficient calorie use through cardiovascular and muscular processes, encompassing strength, cardiovascular and muscular endurance, speed, agility, flexibility, power, and coordination [5].

Training is a structured, iterative process of exercise and work that involves learning and adaptation [6]. The training methodology systematically enhances an athlete's abilities, skills, and physical condition tailored to their specific sport [7]. Through this process, athletes improve

their fitness to meet sport-specific demands using a mix of general and specific exercises. Fartlek training, meaning “speed play” in Swedish, involves varying intensity intervals to enhance muscular force contraction [8]. It allows athletes to strengthen pacing judgment, explore different paces, and experience changes in speed [9]. The training regimen can begin with a slow jog, followed by short, intense sprints, allowing for adjustments based on the athlete’s condition or ability [10]. Achieving optimal performance requires a well-structured, personalized training program and consistent, disciplined effort [7]. So the fundamental objective was to evaluate the effectiveness of fartlek training in conditioning skill-based physical fitness among athletes.

MATERIALS AND METHODS

Search strategy

The search strategy included term related to fartlek training and skill related physical fitness, such as “Fartlek training”, “agility”, “VO_{2max}”, “endurance”, “speed”, “skill”, “physical fitness”, and “athletes”. Boolean operators AND and OR were used to combine keywords.

Information Sources

The searching had been limited to human studies only. Search engines used for this review are Google scholar, PubMed, SCOPUS, PEDro, MEDLINE, Research gate, etc. and wherever possible hand search of articles had done in the University library and Research Centre.

Eligibility Criteria

This review considered studies involving athletes who undergone fartlek training, focusing on outcome measures that effectively assessed skills related physical fitness that is coordination, speed, agility and endurance. To ensure the accuracy and reliable findings, only randomized controlled trials (RCTs), quasi-experimental studies were included

which was published in English and the protocol should at least last 3 weeks.

Review articles, cross-sectional studies, Case reports, correspondence, letters to the editor, errata, over training studies, patents, retrospectives, and articles with only accessible abstracts that did not concentrate on the effects of fartlek training were not included.

Data Collection Process

Data were extracted using a standardized form, capturing information on study design, participant characteristics, intervention details, outcome measures, and results.

RESULTS

Study selection

With the help of search strategy 145 articles were identified from multiple databases. Following the removal of duplication and the screening of titles and abstracts, a total of 43 potentially relevant studies remained. These studies were reviewed according to the inclusion criteria to determine for eligibility. In these review, 23 studies were selected whereas 20 studies were excluded based on the appraisal (Table 1).

DISCUSSION

Study characteristics

The included studies varied in design, with most being RCTs or quasi-experimental. The sample sizes ranged from 5 to 60 participants, athletes from sports such as soccer, basketball, volleyball, football, cricket, hockey, and kho-kho.

Interventions

It included fartlek training. The duration of interventions ranged from 4 to 12 weeks, with frequencies of 2 to 4 sessions per week.

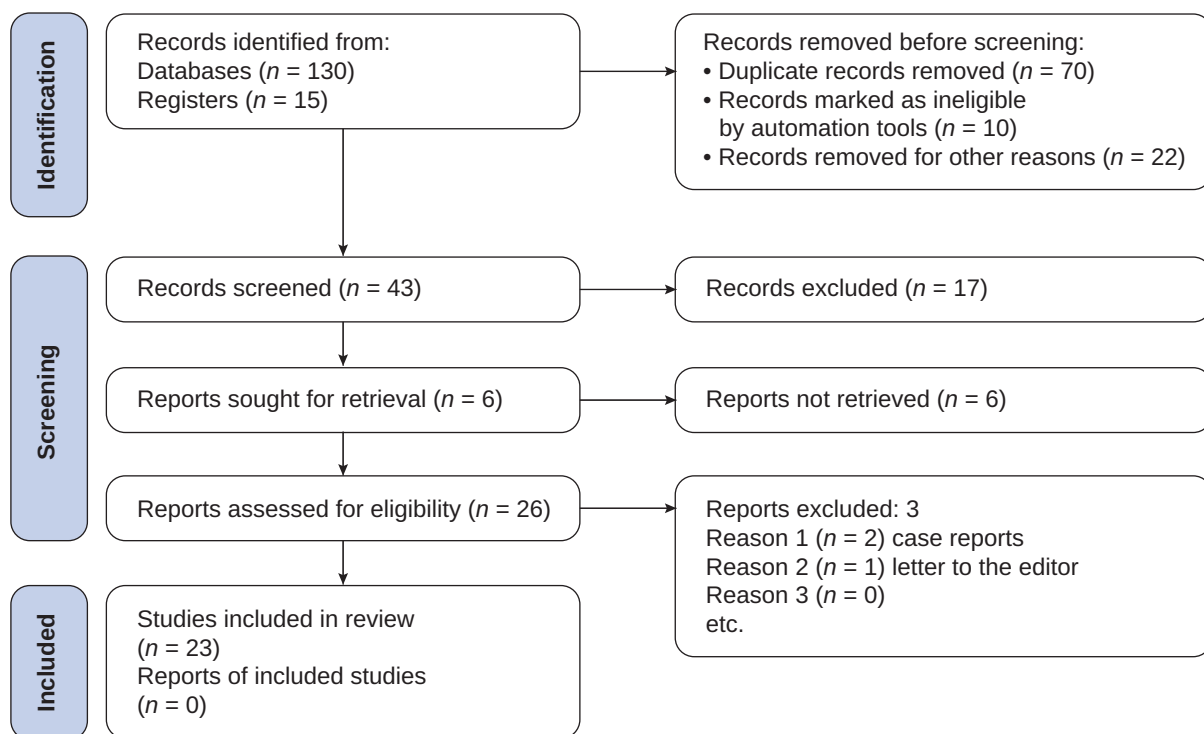


Fig. 1. Process of Data Collection

Table 1. Summary of included articles

No.	Author, year	Type of article	Methodology	Results	Remarks
1.	Gnanavel N.S., 2021 [1]	RCT	n = 30; all male aged between 18–25 divided equally into 3 groups i.e. Fartlek training group + Core muscle training group, Fartlek training group, Control group trained for 6 weeks. Pulse rate and VO_{2max} assessed by Radial pulse measurement and Harvard step test	All the training groups were better than the Control group and Fartlek training with the core muscle training group is better than the core muscle strength training group	The significant results derived from testing the adjusted post-test means confirms the efficacy of training program
2.	Hazar K. et al., 2016 [2]	RCT	n = 10; all males aged between 14–15 divided into 2 groups i.e. Fartlek training group and the Continuous running group for 1 month 3 times/week in which maximal oxygen consumption capacity determined by applying 12 minutes run and walk test	It has been founded that the maximal oxygen consumption capacity has increased in both training programs but the increase in the fartlek training group is higher	Both training program increase maximal oxygen consumption capacity but the increases in continuous running is not meaningful; however, the increase in fartlek run training group is significant
3.	Eleckuvan M.R., 2014 [3]	RCT	n = 12; all males aged between 20–22 trained for 12 weeks and maximum oxygen consumption and resting pulse rate were assessed	Fartlek training has significant influence in improving the maximum oxygen consumption and resting pulse rate	Exercise intensity is directly related to the change in VO_{2max} . Higher doses of aerobic exercise produce greater increases in VO_{2max}
4.	Sudiadharna A.R. et al., 2023 [7]	Experimental design	n = 25; both male and females aged between 18–25 trained for 4 weeks. VO_{2max} measurements with measuring instruments Yo-yo intermittent recovery test	It can be concluded that there is a significant increase in fartlek training on increasing VO_{2max} of Makassar badminton athletes	Fartlek training is the right alternative choice to improve physical condition abilities, and which includes physical conditions, namely VO_{2max}
5.	Chaudhari D.N., 2016 [9]	RCT	n = 30; all males aged between 18–24, equally divided into 2 groups i.e. Sand running and Control group for 12 weeks. Speed is assessed by 50 m run test and cardio-respiratory endurance assessed by Cooper's test	Results indicated that there was no significant difference between the Fartlek training group and Control group on speed, but it is effective in endurance	It is interpreted that there was a significant improvement on cardio-respiratory endurance due to Fartlek training but there was no significant improvement on speed
6.	Muryadi A.D. et al., 2020 [10]	Quasi-experimental	n = 26; all male aged between 13–14 dividing equally into 2 groups i.e. Circuit training group and Fartlek training group for 4 weeks. VO_{2max} is assessed using Cooper's test	Study shows that there is significant effect of providing Circuit training and Fartlek training on increasing VO_{2max}	It is interpreted that VO_{2max} can be influenced by other factors such as BMI and age. The higher the BMI, the lower the VO_{2max}

Table 1 Continued

No.	Author, year	Type of article	Methodology	Results	Remarks
7.	Salgaonkar A. Et al., 2020 [11]	RCT	n = 60; all males aged between 18–24 that is equally divided into 2 groups i.e. Experimental and Control group for 6 weeks. Endurance is assessed by Cooper's test	Fartlek training improves endurance ability and also postpones early fatigue and enhances early cardio-respiratory recovery phase	It is interpreted that early endurance can be developed by using alternate Fartlek protocols. This training can be used in sports which focuses on motor skills which focus on good speed, agility, coordination, strength etc.
8.	Shingala M. et al., 2019 [12]	RCT	n = 32; both male and females aged between 22.06 ± 1.73 years, equally divided between study and control group for 6 weeks in which Cooper test, curl ups and Squats (Performed in 1 minute)	Results showed significant improvement in both the groups for cardiorespiratory fitness and curl ups performed in 1 minute. But no one of squats performed were improved only in study group	It is interpreted significant improvement in both the groups. But there was statistically significant difference found between the effect of fartlek and aerobic training groups. Fartlek training is statistically significantly effective in improving cardiorespiratory fitness and muscular endurance in young adults
9.	Bashir S. et al., 2017 [13]	RCT	n = 40; all males aged between 18–25, equally divided into 2 groups i.e. Experimental and Control group for 6 weeks. Endurance is assessed by Cooper's test and speed is assessed by 50-yard dash test	There was significant effect on speed and endurance between Control group and Experimental group among physical education students	It is interpreted that there is significant difference found between both groups within the period of six weeks of Fartlek training program
10.	Sahu D.P., 2016 [14]	RCT	n = 45; both male and female aged between 18–24 which is dividing equally in 3 groups i.e. Sand running group, Fartlek group, Control group trained for 6 weeks alternate days a week. Cooper's test is used for assessment	The two experiment methods (Fartlek training and Sand running) proved to be effective in improving performance of cardio-vascular endurance. It was also observed that Fartlek training method was significantly better than the Sand running method	It is interpreted that there is significant improvement may be due to, both the training brought about specific metabolic physiologic adaption that involve subtle cellular as well as gross physiological changes
11.	Kumar P., 2015 [15]	RCT	n = 30; both male and female aged between 18–24, equally divided into 2 groups i.e. Experimental and Control group for 6 weeks. Endurance is assessed by Cooper's test	It explains that the Fartlek training (sand training) has increased the endurance between the Experimental groups along with physiological capacity of the athletes	It is interpreted that Fartlek training results in the calf muscles learning to pact more quickly and thereby generating work at a higher rate, they become more controlling. The calf muscles get this by recruiting more muscle fibres, around two or three times

Table 1 Continued

No.	Author, year	Type of article	Methodology	Results	Remarks
12.	Pasodi M.S., 2014 [16]	RCT	<p>$n = 50$; all male divided equally into 2 groups i.e. Fartlek and Control group trained for 12 weeks. Cardio-respiratory endurance assessed by Cooper's test</p>	<p>There is a positive effect of twelve-week Fartlek training towards improving the cardio respiratory endurance. The Fartlek training group significantly outperformed than the Control group</p>	<p>It is interpreted that Fartlek training paved way for better improvement in the cardio respiratory endurance, because the fartlek training is the continuous running method, and the athletes varies the pace significantly during the run and their own efficiency in the varied surfaces</p>
13.	Mande S.B. et al., 2014 [17]	RCT	<p>$n = 60$; all male aged between equally divided into 4 groups i.e. Continuous Running Training, Fartlek Training, Interval Training and Control Group trained for 12 weeks. Muscular strength and endurance assessed by bent knee sit-ups</p>	<p>Muscular endurance was significantly improved by the Continuous running group, Fartlek training group and Interval training group when compared with control group</p>	<p>It is interpreted that experimental groups shows effect on muscular endurance</p>
14.	Velmurugan R. et al., 2012 [18]	RCT	<p>$n = 30$; all males aged between 18–24, equally divided into 3 groups i.e. Fartlek training group, Purcourse training group, Control group for 12 weeks. Strength and cardio-respiratory endurance assessed by Bent knee sit-ups and Cooper's test</p>	<p>Results showed that Purcourse training and Fartlek training groups showed significant improvement on strength endurance and cardio-respiratory endurance compared to Control group</p>	<p>It is interpreted that training groups shows effect on strength and cardio-respiratory endurance</p>
15.	Jan A.A. et al., 2019[19]	Experimental Design	<p>$n = 30$; all male aged between 18–24, equally divided into 2 groups i.e. Experimental and Control group for 6 weeks. Speed is assessed by 50 m dash test</p>	<p>It was found that there was significant difference of speed between Control and Experimental group. Experimental group showed better performance in speed after training than control group</p>	<p>The result showed that significant effect of six-week Fartlek training was found in Experimental group, while as Control group was not given any training. Significant difference of speed between control and experimental group of Kho-Kho players was found</p>
16.	Muniyappan R. et al., 2019 [20]	RCT	<p>$n = 30$; all male aged between 18–24, equally divided into 2 groups i.e. Experimental and Control group for 6 weeks. Coordination was assessed by Soccer Wall Volley test; Reaction time was assessed by Chronoscope and Shooting was assessed by French filed hockey test</p>	<p>It was concluded that the Fartlek Training had produced a significant improvement on coordination, reaction time and shooting of male Hockey players</p>	<p>It is interpreted those physical skills of hockey players improved</p>

Table 1 Continued

No.	Author, year	Type of article	Methodology	Results	Remarks
17.	Prasanna T.A. et al., 2016 [21]	RCT	n = 50; all males aged between 17–25, equally divided into 5 groups i.e. Alternate Pace Run, Fartlek, Combined and Control group. Resting pulse rate is assessed by manual method	Resting pulse rate was significantly improved by the Continuous running group, Alternate Pace Run and Fartlek training group when compared with control group	The significant improvement of the combined training group on the variable of resting pulse rate when compared with the groups of continuous, alternative pace run group, fartlek and control training methods
18.	Mande S.B. 2016 [22]	RCT	n = 60; all male aged between 18–25, equally divided into 4 groups i.e. experimental group 'A' (Continuous running) experimental group 'B' (Fartlek training) experimental group 'C' (Interval training) and control group 'D' for 12 weeks. Throwing for distance (Warner Test) is assessed	Throw in for distance was significantly improved by the Continuous running group, Fartlek training group and Interval training group when compared with control group	It is found that aerobic endurance training significantly improves soccer performance. It is concluded that two different training programs with the same workload significantly improve soccer overload throwing velocity
19.	Ramesh K.A., 2013 [23]	RCT	n = 30; all male aged between 19–23, equally divided into 2 groups i.e. Experimental and Control group trained for 6 weeks. Endurance is assessed by Cooper's test, speed by 50 m run test, agility by Shuttle run. breath holding and resting pulse rate by manual method	There was a significant difference between Fartlek training and Control group on selected physical fitness variables speed, endurance and agility. The physiological variables such as pulse rate and breath holding time	The college men athletes of Experimental group have improved their speed, agility, cardiovascular endurance and resting pulse heart rate but not breath holding time due to Fartlek training
20.	Bahtra R. et al., 2024 [24]	Quasi-experimental design	n = 20; all males aged between 15–17, equally divided into 2 groups i.e. Fartlek and Small side games group trained for 5 weeks in which VO _{2max} is assessed by using Yo-Yo Intermittent Recovery Test (Yoyo IR Test) level 1	Results suggested that fartlek training was more effective than small-sided games training at increasing players VO _{2max}	Fartlek training was more effective in enhancing VO _{2max} than small side games, due to the distinct treatment methods. Fartlek training focused only on running, while small side games required playing with the ball, which might have diverted the attention of players from maximizing VO _{2max}
21.	Festiawan R. et al., 2021 [25]	"Two group pretests and post-test Design"	n = 30; all males aged between 19–21 divided into High Intensity Interval Training (HIIT) group, the Fartlek Training group, and Oregon Circuit Training Group and Multi stage Fitness Test (MFT) method, to determine the VO _{2max} level	The HIIT method shows better results with a percentage increase of 40.68 % and it is recommended to increase VO _{2max} capacity	HIIT, Fartlek Training and Oregon Circuit Training are able to contribute to increasing the VO _{2max} level

No.	Author, year	Type of article	Methodology	Results	Remarks
22.	Sarmid S., 2018 [26]	Pre-experimental design	$n = 7$; all male and female trained for 8 weeks	There is an Effect of Fartlek Training to Improvement of VO_{2max} on 800 meters runner of Banjarmasin Athletic	Fartlek exercise with eight weeks can increase VO_{2max} athletes significantly at athlete's runners of 800 meters
23.	Pratama L. et al., 2018 [27]	Experimental design	Soccer players under 14 in which outcome assessed are peak expiratory flow. Instruments: peak flow meter and VO_{2max} : multistage fitness test	There is a significant difference between both exercise methods on VO_{2max} which show that circuit training method is better than fartlek training method and significant difference between the effects of high and low peak expiratory flow on VO_{2max} students with high expiratory volume achieve higher value than those with low expiratory volume	It can be concluded that both trainings are effective trainings method to develop heart and lung endurance (VO_{2max}). Circuit training has a better influence than fartlek training in increasing VO_{2max} . The effect of training leads to improvement of lung work efficiency of a trained person so it can process more air with less energy

Note: RCT — Randomized controlled trial.

Fartlek training, involving varying intensity and terrain during continuous running, has shown promise in enhancing skill-related physical fitness among athletes. This review consolidates evidence highlighting its positive impact on speed, agility, cardiovascular endurance, and coordination. The adaptability of fartlek training to different sports and athletes is noted, though the diversity of methodologies across studies complicates standardization and evaluation. Longer durations and high-intensity intervals are particularly effective, underscoring the need for tailored regimens. Integrating fartlek training into periodized programs may

enhance overall performance and prevent overtraining. However, variability in study protocols and participant characteristics, along with a focus on short-term effects, limits the generalizability of findings and calls for further long-term research.

CONCLUSION

In conclusion, this systematic review underscores the potential of fartlek training as a valuable tool for enhancing skill-related physical fitness among athletes. Fartlek training offers a comprehensive approach to improving athletic performance across various sports.

ADDITIONAL INFORMATION

Nidhi Kotadiya, Research Officer, Scholar of Sports Physiotherapy, College of Physiotherapy, Sumandeep Vidyapeeth deemed to be University.

Sarfraznawaz F. Shah, Professor, Head of the Department of Musculoskeletal and Sports Physiotherapy, College of Physiotherapy, Sumandeep Vidyapeeth deemed to be University. E-mail: drsarfrznawaz.cop@sumandeepvidyapeethdu.edu.in; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6988-6310>

Author Contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions:

Kotadiya N. conceptualization, methodology, resources, writing review & editing; Shah S.F. validation, supervision, project administration.

Funding. This study was not supported by any external funding sources.

Disclosure. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Ethics Approval. The study was approved by the Sumandeep Vidyapeeth Institutional Ethics Committee (SVIEC) of the Sumandeep Vidyapeeth deemed to be University (Vadodara, India), Protocol No. SVIEC/ON/Physy/BN/MPT22/NOV/23/25 dated 02.11.2023.

Data Access Statement. The data that support the findings of this study are available on reasonable request from the corresponding author.

References

- Gnanavel N.S. Effect of fartlek training and core muscle training on selected physical fitness and physiological variables among men kho-kho players. *International Journal of Physiology, Nutrition and Physical Education*. 2021; 6(1): 432–434.
- Hazar K., Hazar S. The effect of continuous running and fartlek training on maximal oxygen consumption capacity. *Nigde University Journal of Physical Education and Sport Sciences* 2016; 3(10): 351–356.
- Eleckuvan M.R. Effectiveness of fartlek training on maximum oxygen consumption and resting pulse rate. *International Journal of Physical Education, Fitness and Sports*. 2014; 3(1): 85–88.
- Kumar R., Lehri A., Singh S., Sharma S. 12-week training induced effects on selected fitness parameters among field hockey players. *International Journal of Physiology, Nutrition and Physical Education*. 2019; 4(1): 1715–1718.
- Sendhil R. Hockey playing ability with relation to selected physical fitness physiological and skill variables. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*. 2015; 1(4): 95–99.
- Ramajayam M. Individualised combined effects of brisk walking fartlek training on Hdl and total cholesterol on untrained college men. 2020; 1(10): 8.
- Sudiadharma A.R., Ichani A.R.B. The effect of fartlek training on increasing VO₂max of badminton athletes. *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis*. 2023; 6, 2260–2264.
- Aneja O.P. Impact of fartlek and plyometric training on agility performance of male football players. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*. 2023; 10(1): 347–349.
- Chaudhari D.N. Effect of fartlek training on speed and cardio-respiratory endurance of university men students. *International Journal of Physiology, Nutrition and Physical Education*. 2017; 2(1): 273–275.
- Muryadi A.D., Rahayu T., Setijono H., Rahayu S. November. Effect of circuit training and fartlek training on cardiorespiratory endurance football school athletes. In 6th International Conference on Science, Education and Technology (ISET 2020). Atlantis Press. 2021: 467–471.
- Salgaonkar A., Kulkarni P., Katke S., Shaikh A. Effects of fartleks training to improve endurance ability in male kho-kho players. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*. 2020; 7(2): 254–259.
- Shingala M., Shukla Y. Effectiveness of fartlek training on cardiorespiratory fitness and muscular endurance in young adults: a randomized control trial. 2019; 13(2): 86.
- Bashir S., Hajam B.A. The effect of fartlek training on speed and endurance of physical education students of Annamalai University. *International Journal of Academic Research and Development*. 2017; 2(5): 142–145.
- Sahu D.P. The effect of different training program on cardiovascular endurance of long distances runner. *International Journal of Physiology, Nutrition and Physical Education*. 2016; 1(2): 98–100.
- Kumar P. Effect of fartlek training for developing endurance ability among athletes. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*. 2015; 2(2): 291–293.
- Pasodi M.S. Effect of fartlek training on cardio respiratory endurance among men athletes. *Editorial Board*. 2014; 3(3): 305.
- Mande S.B., Raju G., Suseelamma T., Kumar P.P. Training on muscular endurance among male soccer player. 2014; 364.

18. Velmurugan R., Kalimuthu M., Karthikeyan P. Effects of purcourse and fartlek trainings on selected endurance parameters. *Journal of Physical Education Sports & Allied Disciplines*. 2012; 3(1): 21–25.
19. Jan A.A., Hurrah K.A. Effect of fartlek training on selected skill performance fitness component among Kho-Kho players. *International Journal of Yogic, Human Movement and Sports Sciences*. 2019; 4(1): 1509–1511.
20. Muniyappan R., Vallimurugan V. Effects of fartlek training on selected fitness and performance parameters of male hockey players. *International Journal of Multidisciplinary Education and Research* 2019; 4(2): 46–47.
21. Prasanna T.A., Vaithianathan K. The combined effect of continuous run, alternate pace run and fartlek training on selected physiological variable among male athletes. *Executive Editor*, 2019; 10(3): 246.
22. Mande S.B. Effect of continuous running fartlek training and interval training on selected skill related performance variables among male football players. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*. 2016; 3(2): 8–10.
23. Ramesh K.A. Effects of Fartlek training on sele physiological variables among co. *International Journal of Physical Education, Sports and Yogic Sciences*. 2013; 2(2): 33–36.
24. Bahtra R., Zelino R., Bafirman H.P.F., et al. Enhancing VO₂max: contrasting effects of fartlek training and small-sided games. *Journal of Physical Education & Sport*. 2024; 24(2).
25. Festiawan R., Hoi L.B., Siswantoyo N., et al. High-intensity interval training, fartlek training & oregon circuit training: what are the best exercises to increase VO₂max. *Annals of Tropical Medicine & Public Health*. 2021; 24(03): 1–10.
26. Sarmid S. Effect of fartlek training to the improvement of VO₂max on athletes runners of 800 meters. In *International Seminar on Public Health and Education 2018 (ISPHE 2018)*. Atlantis Press. 2018: 96–98.
27. Pratama L., Kushartanti W. December. The effects of circuit and fartlek exercise method and peak expiratory flow on VO₂max. In *2nd Yogyakarta International Seminar on Health, Physical Education, and Sport Science (YISHPESS 2018) and 1st Conference on Interdisciplinary Approach in Sports (CoIS 2018)*. Atlantis Press. 2018: 310–315.

IX Международный конгресс «Бальнеотерапия в программах санаторно-курортного лечения и медицинской реабилитации»

19–20 марта 2026 года в Москве состоялся IX Международный конгресс «Бальнеотерапия в программах санаторно-курортного лечения и медицинской реабилитации», приуроченный к Всемирному дню водных ресурсов, — ежегодное отраслевое мероприятие для обмена передовым опытом, интеграции научных знаний и практической деятельности и формирования междисциплинарного сотрудничества в области санаторно-курортного лечения и использования природных лечебных ресурсов.

Мероприятие прошло при поддержке и непосредственном участии Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Среди почетных официальных лиц на Конгрессе присутствовали: член комитета Государственной Думы Российской Федерации по охране здоровья, руководитель Экспертного совета по вопросам совершенствования медицинской реабилитации и санаторно-курортного лечения Михаил Владимирович Кизеев; заместитель Министра здравоохранения Российской Федерации Евгений Геннадьевич Камкин, заместитель директора Департамента организации медицинской помощи и санаторно-курортного дела Минздрава России Даржа Эдуардович Бадлуев; директор департамента международных отношений FEMTEC (Россия, Италия) Наталья Викторовна Чаурская; начальник Управления геологии нефти и газа, подземных вод и сооружений Роснедра Нина Леонидовна Ерофеева; и.о. генерального директора ФГБУ «ФНКЦ МРИК» ФМБА России Ирина Ивановна Ларионова.

«Бесспорно, природные лечебные ресурсы являются основной ценностью санаторно-курортного лечения, а также активно используются в медицинской реабилитации. Исходя из сложившегося современного тренда востребованности данных видов медицинской помощи, ставка на защиту, доказательность эффективности применения природных факторов позволит отрасли санаторно-курортного лечения и медицинской реабилитации внести свой вклад в достижение национальной цели сбережения народонаселения страны! И наш сегодняшний Конгресс — это тоже шаг в данном направлении», — заявила в своем приветственном выступлении директор ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России Наталия Николаевна Зубарева.

За два насыщенных дня на секциях Конгресса выступили организаторы здравоохранения, руководители профильных министерств и ведомств, ведущие эксперты санаторно-курортной отрасли, представители крупнейших научно-исследовательских институтов и санаторно-курортных организаций, медицинские работники, научные сотрудники, гидрогеологи, бальнеологи, недропользователи, производители медицинского и косметического оборудования и изделий.



Рис. 1. Выступление члена комитета Государственной Думы Российской Федерации по охране здоровья, руководителя Экспертного совета по вопросам совершенствования медицинской реабилитации и санаторно-курортного лечения Михаила Владимировича Кизеева

Fig. 1. Speech by Mikhail V. Kizyev, Member of the State Duma Committee on Health Protection of the Russian Federation, Head of the Expert Council on Improving Medical Rehabilitation and Health-Resort Treatment



Рис. 2. Выступление д.э.н., доцента, Генерального директора ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России Наталии Николаевны Зубаревой

Fig. 2. Speech by Natalia N. Zubareva, D.Sc. (Econ.), Associate Professor, Director General of National Medical Research Centre for Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of Russia

Также в рамках Конгресса состоялось торжественное награждение лучших специалистов санаторно-курортной отрасли. Благодарственные письма Министерства здравоохранения Российской Федерации «За весомый вклад в развитие бальнеотерапии» вручил заместитель Министра здравоохранения Российской Федерации Евгений Геннадьевич Камкин.



Рис. 3. Торжественное награждение. Заместитель Министра здравоохранения Российской Федерации Евгений Геннадьевич Камкин вручил Благодарственное письмо Министерства здравоохранения Российской Федерации «За весомый вклад в развитие бальнеотерапии» специалисту организационно-методического отдела ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России Глебу Николаевичу Барашкову

Fig. 3. The Award Ceremony. Evgeny G. Kamkin, Deputy Minister of Health of the Russian Federation, presented a Letter of Thanks from the Ministry of Health of the Russian Federation “For a Significant Contribution to the Development of Balneotherapy” to Gleb N. Barashkov, an expert of the Organizational and Methodological Department of the National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology

В течение двух дней в Конгрессе приняли участие 668 специалистов из 52 субъектов Российской Федерации и 9 стран. Международным опытом поделились эксперты из Беларуси, Италии, Казахстана, Кубы, Португалии, России, Таджикистана, Узбекистана, Швейцарии.

Конгресс стал открытой площадкой международно-



Рис. 4. Фаусто Бонсиньори, профессор Пизанского университета, президент Итальянской ассоциации бальнеологии (Италия), Наталья Викторовна Чаурская, директор департамента международных отношений FEMTEC (Россия, Италия), Сергей Сергеевич Гулюк, заместитель министра курортов и туризма Республики Крым

Fig. 4. Fausto Bonsignori, Professor at the University of Pisa, President of the Italian Association of Balneology (Italy), Natalya V. Chaurskaya, Director of the Department of International Relations FEMTEC (Russia, Italy), Sergey S. Gulyuk, Deputy Minister of Resorts and Tourism of the Republic of Crimea

го уровня для обсуждения значимых вопросов всех заинтересованных сторон: государства, международных партнеров, научного, образовательного, врачебного, санаторно-курортного и туристического сообществ, коммерческих организаций и производителей в сфере медицинского и реабилитационного оборудования.

IX International Congress “Balneotherapy in Health Resort Treatment and Medical Rehabilitation Programs”

On 19–20 March 2026, Moscow played host to the IX International Congress “Balneotherapy in Health Resort Treatment and Medical Rehabilitation Programs”, which was dedicated to World Water Day. This annual professional event is a great opportunity for the exchange of best practices, the integration of scientific knowledge and practical activities, and the establishment of interdisciplinary cooperation in the field of health-resort treatment and the use of natural therapeutic resources.

The event was held with the support and direct participation of the Ministry of Health of the Russian Federation.

Among the honorary officials present at the Congress were: Mikhail V. Kizyev, Member of the State Duma Committee on Health Protection, Head of the Expert Council on Improving Medical Rehabilitation and Health Resort Treatment; Evgeny G. Kamkin, Deputy Minister of Health of the Russian Federation; Darzha E. Badluev, Deputy Director of the Department for Organization of Medical Care and Health Resort Management of the Ministry of Health of Russia; Natalya V. Chaurskaya, Director of the Department of International Relations FEMTEC (Russia, Italy); Nina L. Erofeeva, Head of the Department of Geology of Oil and Gas, Groundwater and Structures of Rosnedra; and Irina I. Larionova, Acting Director General of the Federal Scientific and Clinical Centre for Medical Rehabilitation and Balneology, Federal Medical Biological Agency of Russia.

“It is evident that natural therapeutic resources constitute the primary value of resort treatment, and they are also employed in medical rehabilitation. The ongoing demand for such medical care, coupled with the prioritization of safeguarding and evidencing the efficacy of natural interventions, signifies a pivotal opportunity for the sanatorium-resort treatment and medical rehabilitation

industry to contribute to the national goal of safeguarding the population. The present Congress is also a step in this direction”, — Natalia N. Zubareva, Director General of the National Medical Research Centre for Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of Russia, stated in her inaugural address.

During the course of two days, which were both busy, healthcare organizers, heads of relevant ministries and departments, leading experts in the sanatorium and resort industry, representatives of the largest research institutes and sanatoria and resort organizations, medical workers, researchers, hydrogeologists, balneologists, subsoil users, manufacturers of medical and cosmetic equipment and products, spoke at the sections of the Congress.

Concurrently, a formal awards ceremony was held to honour the most distinguished specialists in the health resort industry. Evgeniy G. Kamkin, who occupies the position of Deputy Minister of Health of the Russian Federation, presented letters of appreciation from the Ministry of Health of the Russian Federation. These letters acknowledged significant contributions to the development of balneotherapy.

The Congress was attended by 668 specialists from 52 constituent entities of the Russian Federation and nine other countries over the course of two working days. Experts from Belarus, Italy, Kazakhstan, Cuba, Portugal, Russia, Tajikistan, Uzbekistan, and Switzerland shared their international experience.

The Congress has evolved into an open international platform for deliberating significant issues of all interested parties, including the state, international partners, scientific, educational, medical, health resort and tourism communities, commercial organizations and manufacturers in the field of medical and rehabilitation equipment.

Пресс-релиз

XII Международный конгресс «Санаторно-курортное лечение»

21–22 мая 2026 г. состоится XII Международный конгресс «Санаторно-курортное лечение», который будет посвящен стратегическим векторам развития, новым подходам и передовым практикам, направленным на повышение эффективности, внедрение инноваций и укрепление роли санаторно-курортного лечения как неотъемлемой части системы здравоохранения.

Конгресс проводится при поддержке и непосредственном участии Министерства здравоохранения Российской Федерации и в соответствии с планом научно-практических мероприятий Минздрава России на 2026 г.

Место и формат проведения: Москва, Ленинградский пр-т, 31А, стр. 1 (МонАрх Москва Отель), очно, бесплатно.

Организаторами Конгресса выступают: Министерство здравоохранения Российской Федерации, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России, Ассоциация курортных и туристических городов.

XII Международный конгресс «Санаторно-курортное лечение» соберет ведущих экспертов для определения векторов развития отрасли, внедрения передовых научных достижений и формирования будущих стандартов оздоровления. В работе Конгресса принимают участие авторитетные спикеры — руководители и эксперты, играющие ключевую роль в реализации значимых изменений в отрасли курортологии, главные внештатные специалисты по санаторно-курортному лечению, специалисты научно-клинических центров Минздрава России, руководители и специалисты практической реабилитационной медицины, представители ведомственной медицины санаторно-курортного комплекса субъектов России. Ожидается участие представителей Минздрава России, Государственной Думы и Совета Федерации.

Научно-практическая программа Конгресса состоит из 20 секций, панельных дискуссий, заседаний, мастер-классов и охватывает весь спектр вопросов, стоящих перед современной санаторно-курортной сферой, с акцентом на цифровизацию, экономическую эффективность и передовую медицину. Участники обсудят стратегическое направление развития отрасли, опыт ведомственных санаторно-курортных организаций и бенчмаркинг с другими сферами, вопросы инфраструктуры и материально-технической базы, цифровизацию бизнес-процессов и внедрение современных технологий в санаторно-курортных организациях, новые научные достижения в российской и зарубежной курортологии, инновационные подходы немедикаментозных технологий и методов традиционной медицины в комплексном лечении, методы регенеративной и трансляционной медицины. Особый фокус сделают на современных методах спортивной медицины и медицинской реабилитации.

В течение двух дней пройдет специализированная выставка медицинского реабилитационного оборудования, приборов, аппаратов, медицинских изделий для бальнеотерапии, пелоидотерапии, аппаратуры для физиотерапии, оборудования для спортивной медицины с демонстрацией эффективных фитнес-практик, приборов для организации спа-зон в санаториях.

Заявка по Конгрессу будет представлена в Комиссию по оценке соответствия учебных мероприятий и материалов для непрерывного медицинского образования установленным требованиям Координационного совета по развитию непрерывного медицинского и фармацевтического образования Минздрава России.

Подробная информация на сайте: <https://sankurort-congress.ru>.

Конгресс-оператор «МЕДИ Экспо»: www.medexpo.ru.

Информационный спонсор конгресса: журнал «Вестник восстановительной медицины».